

ANALISI SPERIMENTALE DI UN IMPIANTO DI SELEZIONE AVANZATA DEI RIFIUTI PLASTICI DA RACCOLTA DIFFERENZIATA

Caterina Conte¹, Pietro Navarotto², Mario Grosso¹

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Milano

² STADLER® Italia S.r.l.

Sommario – La gestione dei rifiuti solidi urbani rappresenta un argomento importante nelle politiche dei paesi sviluppati da quando la ripresa economica del dopoguerra ne ha favorito l'aumento delle quantità prodotte. Ciò ha avuto come conseguenza la crescita dei rifiuti da imballaggio e la maturazione di nuovi sistemi che puntano alla gestione sostenibile delle risorse. Il riciclaggio, infatti, è ormai diventato una pratica fondamentale nel processo di gestione dei rifiuti, in quanto risolve problemi economici ed ambientali legati alla discarica e all'utilizzo di nuova materia prima. In particolare il riciclo degli imballaggi in plastica, materiali estremamente eterogenei in quanto a composizione polimerica, si basa su una complessa catena di attività che comprende generalmente tre fasi principali: la raccolta differenziata, la selezione dei diversi polimeri plastici, e infine il riciclo meccanico dei diversi prodotti. Questo lavoro si focalizza soprattutto sulla fase di selezione, in cui i rifiuti plastici vengono suddivisi nei diversi polimeri grazie all'utilizzo di tecnologie in continua evoluzione. Nel contesto italiano è presente il Consorzio Corepla che si occupa della gestione dei rifiuti da imballaggio in plastica ed ha il fine di promuovere la raccolta differenziata, lo smistamento, il recupero e il riciclaggio. Uno studio approfondito del processo di selezione della plastica è stato possibile attraverso l'analisi del nuovo Centro di Selezione Secondario per gli imballaggi in plastica del circuito Corepla situato a Bedonia (PR). L'impianto ha lo scopo di suddividere la plastica mista in arrivo dalla raccolta differenziata in diverse tipologie di polimeri e colori. L'impianto analizzato presenta degli elementi innovativi per quanto riguarda macchinari e layout, rendendolo unico nel suo genere in Italia; la caratteristica principale è rappresentata dalla linea di separatori ottici (NIR) per il flusso bidimensionale: si tratta del primo impianto in Italia ad essere munito della tecnologia automatica di separazione con due NIR in serie anche per il prodotto bidimensionale. Lo studio descrive ed analizza l'impianto e la relativa efficienza di selezione delle plastiche attraverso il calcolo di due Indici (Indice di Purezza I.P. e Indice di Recupero I.R.) le cui espressioni empiriche sono state definite nell'ambito del collaudo. Per il calcolo dei suddetti indici è stato necessario svolgere l'analisi merceologica, facendo la cernita manuale di ogni campione nelle diverse frazioni individuate e pesando i rifiuti appartenenti alle differenti classi. Ciò ha permesso di constatare che del materiale totale in ingresso all'impianto, circa il 44,1% è rappresentato da PRODOTTI

bidimensionali e tridimensionali pronti per essere inviati al recupero e circa il 32,5% è rappresentato da materiale non destinato al processo di recupero e riciclaggio.

Parole Chiave: polimeri plastici, NIR (Near Infrared Spectroscopy), selezione, rifiuti da imballaggi.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF AN ADVANCED SORTING PLANT FOR PLASTIC PACKAGING WASTE

Abstract – The management of municipal solid waste is an important issue in the policies of developed countries since the post-war economic progress has favored its increase in quantity. This has encouraged the diffusion of packaging waste and the development of new systems aimed to the sustainable resource management. In fact, recycling has now become a fundamental practice in the waste management process, as it solves economic and environmental problems related to landfill, reducing the need for new raw materials. The recycling of plastic packaging is based on a complex chain of activities that generally includes three main phases: the separate collection, the selection of various plastic polymers, and finally, the mechanical recycling of different products. This work is mainly focused on the selection phase, in which plastic waste is divided into the different polymers through the use of evolving technologies. In the Italian context, the responsibility for the management of plastic packaging waste is transferred to the Corepla Consortium, an organization with the aim of promoting the separate collection, sorting and recycling. A detailed study was possible through the testing of the new Secondary Selection Center Corepla for plastic packaging located in Bedonia (PR). The purpose of the plant is to divide the mixed plastic coming from the separate collection into different types of polymers and colors. The plant analyzed features innovative elements with regard to machinery and layout, making it unique in its kind in Italy. The main feature is represented by the use of optical separators (NIR) on the bi-dimensional stream: it is the first plant in Italy to be equipped with the automatic separation technology with two NIRs in series for the two-dimensional products. The study describes and analyzes the plant and the relative efficiency of plastics selection through the calculation of two Indices (Purity Index I.P. and I.R. Recovery Index) whose empirical expressions have been defined during the test. For the calculation of the aforementioned indices it was necessary to carry out the product analysis, making the manual sorting of each sample in the different fractions identified and weighing the waste belonging to the different classes. This showed that

* Per contatti: Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano.
Tel. 02.23996415; mario.grosso@polimi.it.

the total material entering the plant, about 44.1% is represented by two-dimensional and three-dimensional products ready for recovery and about 32.5% is represented by material not destined to recovery and recycling.

Keywords: *plastic polymers, NIR (Near Infrared Spectroscopy), separate collection, packaging waste.*

Ricevuto il 16-5-2018; Correzioni richieste il 18-9-2018; Accettazione finale il 4-10-2018.

1. INTRODUZIONE

1.1. Inquadramento della tematica

I rifiuti solidi urbani rappresentano un argomento importante nelle politiche dei paesi sviluppati da quando la ripresa e la prosperità economica del dopoguerra ne hanno favorito l'aumento delle quantità. Ciò ha incoraggiato la diffusione di oggetti multi-materiale e l'incremento dei rifiuti da imballaggio, portando alla maturazione di nuovi sistemi che puntano alla gestione sostenibile delle risorse. Il riciclaggio, infatti, è ormai diventato una pratica fondamentale nel processo di gestione dei rifiuti, in quanto consente di risolvere i problemi economici ed ambientali legati alla discarica e promuove il recupero di materiali evitando l'utilizzo di nuova materia prima. Di conseguenza c'è una crescente domanda di impianti automatizzati che permettano la suddivisione e la classificazione di rifiuti differenziati nelle diverse frazioni che lo compongono. Nel contesto italiano, la responsabilità della gestione dei rifiuti da imballaggio è trasferita al Consorzio Conai (Consorzio Nazionale Imballaggi), un'organizzazione privata senza scopo di lucro fondata nel 1997 con il fine di promuovere la raccolta differenziata, lo smistamento, il recupero e il riciclaggio dei rifiuti di imballaggio in Italia. Per quanto riguarda i rifiuti di imballaggio in plastica, il Consorzio Corepla si pone l'obiettivo di assicurare la copertura dei maggiori oneri sostenuti dagli Enti Locali per l'effettuazione della raccolta differenziata e di svolgere un ruolo sussidiario al mercato per quanto concerne il ritiro dei rifiuti di imballaggi in plastica provenienti dalle attività industriali, commerciali ed artigianali, non conferiti al servizio pubblico di raccolta. Corepla collabora con le Amministrazioni locali, sulla base dell'Accordo quadro ANCI-Conai, che determina, con appositi allegati tecnici, le specifiche condizioni di conferimento e i corrispettivi unitari in base al livello qualitativo delle raccolte. Il Consorzio, inoltre, si fa carico delle operazioni di selezione, attraverso una rete di Centri di Selezione Secondari (CSS) distri-

buiti sul territorio nazionale. Questi ultimi sono aziende che effettuano la selezione dei flussi di imballaggio in ingresso sulla base di requisiti impiantistici e criteri prestabiliti e, a seguito di contratti-tipo, possono operare anche per il Consorzio, ricevendo un corrispettivo per ogni tonnellata di materiale processato. Al fine di promuovere il buon funzionamento, il corrispettivo è nettamente maggiore per i materiali avviabili a riciclo rispetto a quelli destinati a recupero energetico.

Negli ultimi anni il forte incremento della raccolta differenziata della plastica, i cui quantitativi sono quasi raddoppiati dal 2010 al 2015, raggiungendo 1.178.000 tonnellate nell'anno 2015 (Ispra, Rapporto Rifiuti 2016), ha portato ancor di più alla ribalta il tema della qualità delle raccolte e dell'importante ruolo della selezione di questo flusso di materiali, destinato a diventare sempre più eterogeneo.

1.2. Tecnologie di smistamento e selezione in letteratura

Negli ultimi anni si è osservata una forte crescita nell'uso di materie plastiche in quasi ogni aspetto della vita moderna. Il recupero dei polimeri plastici come alternativa alla discarica e al loro incenerimento è una soluzione a questo problema. La loro identificazione e classificazione sono le prime fasi del riciclo dei rifiuti di plastica; quindi, sono necessarie attrezzature idonee per la rapida rilevazione dei diversi polimeri. I ricercatori di tutto il mondo stanno esplorando attivamente le tecniche di selezione automatica dei rifiuti solidi urbani portando ad una grande varietà di tecnologie nella fase di smistamento automatizzato. Le tecniche di selezione automatizzate possono essere classificate in due tipi: smistamento diretto e indiretto. Le tecniche di smistamento diretto utilizzano le proprietà intrinseche del materiale, come la suscettibilità magnetica, la conducibilità elettrica e la densità, per operare la separazione di materiali, applicando rispettivamente forze esterne come campi magnetici, correnti parassite e gravità. Lo smistamento indiretto, invece, utilizza sensori per rilevare la presenza e la posizione dei materiali riciclabili nei rifiuti in modo che le macchine automatizzate possano essere impiegate per ordinare e separare i materiali riciclabili identificati (Gundupalli et al., 2017).

Di maggiore importanza sono i metodi di selezione indiretti in cui sono utilizzati dei sensori per la rilevazione di materiali riciclabili presenti nei ri-

fiuti in ingresso e grazie ai quali è possibile una successiva selezione. Qui di seguito sono riassunte alcune tra le tecnologie più utilizzate ed emergenti:

- *Laser Induced Breakdown Spectroscopy o LIBS* (Noll et al. 2001): è una tecnica di analisi elementare che si basa sulla misurazione delle emissioni atomiche generate da una superficie del campione sottoposta a raggi laser; (Lasheras et al., 2010);
- *X-ray transmission (XRT)*: tecnica basata sulla trasmissione di un fascio ad alta intensità di raggi X (Mesina et al., 2007; Rahman et al. 2011). Quando i raggi X penetrano nel materiale, parte della loro energia viene assorbita e la radiazione successivamente emanata e rilevata può essere analizzata per fornire informazioni sulla densità atomica del materiale, permettendo la sua identificazione;
- *Selezione Ottica*: tecnica che utilizza sensori (fotocamere) basati sull'identificazione delle frazioni di rifiuti attraverso segnali visivi/tattili come il colore, forme, consistenza e dimensione dei materiali;
- *Spectral imaging based sorting*: questa tecnologia combina sia il metodo di riflessione spettrale sia il metodo di elaborazione di immagini spettrali (Tatzer, Wolf, Panner 2005). Tra queste tecniche ricordiamo i NIR (Near Infrared Radiation), VIS (Visual Image Spectroscopy) e HSI (Hyperspectral Imaging) (Bonifazi and Serranti 2006; Jansen, Feil, Pretz ; Serranti et al., 2011). Tra le tecnologie sopra descritte, i metodi indiretti di selezione sono quelli che meglio si prestano al riconoscimento dei polimeri plastici.

1.3. I Separatori Ottici (NIR)

I separatori ottici o NIR (Near Infrared Spectroscopy) sono il cuore del trattamento di ogni impianto di selezione delle plastiche e sono i soggetti principali di questo studio. Sono costituiti da un sensore Infra-rosso che scansiona l'intera larghezza del nastro trasportatore e invia gli spettri dei differenti materiali analizzati ad un processore; i segnali vengono quindi confrontati con un database ed i risultati sono riportati in un tempo molto breve (frazioni di secondo). Se il materiale in esame viene riconosciuto come materiale da separare, il processore invia un segnale ad un compressore d'aria che sparerà un flusso di aria compressa sull'oggetto e che sarà quindi separato dal resto del flusso.

Nell'impianto analizzato in questo studio ci sono in totale otto separatori ottici con una velocità del nastro di circa 3 m/s:

- due sono destinati alla selezione del materiale bidimensionale (FIL/S in PE e PP);
- sei sono destinati alla selezione del flusso tridimensionale in base al polimero e in base al colore di cui sono costituiti gli oggetti (PET incolore, azzurrato e colorato, HDPE, PP).

1.4. Scopo del lavoro

Il presente lavoro descrive l'analisi delle prestazioni di un Centro di Selezione Secondario del circuito Corepla, situato a Bedonia (PR) per studiare la tematica della gestione dei rifiuti da imballaggio in plastica nel sistema italiano e le tecnologie utilizzate nella loro separazione. L'analisi dell'impianto è stato possibile grazie alla stretta collaborazione con l'impresa costruttrice, la Stalder Italia. L'impianto analizzato ha lo scopo di suddividere la plastica mista in arrivo dalla raccolta differenziata della Comunità Montana delle Valli del Taro e del Ceno in diverse tipologie di polimeri e colori attraverso una filiera di macchinari. Lo studio si concentra sulla verifica delle efficienze di selezione della catena di macchinari presenti nel Centro di Selezione, grazie al confronto della composizione dei flussi in ingresso e in uscita.

Il CSS in oggetto presenta degli elementi innovativi per quanto riguarda macchinari e layout. La caratteristica principale è rappresentata dalla linea di separatori ottici per il flusso bidimensionale: si tratta del primo impianto in Italia ad essere munito della tecnologia automatica di separazione con due NIR in serie anche per il prodotto bidimensionale FIL/S (dimensione minore del formato A3); dal 2017, infatti, Corepla impone come obbligatoria la separazione automatica del materiale 2D.

Durante lo svolgimento del lavoro, sono stati raccolti i dati utilizzati nell'analisi dell'impianto attraverso il calcolo dell'efficienza di selezione. Per far ciò, sono stati utilizzati due indici: l'Indice di Purezza I.P. e l'Indice di Recupero I.R., le cui formule empiriche sono state delineate durante la fase di collaudo. In seguito, attraverso lo studio del bilancio di massa, è stato infine possibile valutare il rendimento dell'impianto dal punto di vista quantitativo ed economico: ovvero, la valutazione dei corrispettivi ricevuti in cambio da COREPLA, sulla base delle percentuali di polimeri plastici suddivisi correttamente dall'impianto.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Presentazione delle campagne di analisi

Il Centro di Selezione Secondario per gli imballaggi in plastica situato a Bedonia, in provincia di Parma è stato realizzato dall'impresa locale Oppimitti, che da oltre vent'anni è presente nel settore dell'ecologia con diverse attività orientate al conseguimento della massima qualità dell'ambiente. Il materiale in ingresso all'impianto di selezione (CSS) proviene dalla raccolta differenziata della Comunità Montana delle Valli del Taro e del Ceno e può essere conferito sia sfuso, e quindi direttamente da raccolta differenziata "porta a porta", sia compresso, in quanto proveniente dal Centro Comprensoriale situato in Borgo Val di Taro. Le prove di caratterizzazione e di valutazione dell'efficienza dell'impianto sono state concentrate in due momenti: la prima analisi è avvenuta agli inizi di settembre (5/09/2016 – 9/09/2016), mentre la seconda è stata effettuata ad ottobre (26/10/2016 – 28/10/2016). In queste due occasioni sono state svolte le prove di portata e le verifiche di purezza dei flussi di prodotto in uscita mediante due Indici (Indice di Purezza I.P. e Indice di Recupero I.R.) le cui espressioni sono state definite nell'ambito del collaudo. Per il calcolo dei suddetti indici è stato necessario svolgere l'analisi merceologica, facendo la cernita manuale di ogni campione nelle diverse frazioni individuate e pesando i rifiuti appartenenti alle differenti categorie di prodotto.

2.2. Descrizione generale dell'impianto

L'impianto di selezione plastiche occupa una superficie di 6500 metri quadrati e comprende le migliori tecnologie allo stato dell'arte, integrando opportunamente selezione automatica e selezione manuale per la buona separazione dei rifiuti di imballaggi in plastica. L'impianto ha lo scopo di suddividere la plastica mista in arrivo dalla raccolta differenziata monomateriale dalla Comunità Montana delle Valli del Taro e del Ceno in diverse tipologie di polimeri e colori e precisamente in:

- contenitori in PET trasparente incolore;
- contenitori in PET trasparente azzurrato;
- contenitori in PET trasparente colorato;
- contenitori in HDPE;
- contenitori in PP (Imballaggi in Polipropilene);
- FIL/M in PP e PE (materiale bidimensionale e shoppers con dimensioni maggiori del formato A3);

- FIL/S in PP e PE (imballaggi flessibili in plastica con dimensioni minori del formato A3);
- MPO (Imballaggi rigidi misti di Poliolefine).

Come sottoprodotti si ritrovano il Plasmix, il Plasmix fine e il materiale ingombrante; vengono inoltre separate piccole quantità di ferro e alluminio che possono ritrovarsi nei flussi di raccolta monomateriale a causa degli errati conferimenti da parte dei cittadini. Il layout dell'impianto e la dinamica dei vari flussi in uscita è rappresentata in Figura 1.

Il rifiuto subisce i seguenti trattamenti:

- 1) carico dell'impianto: il materiale viene accolto nella zona di ricezione e da qui, dopo i controlli e la pesatura in ingresso, viene avviato attraverso una pala meccanica al primo macchinario della filiera;
- 2) apertura sacchetti;
- 3) prima selezione per dimensione del materiale attraverso Vaglio Rotante Stadler®. I flussi in uscita sono:
 - sottovaglio, rappresentato da tutti gli oggetti tridimensionali e bidimensionali che saranno l'oggetto di selezione dei macchinari successivi;
 - sopravaglio, formato da materiale ingombrante come ad esempio il FIL/M da imballaggio con dimensioni maggiori del formato A3, cassette, tessuti ed intrecci di materiali;
- 4) separazione del materiale valorizzabile mediante Separatore Balistico Stadler® in tre frazioni:
 - materiali 3D rotolanti e pesanti (bottiglie, lattine, etc.), condotti alla zona di separazione plastiche nella linea 3D;
 - materiali 2D piatti e leggeri (FIL/S, carta, cartone, materiali tessili e fibrosi), condotti alla zona di separazione plastiche nella linea 2D;
 - materiali fini vagliati, raccolti alla base del Separatore Balistico in un container metallico;
- 5) separazione automatica con tecnologia NIR per linea 3D e per linea 2D;
- 6) separatore magnetico e separatore a correnti indotte (Eddy Current Separator – ECS) posizionati lungo la linea di selezione del materiale tridimensionale. Il separatore magnetico separa il materiale ferroso dal flusso totale, mentre l'ECS separa tutti gli altri metalli non ferrosi, come ad esempio l'alluminio;
- 7) controllo qualità dei prodotti selezionati attraverso cernita manuale nella cabina di controllo;
- 8) pressatura dei prodotti.

L'impianto analizzato presenta:

- *Linea di separatori ottici per il flusso bidimensionale*: si tratta del primo impianto in Italia ad

- *Ricircolo Manuale*: è effettuato dal personale presente nella cabina di controllo, in cui avviene una selezione manuale di tipo frontale. Gli addetti hanno il compito di selezionare, all'interno di ciascun flusso, tutti i contenitori in PET/HDPE/PP che sono estranei al flusso di quel prodotto, e di mandarli in una buca per il ricircolo che li riporterà, attraverso un nastro trasportatore, in cima alla cascata di NIR della linea 3D. Ricircolo automatico e manuale favoriscono l'aumento dell'efficienza di selezione dell'intero impianto;
- *Bunker di accumulo materiale*: sono dei contenitori che si trovano al di sotto della cabina di controllo e ricevono i diversi flussi di prodotto precedentemente selezionato;
- *Sistema elettronico di controllo* per i bunker, automatico o manuale: ogni bunker ha un rilevatore di livello per poter visionare cosa sta scorrendo al suo interno; tutto è visibile su di uno schermo posizionato in impianto accanto alla pressa;
- *Buffer (o Bunker) per lo scarto*: serve per "accumulare" ciò che è stato mandato in ricircolo dalla cabina di controllo. Tutto quello che viene accumulato nel bunker viene poi rimandato a monte della cascata dei separatori ottici per la selezione del materiale tridimensionale. La quantità di materiale in esso presente indica quanto viene cariato l'impianto: se il buffer si riempie troppo velocemente, vuol dire che l'impianto è sovraccaricato, con conseguente mal funzionamento di tutti i macchinari.

2.3. Metodologia e Indici utilizzati

Durante le due fasi di analisi, le procedure di campionamento ed analisi hanno seguito la pratica riconosciuta dal consorzio Corepla cercando di ottenere un'alta affidabilità dei risultati; quindi è stato utilizzato lo stesso metodo in entrambe le prove effettuate. La procedura utilizzata nelle due prove può essere riassunta nelle seguenti fasi:

- 1) ricezione del materiale e pesatura;
- 2) avvio impianto e acquisizione tempistiche della prova di carico;
- 3) arresto impianto;
- 4) scelta delle balle di prodotto;
- 5) quartatura;
- 6) caratterizzazione;
- 7) pesatura ed acquisizione dati.

Le fasi sopra elencate sono state effettuate sui flussi in arrivo all'impianto nei giorni 26/09/2016 –

30/11/2016, costituiti dai rifiuti da imballaggi in plastica provenienti dalla raccolta differenziata della Comunità Montana delle Valli del Taro e del Ceno. Le verifiche sull'adeguato rendimento dei separatori ottici e sui relativi livelli di purezza raggiunti nei flussi dei prodotti vengono effettuate attraverso il calcolo di due indici di seguito presentati, ricavati empiricamente prima della fase di analisi:

Indice di Purezza, I.P.:

$$I.P._{A,X} = \frac{A \text{ (kg)}}{X \text{ (kg)}}$$

A = peso del prodotto effettivamente presente nel campione analizzato;

X = peso totale del campione analizzato.

I.P. esprime, quindi, quanto di un determinato materiale è presente nella totalità del campione consentendo di capire la purezza del flusso relativamente ad un determinato prodotto. Per fare un esempio, viene preso in considerazione il prodotto PET incolore: in questo caso:

$$I.P._{PET \text{ Incolore}} = \frac{PET \text{ Incolore (kg)}}{Campione \text{ del flusso (kg)}}$$

sarà dato dal rapporto tra il peso dei contenitori in PET Incolore presenti nel campione analizzato, e il peso del campione stesso, prelevato dal flusso proveniente dal separatore ottico addetto alla selezione di questo determinato prodotto;

Indice di Recupero, I.R.:

$$I.R._A = \frac{X \text{ (kg)} * I.P._{A,X}}{\sum_{i=1}^n X_i \text{ (kg)} * I.P._{A,X_i}}$$

X = peso del campione del flusso di prodotto preso in considerazione;

I.P. _{A, X} = indice di purezza del flusso X del prodotto A;

X_i = peso del campione del flusso i;

n = numero totale dei flussi da cui è stato prelevato il campione per l'analisi di purezza.

Il numeratore esprime la quantità di quel prodotto presente nel campione prelevato dal flusso separato dal NIR addetto alla selezione di quel determinato materiale; il denominatore invece rappresenta la quantità totale di quel materiale in uscita dall'impianto, dato quindi dalla somma delle diverse quantità di esso presenti nei singoli flussi. Quindi, l'I.R. esprime quanto si recupera di quel determinato materiale preso in considerazione, e cioè diventa prodotto pronto per la vendita e suc-

cessivo al riciclo, rispetto alla totalità in ingresso. Per rendere tutto più chiaro, può essere considerato ancora una volta il prodotto PET incolore: in questo caso il numeratore è costituito dal peso del PET incolore effettivamente presente nel campione prelevato dal flusso del NIR addetto alla selezione di esso, mentre il denominatore rappresenta il peso complessivo del PET in ingresso all'impianto.

2.4. Bilancio di Massa

Infine, attraverso il bilancio di massa, è stato possibile valutare i risultati anche dal punto di vista economico. È stato utilizzato il software STAN (abbreviazione di subSTance flow ANalysis), un freeware che aiuta ad eseguire l'analisi del flusso dei materiali in base a norme austriache (Austrian standard ÖNorm S 2096). STAN costruisce il modello grafico sulla base di parametri impostati dall'operatore; alcuni di essi sono noti ed inseriti manualmente, mentre i parametri incogniti vengono calcolati dal software. Tutti i flussi possono essere visualizzati in "Sankey Style", cioè la larghezza di un flusso è proporzionale al suo valore. STAN, permette inoltre la valutazione di fattori di incertezza presenti nel sistema analizzato, utilizzando strumenti matematici statistici. Nello studio effettuato, il software è stato determinante nel calcolo dei flussi di massa dei passaggi intermedi di processo; ciò è stato possibile attraverso l'utilizzo dei coefficienti di scambio, calcolati in impianto durante le fasi di analisi. Più precisamente, in ogni componente di processo (rappresentato mediante un rettangolo) può essere inserito un "Transfer Coefficient", che rappresenta la quantità di materiale del flusso analizzato in uscita dal singolo processo considerato, espresso in percentuale rispetto al flusso totale in ingresso. Considerando il sistema globale e conoscendo i dati di input (Peso materiale alimentato) e i dati di output (Pesi prodotti ottenuti), è stato possibile estrapolare i Transfer Coefficient relativi ad ogni fase e quindi i relativi flussi intermedi.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Analisi del materiale in ingresso

Il materiale in ingresso all'impianto di selezione proviene dalla raccolta differenziata della Comunità Montana delle Valli del Taro e del Ceno e può

essere conferito sia sfuso, e quindi direttamente da raccolta differenziata "porta a porta", sia compresso, in quanto proveniente dal Centro Comprensoriale (CC) situato in Borgo Val di Taro. Una precisazione deve essere fatta relativamente alla tipologia di rifiuti che arrivano dalla raccolta, a cui corrispondono i diversi codici CER:

- il codice 150102 indica rifiuti da imballaggi in plastica;
- il codice 191204 indica materiale prodotto dal trattamento meccanico di rifiuti (ad esempio selezione, triturazione, compattazione, ecc.) in plastica e gomma.

La valutazione del contributo separato di ciascuna delle categorie è stata effettuata dal consorzio Corepla e in questo studio sono stati analizzati i flussi in ingresso all'impianto nel periodo: 26/09/2016 - 30/11/2016.

Grazie ai dati resi disponibili da Corepla, si è potuto procedere con un'analisi delle diverse frazioni presenti nel materiale in ingresso all'impianto. Si è ipotizzata la stessa composizione per ciascun carico di una determinata tipologia (CER) di rifiuto in ingresso dal 26/09/2016 al 30/11/2016 e, attraverso una media pesata, si è ricavata la composizione media in frazioni della totalità del rifiuto in ingresso.

Considerando i seguenti elementi:

- *CPL* = Bottiglie e flaconi di PET/PE/PP di capacità compresa tra 0,33 e 5 litri;
- *Traccianti* = FIL/M d'imballaggio e altri imballaggi flessibili con dimensioni maggiori di un foglio di dimensione A3, Big Bags, Imballaggi Rigidi;
- *Imballaggi Vari* = tutti gli imballaggi in plastica del circuito Corepla non inclusi nei CPL, come ad esempio contenitori per liquidi con dimensioni maggiori di 5 litri o minori di 0,33 litri, contenitori in PVC (Cloruro di Polivinile) e PLA (acido polilattico), ecc.
- *Frazione Neutra* = cassette per prodotti ortofrutticoli e alimentari appartenenti al circuito CONIP, imballaggi riconducibili ad altri sistemi autonomi di gestione riconosciuti nelle forme di legge;
- *Frazioni Estranee* = qualsiasi manufatto non in plastica, giocattoli, videocassette, articoli per irrigazione, imballaggi non vuoti con un residuo di contenuto in peso superiore al peso dello stesso contenitore vuoto (per le bottigliette è tollerato un residuo del contenuto minore o uguale al 5% della sua capacità), rifiuti ospedalieri e/o pericolosi;

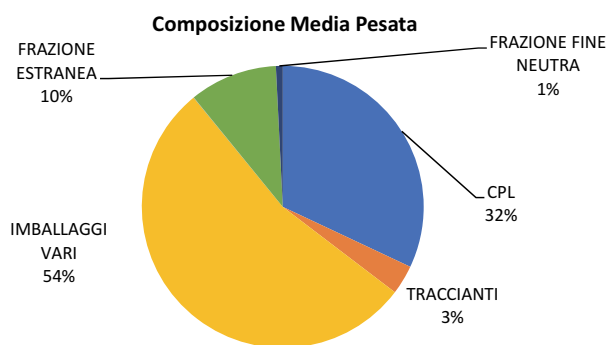


Figura 2 – *Composizione Media Pesata del rifiuto in ingresso dal 26/09/2016 al 30/11/2016, da elaborazioni dati di analisi Corepla*

si può valutare la composizione media pesata del rifiuto in ingresso (Figura 2).

3.2. Indici di Purezza

Le verifiche riguardo il rendimento dei separatori ottici vengono effettuate attraverso il calcolo dell'Indice di Purezza (I.P.) la cui formula è già stata illustrata precedentemente. Come già accennato, l'Indice di Purezza esprime la quantità di un determinato polimero/colore nella totalità del cam-

pione considerato; tramite questo parametro è possibile quantificare la purezza del flusso relativa all'efficienza di separazione della cascata di NIR a cui il campione analizzato è stato sottoposto. I metodi e i materiali utilizzati durante le due analisi (6 – 9 Settembre e 28 – 29 Ottobre) sono gli stessi, anche se per la prima (Settembre) sono stati analizzati solo alcuni flussi di prodotti in quanto, essendo stato avviato per la prima volta da poco tempo, l'impianto doveva ancora essere calibrato al meglio. Gli I.P. si riferiscono ai materiali in uscita dai rispettivi separatori ottici: i flussi di FIL/S sono due in quanto i NIR dedicati alla selezione del 2D sono due, disposti uno di seguito all'altro: il primo è il separatore ottico 5050 e il secondo è il separatore ottico 5060 (Figura 1). Di conseguenza è stata testata la capacità di separazione di entrambi. Si può notare (Figura 3) come non sia stato possibile stimare gli I.P. di alcuni flussi durante la prima analisi (Settembre) per incompletezza nella raccolta dati. I risultati raggiunti mostrano un netto miglioramento dell'efficienza durante la seconda analisi (Ottobre) grazie ad un perfezionamento nella programmazione dei separatori ottici; più nello specifico gli incrementi rilevati sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 – *Miglioramento per punti percentuali del livello di purezza dei diversi flussi tra I e II Analisi*

I.P.	Flusso PET TOT	Flusso PET incolore	Flusso PET azzurrato	Flusso PET colorato	Flusso HDPE	Flusso FIL/S 5050
Increm.	3,4%	8,2%	12,6%	8,5%	8,2%	10,8%

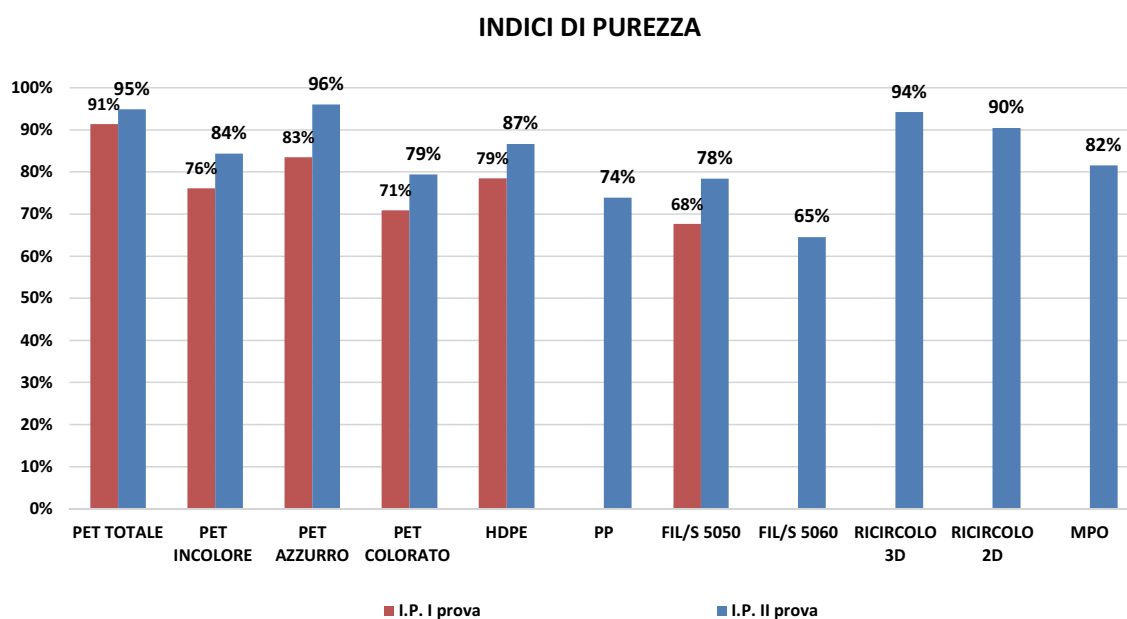


Figura 3 – *Indici di Purezza (I.P.)*

3.3. Indici di Recupero

Le verifiche del rendimento dell'impianto nel suo complesso vengono effettuate attraverso il calcolo dell'Indice di Recupero (I.R.), le cui formule sono già state illustrate precedentemente. L'Indice di Recupero esprime quanto materiale si recupera a valle dell'intero trattamento, cioè quanto dell'ingresso diventa prodotto pronto per la vendita e successivamente per il riciclo (polimero o colore). Quindi, a differenza dell'I.P., l'I.R. esprime l'efficienza di recupero del materiale di tutto l'impianto, permettendo di fare anche dei bilanci di massa complessivi sull'ingresso e sull'uscita del centro di selezione secondario in analisi.

Nella Figura 4 sono rappresentati gli Indici di Recupero calcolati durante la Seconda Analisi.

Ogni flusso di prodotto uscente è dipendente dall'efficienza di selezione di tutta la filiera di separatori ottici, considerando le quantità totali di prodotto "perso" negli altri flussi. Quindi si rileva che, dei materiali totali in ingresso, si recupera il 44% di PET Incolore, il 64% di PET Azzurrato, il 63% di PET Colorato, il 64% di HDPE, il 78% di PP, il 42% di FIL/S (19% FIL/S dal NIR 5060 e il 23% dal NIR 5050). Il calcolo dell'I.R. di impianto dell'MPO si compie in modo diverso rispetto agli altri prodotti, in quanto esso si ottiene come materiale "residuo" di prodotti potenzialmente selezionabili ma erroneamente separati. L'Indice di Recupero dell'MPO risulta allora calcolato rispetto

alla somma dei materiali non selezionati quali l'MPO e il Plasmix.

3.4. Osservazioni sulle potenzialità dell'impianto

Grazie alle analisi effettuate, è stato possibile evidenziare alcune potenzialità dell'impianto, attraverso elaborazioni più approfondite:

- del materiale in uscita dall'impianto, il 46,5% è rappresentato da prodotti quali PET incolore, PET azzurrato, PET colorato, HDPE, PP e FIL/S, FILM e MPR e MPO, mentre il 53,5% è rappresentato da sottoprodotti, costituiti per la maggior parte dal PLASMIX e in piccola parte anche da Ferro, Alluminio, dallo Scarto Ingombrante e dalla Frazione Fine.
- È stato già sottolineato nei paragrafi precedenti che l'impianto analizzato è il primo in Italia ad avere una linea di separatori ottici per il flusso bidimensionale con due NIR in serie anche per il prodotto FIL/S (quindi materiale bidimensionale con dimensioni minori del formato A3). Quantificando il vantaggio di questa innovazione, risulta che viene selezionato ben il 42% di solo FIL/S in PP e PE e il 52% considerando anche il FIL/M (dimensioni maggiori di A3) rispetto al materiale bidimensionale totale in ingresso all'impianto.
- Il funzionamento dei separatori ottici si basa esclusivamente sul riconoscimento del polimero e/o del colore per cui è stato programmato,

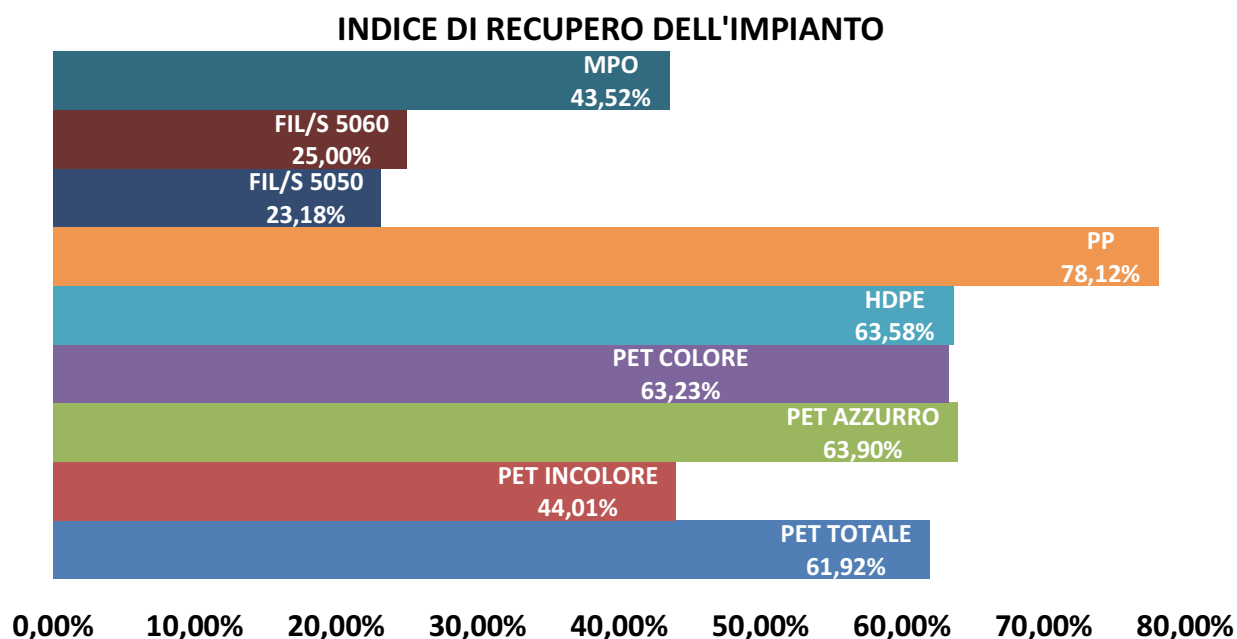


Figura 4 – Indici di Recupero (I.R.) dell'impianto, ricavati dall'analisi dei flussi in uscita (Seconda Analisi)

senza distinguere tra un materiale bi- o tri- dimensionale, compito questo del separatore balistico. Di conseguenza, grazie agli Indici di Purezza dei flussi uscenti, è stato possibile valutare l'efficienza di separazione del balistico e la sua percentuale di errore nella selezione del materiale 3D e 2D. È risultato che nei flussi dei prodotti tridimensionali, solo il 2,9% è costituito da FIL/S, mentre nei flussi di prodotto bidimensionali (quindi nei FIL/S) il 6,8% è rappresentato da oggetti tridimensionali. In realtà, ci si aspetta un margine di errore maggiore per la separazione del materiale 2D che per il 3D: i FIL/S infatti possono rimanere bloccati e conficcati con più facilità tra gli oggetti 3D, venendo poi trasportati nel flusso tridimensionale, mentre gli oggetti 3D come le bottiglie in PET o HDPE, essendo più pensanti e con una forma più arrotondata, rotolano con facilità verso il basso, con minore rischio di essere trascinati nel flusso bidimensionale. Infatti, confrontando le percentuali di errore ottenute con la quantità totale in ingresso rispettivamente di FIL/S e di materiale tridimensionale, si osserva che l'errore di separazione per il 3D è pari al 2% e per il 2D pari al 4%, entrambe le percentuali calcolate sul totale 3D e 2D.

D) Attraverso gli Indici di Purezza e gli Indici di Recupero è stato possibile calcolare la quantità di materiale non separato correttamente e che quindi viene ritrovato nei flussi di polimeri/colori non corrispondenti a quello in questione; questi materiali quindi non saranno diretti al recupero e riciclaggio e vanno visti come "persi". Le percentuali dei prodotti "persi" sono illustrate nella Figura 5.

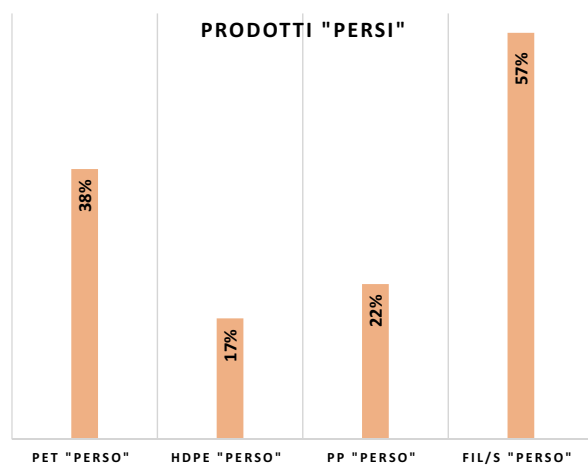


Figura 5 – Prodotti "Persi" in uscita dall'impianto rispetto ai totali selezionabili in ingresso

Tabella 2 – PET Perso e Recuperato in chilogrammi e in numero di bottiglie da 1,5 litri (Seconda Analisi)

Bottiglia PET da 1,5 litri	0,038	kg
PET perso	3030	kg
Bottiglie PET perse	79733	/
PET recuperato	5181	kg
Bottiglie PET recuperate	136353	/

Da ciò, conoscendo il peso del PET "perso" in chilogrammi e il peso di una bottiglia vuota di PET da 1,5 litri, si può fare una stima delle bottigliette "perse".

I valori esposti nella Tabella 2 si rifanno al materiale in ingresso e selezionato durante la seconda fase di analisi (Ottobre), e quindi ad una quantità totale di rifiuto in ingresso pari a 33,5 tonnellate, selezionato in circa 4 ore di funzionamento dell'impianto (portata pari a 8 t/h). Ne deriva quindi un riciclo di circa 136353 bottiglie PET (5181 kg di PET), contro le 79733 bottiglie non recuperate (3030 kg di PET).

3.5. Bilancio di massa

Per calcolare i risultati, i rendimenti complessivi e lo schema dei costi, è necessaria l'analisi del bilancio di massa: esso mostra il flusso di massa del materiale alimentato all'impianto di selezione secondario e i flussi di massa di ogni frazione in uscita durante il processo di smistamento, compreso lo scarto formatosi. Questo ha fornito una descrizione tecnica e logistica del flusso di materiale passante attraverso il sistema, dei volumi e delle rese di trasformazione. La purezza e la composizione di ogni flusso in uscita sono state valutate mediante il prelievo di campioni da ciascun flusso, come descritto ed analizzato precedentemente.

Per impostare quindi il bilancio di massa, si sono tenuti in considerazione:

- 1) i turni lavorativi, le ore lavorative per ciascun turno, i giorni lavorativi in un anno;
- 2) le tonnellate di rifiuto trattate all'ora;
- 3) la composizione merceologica del materiale in ingresso;
- 4) l'unica ipotesi di ripartizione dei materiali tridimensionali e bidimensionali: il 60% del contenuto proviene dalla linea addetta alla separazione degli oggetti tridimensionali e il 40% dalla linea per gli oggetti bidimensionali. Questa ipotesi è basata sull'esperienza e tiene presente

che, avendo in totale una quantità maggiore di materiale 3D, più della metà del materiale ritrovato nei flussi MPO e Plasmix deriverà dalla linea tridimensionale e non da quella bidimensionale.

Il bilancio di massa è stato effettuato considerando un intervallo temporale di un anno; quindi la quantità totale di materiale trattata è stata stimata sapendo che:

- i turni lavorativi sono 2 al giorno con 7 ore lavorative ciascuno;

- l'impianto è in funzione per 263 giorni all'anno;
- in ogni ora l'impianto seleziona circa 8 tonnellate di rifiuto.

Con ciò si può ottenere la stima della quantità totale di materiale in ingresso all'impianto in un anno:

$$\text{Materiale INPUT} = 2 \frac{\text{turni}}{\text{giorno}} * 7 \frac{\text{ore}}{\text{turno}} * 263 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} * 8 \frac{\text{tonnellate}}{\text{ora}} = 29456 \frac{\text{tonnellate}}{\text{anno}}$$

Di seguito è riportato il diagramma del bilancio di massa annuale con i relativi flussi (Figura 6).

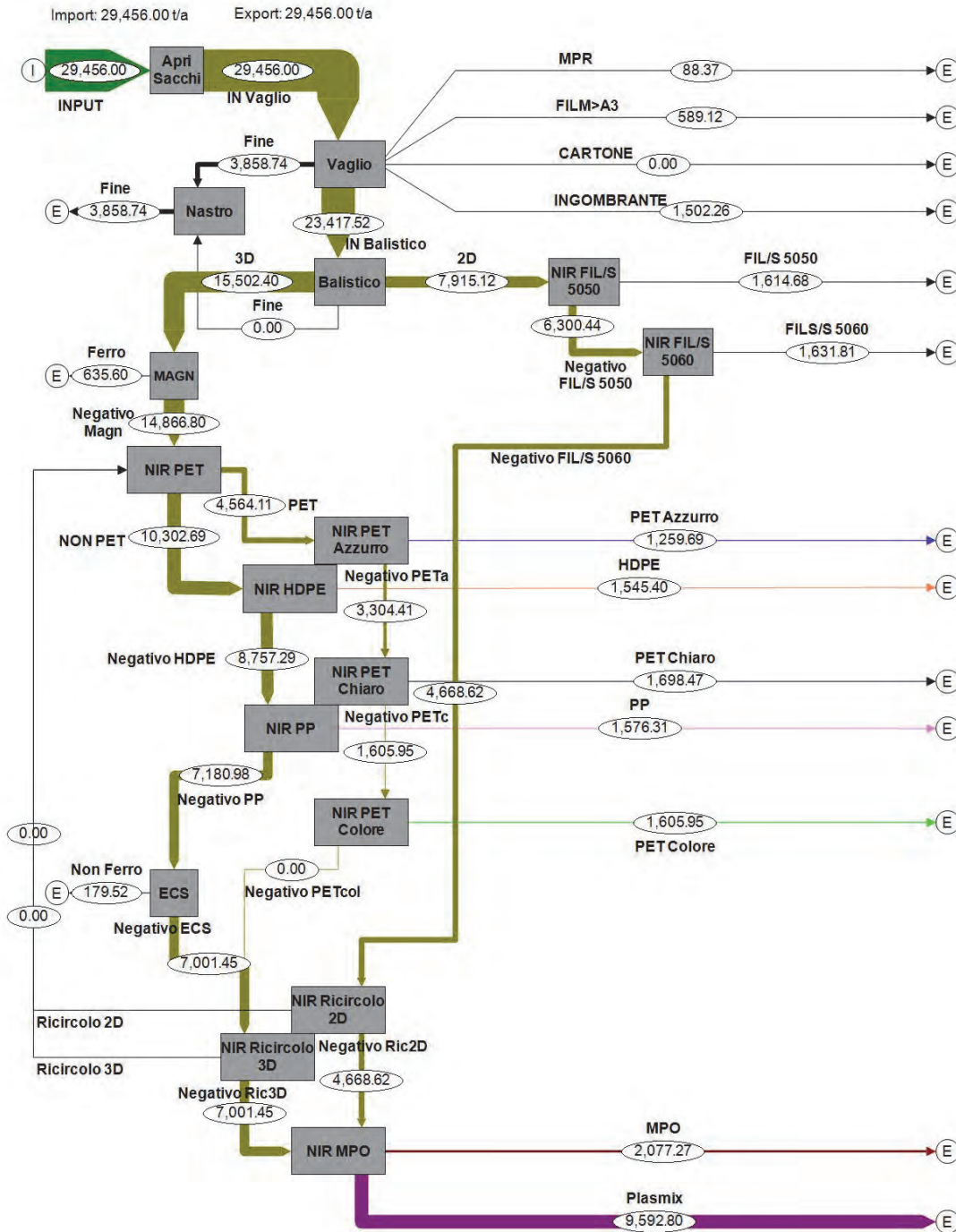


Figura 6 – Bilancio di massa dell'impianto (tonnellate/anno); con i = input, materiale in ingresso all'impianto ed e = exit, materiale in uscita dall'impianto

I flussi in uscita ricavati e rappresentati nel grafico in Figura 6 raffigurano le quantità totali di prodotti e sottoprodotti che l'impianto genera in un anno; non si considerano quindi le purezze di ciascun flusso di prodotto, valutandoli in questo caso, solo dal punto di vista quantitativo e "commerciale".

3.6. Valutazioni Economiche

L'analisi economica di seguito riportata è riferita alla gestione annuale del Centro di Selezione Secondario, con riferimento ai flussi di materiali in uscita dall'impianto calcolati con il bilancio di massa esposto nel precedente paragrafo. La valutazione effettuata riguarda l'anno zero di avviamento dell'impianto.

Per la stima dei costi sostenuti, sono state considerate le seguenti componenti:

- i costi di investimento (€/anno). In questo caso sono stati presi in considerazione solo i costi dei macchinari acquistati e del sistema elettrico installato, senza considerare i costi per l'acquisto del terreno, per le licenze, per l'allacciamento elettrico;
- la rata annuale degli investimenti. Il costo totale di investimento sopra citato è suddiviso in rate annuali funzione del periodo di ammortamento (20 anni) e del tasso di interesse annuo considerato (5%);
- il costo di manutenzione dell'impianto. Si considera, annualmente, il 4% del costo totale delle macchine e del sistema elettrico;
- il costo del personale. Rappresenta le remunerazioni degli operatori dell'impianto quali il capo impianto, il responsabile di turno, il meccanico ed elettricista, i conduttori dei veicoli, il responsabile della pressa imballatrice e gli operai;
- i costi variabili. Essi comprendono:
 - a) il costo dell'elettricità annuale; si considera un costo dell'energia di 0,1 €/kWh, una potenza nominale installata di 480 kW, le 3682 ore lavorative annuali e il fattore di utilizzo della potenza installata pari a 0,6;
 - b) il costo del gasolio consumato dai veicoli utilizzati per il trasporto dei materiali, considerando il fabbisogno di 60 litri/giorno per veicolo e il costo di 1 €/litro diesel;
 - c) costi di imballaggio (effettuato con filo di ferro), stimati in circa 4 € per balla.

L'allegato tecnico imballaggi in plastica riporta i corrispettivi riconosciuti da Corepla durante la ge-

Tabella 3 – Percentuali di Prodotti, MPO, Sottoprodotti in uscita annualmente

Prodotti	39,4%
MPO	7,1%
Sottoprodotti	53,5%

stione degli imballaggi in plastica. Le autorità locali che intendono aderire al sistema Conai devono firmare un contratto con il Consorzio Corepla; ciò consentirà alle autorità locali di ricevere i corrispettivi, pagati dal Consorzio, per ogni tonnellata di materiale selezionato e consegnato. Le varie procedure sono dettate dall'accordo ANCI-Conai aggiornato ogni cinque anni. Si ricorda brevemente che esso sancisce le spese di raccolta per ciascun materiale di imballaggio trattato e i corrispettivi remunerati; essi si basano sulla qualità del materiale raccolto, e quindi sulle impurità in esso contenute. Nessuna tassa di raccolta è dovuta se la percentuale di impurità è superiore alla soglia massima, e il Consorzio Corepla potrebbe decidere di non ritirare il materiale. Inoltre, l'accordo stabilisce anche eventuali altri oneri dovuti alle autorità locali a seconda dei costi di distanza e di trasporto, o altri costi aggiuntivi (pressatura, pulizia, ecc.).

Quindi, per calcolare i ricavi ottenuti dal processo di selezione, si considerano:

- il CSS in questione tratti solo plastica per conto Corepla.
- I corrispettivi riconosciuti da Corepla per ogni tipologia di materiale in uscita dall'impianto e dettati dall'accordo ANCI-CONAI, aggiornato

Tabella 4/a – Parametri e valori considerati nella valutazione economica

Turni lavorativi e Materiale INPUT	
Ore per turno	7
Turni	2
Ore giorno	14
Giorni lavorativi	263
Tonnellate ora	8
Tonnellate trattate per anno	29.456
Parametri Funzionamento	
Potenza Installata (kW)	480
Litri/giorno per veicolo (1 pala meccanica)	60
Euro per filo di ferro di una balla (circa 1 tonnellata)	4

Tabella 4/b – Parametri e valori considerati nella valutazione economica

1. Costo Investimento (€/anno)				
Macchine e sistema elettrico				€ 6.000.000
2. Rata annuale per investimenti (€/anno)		Interesse	Periodo	Annualità
Macchine e sistema elettrico		5%	7	€ 1.036.919
3. Costo manutenzione impianto anno 1*			Percentuale	Annualità
Macchine e sistema elettrico			4,0%	€ 240.000
4. Costo personale	Quantità	N°turni	Stipendi (€/anno)	
Capo impianto	1	1	60.000	€ 60.000
Responsabile di Turno	1	2	45.000	€ 90.000
Meccanico ed elettrico	2	2	40.000	€ 160.000
Conduttore elevatore/pala/camion	2	2	40.000	€ 160.000
Responsabile pressa	1	2	40.000	€ 80.000
Operaio semplice	10	2	35.000	€ 700.000
Sostituzioni	20%			€ 250.000
TOTALE				€ 1.500.000
5. Costi variabili			Costi Specifici	Annualità
Elettricità		€/kWh	0,100	€ 106.042
Diesel		€/l	1,00	€ 220.920
Costo imballaggio		€/t	4,00	€ 117.824
TOTALE				€ 444.786
6. Ricavi		Corrispettivi (€/anno)	Quantità (t/anno)	Annualità
PRODOTTI		210	11605,7	€ 2.437.189
MPO		176	2091,4	€ 368.082
SOTTOPRODOTTI (Plasmix)		75	15759,0	€ 1.181.922
TOTALE				€ 3.987.194
BILANCIO TOTALE			Specifico	Annuale
			€/t 25,99	€ 765.489

ogni 5 anni; essi sono di 210 €/t per i Prodotti, di 176 €/t per MPO, di 75 €/t per i Sottoprodotti, ovvero per il Plasmix.

- Le diverse quantità di Prodotti e Sottoprodotti in uscita dall'impianto, calcolati attraverso il Bilancio di Massa (Tabella 3).

Nei Prodotti sono compresi i quantitativi di PET incolore, PET azzurrato, PET colorato, HDPE, PP e FIL/S, FILM e MPR, mentre nei Sottoprodotti sono inclusi il Plasmix, la Frazione Fine, il Ferro, l'Alluminio e lo Scarto Ingombrante.

Nella Tabella 4 sono illustrati i parametri presi in considerazione e tutti i costi e i ricavi stimati.

4. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha riguardato la tematica della gestione dei rifiuti da imballaggio in plastica nel sistema italiano e le tecnologie utilizzate nella loro

separazione, attraverso l'analisi di un nuovo Centro di Selezione Secondario del circuito Corepla.

L'impianto analizzato presenta degli elementi innovativi rendendolo unico nel suo genere in Italia, nello specifico la linea di separatori ottici per il flusso di materiale bidimensionale, trattato con due separatori NIR posti in serie per il prodotto FIL/S (dimensioni <A3). Lo studio si è concentrato sul calcolo dei rendimenti di separazione della tecnologia NIR dei rifiuti nelle categorie più comuni di polimeri. È stato dimostrato, infatti, che la selezione dei rifiuti di imballaggio in plastica è soggetta a molte incertezze a causa di variabili quali la composizione merceologica del materiale in ingresso, la portata di trattamento dell'intero impianto, la distribuzione del materiale sui nastri, la presenza di oggetti idonei al riconoscimento ottico ma non riciclabili e la concentrazione di imballaggi flessibili (FIL/S e FILM) nel materiale in ingresso.

Le prove di caratterizzazione e di valutazione dell'efficienza dell'impianto sono state concentrate nei mesi di settembre ed ottobre 2016. In queste due occasioni sono state svolte le seguenti analisi:

- Le prove di portata e le verifiche di purezza dei flussi di prodotto in uscita mediante il calcolo di due indici (Indice di Purezza I.P. e Indice di Recupero I.R.) le cui espressioni sono state definite durante le fasi di analisi effettuate. Per il calcolo dei suddetti indici è stato necessario svolgere l'analisi merceologica, facendo la cernita manuale di ogni campione nelle diverse frazioni individuate e pesando i rifiuti appartenenti alle differenti classi.

Dalle analisi è stato rilevato che:

- a) il campione del PET incolore risulta costituito per il 64% da bottiglie e contenitori per liquidi e per il 20% da vaschette PET incolore per alimenti; il campione del PET colorato, risulta costituito per il 68% da bottiglie e contenitori per liquidi, per il 7% da PET opaco e per il 5% da contenitori PET ricoperti da etichetta colorata (per più dell'85%);
 - b) il prodotto MPO è costituito da imballaggi misti di poliolefine derivanti da tutta la filiera di selezione e come tutti gli altri prodotti COREPLA. In questo caso, il campione è costituito dal 24% di HDPE, dal 12% di PP, dal 55% di FIL/S, dal 6% di PET (2% incolore, 2% azzurrato, 2% colorato);
 - c) il campione del flusso PP, si è prestata attenzione risulta costituito dal 74% da PP e dal 10% da FIL/S di cui il 3% di PP, l'1% di PE e il restante 6% di FIL/S risulta non marcato, ossia non è stato possibile riconoscere la tipologia di materiale attraverso la semplice cernita manuale.
 - d) il PLASMIX rappresenta il materiale residuo proveniente dalla selezione delle plastiche; in esso sono contenuti sia materiali di scarto, sia oggetti potenzialmente selezionabili, ma sfuggiti alla separazione. In questo caso il campione risulta costituito per il 53% da "Altro" ovvero materiali di scarto come carta, cartoni, tessuti, vetro, metalli, polistirene espanso (EPS); il resto è composto dal 21% di FIL/S in PP e PE, dal 24% da PET (6% incolore, 12% azzurrato, 5% colorato e 1% opaco).
- Il calcolo del bilancio di massa, con cui è stato possibile valutare i risultati dal punto di vista quantitativo.

È stata stimata della massa totale di materiale in ingresso all'impianto in un anno (circa 29456 tonnellate/anno) e le percentuali dei vari flussi in uscita:

- Il 46,5% di polimeri inviati a riciclo;
- Il 53,5% di sottoprodotti inviati a recupero energetico o a smaltimento.
- Analisi economica. Il bilancio economico totale risulta dalla differenza tra i ricavi e i costi totali; esso è positivo, con un guadagno pari a 26 € per tonnellata trattata.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bonifazi G. and Serranti S. (2006) Imaging spectroscopy based strategies for ceramic glass contaminants removal in glass recycling. *Waste Management*, 26, 6, 627-39.
- Corepla 2. 2010. Utilizzo a fini energetici chimici dei residui dei processi di selezione di imballaggi in plastica provenienti da raccolta differenziata.
- Gundupalli S.P., Hait S., Thakur A. (2017) A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*, 60, 56-74.
- Lasheras R.J., Bello-Gálvez C., Anzano J. (2010) Identification of polymers by libs using methods of correlation and normalized coordinates. *Polym Test*, 29, 8, 1057-64.
- Mesina M.B., de Jong T.P.R., Dalmijn W.L. (2007) Automatic sorting of scrap metals with a combined electromagnetic and dual energy X-ray transmission sensor. *Int J Miner Process* 82, 4, 222-32
- Noll R., Bette H., Brysch A., Kraushaar M., Mönch I., Peter L., Sturm V. (2001) Laser-induced breakdown spectrometry – applications for production control and quality assurance in the steel industry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 56, 6, 637-49
- Tatzer P, Wolf M, Panner T. (2005) Industrial application for inline material sorting using hyperspectral imaging in the NIR range. *Real Time Imaging*, 11, 2, 99-107.
- Serranti S., Gargiulo A., Bonifazi G. (2011) Characterization of post-consumer polyolefin wastes by hyperspectral imaging for quality control in recycling processes. *Waste Management* 31, 11, 2217-27.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano l'azienda **Stadler Italia s.r.l.** e la ditta **Oppimitti** che hanno contribuito alla raccolta dati e alla realizzazione di questo lavoro.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2018 è sostenuta da:



ecopneus
il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

xylem
Let's Solve Water

VEOLIA
Veolia Water Technologies Italia S.p.A.

UNICALCE
Innoviamo la tradizione

SOLVair Solutions

suez

eco
TECHNO
Vacuum Evaporation Systems

SIAD

VOMM

EcH₂Osid
Ingegneria e Impianti srl

ALLEGRI
ecologia
trattamento acque

CONOU

KSB

comieco
Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo
degli imballaggi a base Cellulosica

SESEAM
engineering
l'acqua e l'ambiente

STADLER[®]
STADLER ITALIA S.r.l.

**INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE**



N. 3/2018

COLORSHADE