

VALUTAZIONE DEI FLUSSI DI SCARTO NELLA GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI IN ITALIA

Martina Bellan^{1*}, Mario Grosso¹

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

Sommario – Una buona raccolta differenziata è la prima condizione per sostenere una filiera di riciclo di alta qualità, con il fine ultimo della preservazione delle risorse naturali e la riduzione degli impatti sull'ambiente. Per una corretta pianificazione della gestione dei rifiuti urbani non destinabili a recupero di materia e una valutazione dei fabbisogni impiantistici, occorre conoscere non solo la produzione di rifiuto urbano residuo, ma anche quantificare i flussi di scarto derivanti dai trattamenti delle raccolte differenziate. Questi rifiuti devono essere gestiti con particolare attenzione al contenimento degli impatti ambientali e quindi preferendo l'incenerimento con recupero di energia allo smaltimento in discarica, al quale nel 2018 in Italia si è ancora fatto ricorso per la gestione del 22% dei rifiuti urbani. La quantificazione degli scarti generati nelle operazioni di recupero delle frazioni differenziate è stata l'obiettivo di questo lavoro. Dall'analisi è emerso che, a fronte di una produzione nazionale di rifiuti nel 2018 pari a 30,2 milioni di tonnellate e una raccolta differenziata del 58%, l'attuale gestione e trattamento dei rifiuti raccolti in modo differenziato generano circa 3,4 milioni di tonnellate di scarti, di cui 3 milioni sono idonei al recupero energetico. Il totale degli scarti costituisce circa il 20% del materiale raccolto per via differenziata; se sommati al rifiuto urbano residuo attualmente generato, lo incrementano del 27% portando il quantitativo complessivo a 16,1 milioni di tonnellate all'anno, di cui 15,7 possono essere avviate a recupero energetico.

Parole chiave: rifiuti urbani, raccolta differenziata, scarti di trattamento.

EVALUATION OF RESIDUES FROM MUNICIPAL WASTE TREATMENT IN ITALY

Abstract – An effective separate collection of municipal waste is a necessary condition for a high-quality recycling system, with the aim of preserving natural resources and reducing impacts on environment. The quantification of residual municipal waste is essential for the proper planning of an effective management system, in particular for the definition of the treatment capacity needed in a region or a country. The municipal waste not suitable for material recovery is composed by the unsorted municipal waste and by the residual waste flows from the treatment of municipal waste collected separately. While the first is effectively monitored and easily quantifiable, the second one must be estimated and varies with the separate collection rate and its quality. Residual waste must be man-

aged considering the potential environmental impacts and preferring incineration with energy recovery to landfill disposal; in Italy in 2018, 22% of municipal urban waste was disposed in landfill. The aim of this study is the assessment of residual waste flows from material recovery operations of municipal waste from separate collection. The analysis was focused on the main fractions (organic fraction, paper and cardboard, plastics, glass, wood, metals) that are representative for the 88% of the municipal waste collected separately. The material recovery operations were divided in three main stages: separation of different fractions collected on a multi-material basis, selection of each fraction in order to remove inappropriate materials from the recoverable ones, recycling processes. In each treatment stage, a flow of mixed waste is generated; it can't be sent to material recovery and it is sent to alternative treatments based on its composition. As far as possible, public data representative of the national average were used. When the amount of residues was not declared, it has been assessed considering treatment efficiencies or the amount of avoided use of raw materials from natural resources. In order to include in the analysis all the municipal waste collected and not only the main fractions (on which this analysis was focused), the other minor fractions of separate collection (for example household construction and demolition waste, household bulky waste) were assessed, assuming that the treatment residues suitable for energy recovery account for the 10% of the total waste flow. The analysis considered the Italian municipal waste production in 2018 (30,2 million tons) when the average separate collection rate was 58%. The results show that the treatment of waste collected separately generates 3,4 million tons of mixed waste: 3 million are suitable for incineration with energy recovery. These residues account for 20% of total waste from separate collection; they increase the amount of residual municipal waste (that per se represents the 42% of total municipal waste production) by 27%; the municipal waste not suitable for material recovery managed in 2018 was 16,1 million tons; 15,7 million tons were suitable for incineration with energy recovery.

Keywords: municipal waste, separate collection, waste treatment residues.

Ricevuto il 4-6-2020; Correzioni richieste il 27-7-2020; Accettazione finale il 18-9-2020.

1. INTRODUZIONE

Fin dalla prima direttiva europea emanata in materia di gestione rifiuti (Direttiva 75/442/CEE) viene espressa l'importanza delle azioni volte alla

* Per contatti: Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano. Tel. 02.23996415. E-mail: martina.bellan@polimi.it

preservazione delle risorse naturali. Questo principio si è poi evoluto sul piano normativo e tecnico, arrivando fino alla definizione di una gerarchia di gestione dei rifiuti (Direttiva 98/2008/CE) che definisce una scala di priorità delle opzioni gestionali volta alla preservazione delle risorse (prevenzione e preparazione per il riutilizzo) e a recuperare il valore residuo del rifiuto (recupero di materia o recupero di energia). Questi concetti sono poi confluiti nella più ampia strategia di promozione di un'economia circolare, supportata dalle direttive del cosiddetto "pacchetto economia circolare" (Direttive del Parlamento e del Consiglio n. 849/2018/UE, 850/2018/UE, 851/2018/UE, 852/2018/UE del 30 maggio 2018) e dal piano d'azione per l'economia circolare adottato dalla Commissione Europea a marzo 2020 (Comunicazione COM(2020) 98 final).

Il riciclo di alta qualità non dipende soltanto dalla disponibilità impiantistica e tecnologica, ma dipende anche da un'efficace raccolta differenziata (Comunicazione COM(2020) 98 final), possibile grazie alla separazione dei rifiuti in flussi di materiali più o meno omogenei da parte dei cittadini.

I rifiuti raccolti in modo differenziato vengono sottoposti a processi di separazione e selezione prima del riciclo vero e proprio: questo comporta la generazione di flussi di scarto, che la normativa classifica in modo diverso rispetto ai rifiuti indifferenziati. Questi ultimi, che insieme ai rifiuti ingombranti e i rifiuti da spazzamento stradale a smaltimento vanno a costituire il rifiuto urbano residuo (RUR), sono classificati come rifiuti urbani e sono sottoposti a vincoli legati ai principi di autosufficienza per lo smaltimento da parte di ogni regione; inoltre la loro produzione è monitorata periodicamente ai fini del calcolo e verifica delle percentuali di raccolta differenziata (art. 205, comma 3-*quater* D.Lgs 152/2006 e s.m.i.).

I flussi di scarto derivanti dal trattamento delle diverse frazioni della raccolta differenziata invece, derivando da un'attività di recupero di rifiuti, sono classificati come rifiuti speciali. Come tali, non sono sottoposti agli stessi vincoli sopra descritti. La quantificazione di questi rifiuti, di origine chiaramente urbana ma classificati come speciali, non può essere effettuata in modo immediato come avviene per il rifiuto urbano residuo. Questo dato è però utile per individuare e comprendere i limiti del processo di recupero di materia da rifiuti urbani, al fine di superarli intervenendo sul piano tecnico o su quello gestionale, ad esempio attraverso

una corretta valutazione dei fabbisogni impiantistici e una corretta pianificazione regionale della gestione dei rifiuti.

A livello nazionale, una ricognizione di questi flussi è stata effettuata da parte delle Regioni nel 2015 sui dati di gestione dei rifiuti urbani del 2014. L'obiettivo dell'analisi era la stima, poi effettuata dal Ministero dell'Ambiente, del fabbisogno di incenerimento con recupero energetico di rifiuti urbani e assimilati, come previsto dall'art. 35 del DL 133/2014.

Gli scarti di selezione e di riciclo sono stati presi in esame anche in un precedente studio di valutazione degli impatti ambientali di un sistema di gestione rifiuti (Giugliano et al., 2011), che ha utilizzato dati raccolti durante visite presso impianti, tratti da letteratura scientifica o pubblicati dai consorzi di filiera per le diverse frazioni della raccolta differenziata analizzate. Lo studio ha preso in analisi diversi scenari nei quali varia la modalità di raccolta dei rifiuti e la percentuale di raccolta differenziata; gli scenari con raccolta differenziata al 50% e al 65% sono quelli che più si avvicinano agli effettivi risultati raggiunti a livello nazionale nel 2018, in cui il 58% dei rifiuti urbani è stato raccolto in modo differenziato (Ispra, 2019). I dati così raccolti indicano una produzione media di scarti, considerando tutte le frazioni della raccolta differenziata, del 7-12% nella fase di selezione e del 3% nella fase di riciclo.

Non risultano disponibili altre valutazioni specifiche e rappresentative del contesto nazionale italiano degli scarti derivanti dal trattamento delle frazioni della raccolta differenziata dei rifiuti urbani.

Dopo l'entrata in vigore del DPCM del 10 agosto 2016 di attuazione del citato art. 35 del DL 133/2014 (la cui legittimità è stata peraltro contestata, come commentato da Barelli, 2019), non è stato dato seguito al proposito dell'art. 35 stesso, che prevedeva l'individuazione di nuovi impianti di incenerimento per soddisfare l'attuale fabbisogno di trattamento nazionale; questa situazione ha portato al perdurare del ricorso allo smaltimento in discarica per il 22% dei rifiuti urbani nel 2018 (con un picco del 69% in Sicilia) (Ispra, 2019).

Sulla base di queste premesse l'analisi proposta ha l'obiettivo di aggiornare la stima e la quantificazione dei flussi di scarto generati nella gestione delle principali frazioni dei rifiuti urbani. Questi, sommati al rifiuto urbano residuo, costituiscono l'attuale fabbisogno di incenerimento per quanto

concerne i rifiuti urbani. Il fine ultimo è quello di sottolineare la necessità di una pianificazione – a livello locale e nazionale – più attenta alla gestione dei rifiuti urbani non idonei al recupero di materia, che deve tenere conto non solo della produzione di rifiuto indifferenziato ma anche degli scarti generati dai trattamenti delle frazioni differenziate.

2. MATERIALI E METODI

L'analisi ha previsto una prima fase di stima delle percentuali di scarto generato in ogni passaggio della gestione delle principali frazioni della raccolta differenziata dei rifiuti urbani e una seconda fase in cui tali valori sono stati utilizzati per quantificare gli scarti generati dalla gestione di tutta la raccolta differenziata, a livello nazionale e nell'arco di un anno.

Dove possibile, sono stati utilizzati dati medi nazionali e riferiti al 2018. Si è invece fatto ricorso all'utilizzo di dati con rappresentatività geografica (regionale) o temporale (anni precedenti) diversa solo in mancanza di dati rappresentativi del livello nazionale e dell'anno di riferimento.

Nella prima parte dell'analisi, per ogni frazione analizzata è stata valutata:

- la percentuale di scarti generati nel processo di separazione delle raccolte multimateriale;
- la percentuale di scarti generati nel processo di selezione, calcolata in rapporto al materiale in ingresso alla selezione;
- la percentuale di scarti generati nel processo di riciclo, calcolata in rapporto al materiale in ingresso al riciclo.

Per le frazioni organiche (umido e verde) è stata valutata un'unica percentuale di scarti, associata alla fase del trattamento biologico.

2.1. Confini e descrizione del sistema analizzato

Per la stima degli scarti generati nella gestione della raccolta differenziata dei rifiuti urbani sono state prese in esame le frazioni principali, rappresentative dell'88% del totale dei rifiuti contabilizzati nella raccolta differenziata secondo la metodologia adottata da Ispra (2019). Le frazioni analizzate sono:

- carta e cartone, che rappresenta il 19,6% in peso della RD nel 2018;
- plastica (8,6%);
- vetro (12,6%);
- frazione organica, costituita da umido e verde (40,4%);

- metalli (2%);
- legno (5,2%).

Rimangono esclusi dall'analisi i RAEE, i rifiuti ingombranti a recupero, i rifiuti da raccolta selettiva, i tessili, i rifiuti da costruzione e demolizione derivanti da attività domestiche, i rifiuti da spazzamento stradale a recupero.

La frazione organica dei rifiuti urbani è costituita dalla frazione umida (scarti di cucina e delle mense) e dalla frazione verde (sfalci e residui di potature). Entrambe sono avviate a processi di trattamento biologico: compostaggio, digestione anaerobica o trattamento integrato anaerobico-aerobico. La frazione verde dei rifiuti organici è idonea al solo compostaggio, che può avvenire in impianti dedicati (con produzione di ammendante compostato verde) o in impianti che effettuano il compostaggio della frazione verde insieme alla frazione umida (con produzione di ammendante compostato misto). Inoltre, la frazione verde può essere utilizzata nella seconda fase aerobica degli impianti che effettuano un trattamento integrato anaerobico-aerobico, con un ruolo di materiale strutturante. I rifiuti umidi possono essere avviati a compostaggio, a digestione anaerobica o al trattamento integrato anaerobico-aerobico. La generazione di scarti derivanti dalla frazione organica dei rifiuti urbani avviene quindi in un'unica fase: possono derivare dal pretrattamento del rifiuto effettuato al suo ingresso in impianto o dalla rimozione delle frazioni estranee o non compostate effettuata dopo il trattamento vero e proprio.

Per le altre frazioni analizzate in questo lavoro, si assume che i trattamenti del rifiuto volti al recupero di materia avvengano in tre successive fasi: separazione multimateriale (necessaria nei casi in cui i rifiuti di materiali diversi siano raccolti insieme), selezione (che genera uno o più flussi omogenei per materiale o per colore e idonei al riciclo), riciclo vero e proprio. In ciascuna di queste fasi si generano dei flussi di scarto.

La fase di separazione si rende necessaria perché alcune delle frazioni analizzate in questo lavoro sono talvolta intercettate attraverso la cosiddetta raccolta multimateriale. Le modalità di effettuazione di questa raccolta differiscono localmente e di conseguenza varia la composizione del rifiuto raccolto; sono tuttavia disponibili informazioni sulla composizione media a livello nazionale e sull'incidenza degli scarti (Ispra, 2019; Utilitalia, 2017). La scelta di raccogliere alcune frazioni dei rifiuti in modalità multimateriale comporta la ne-

cessità di effettuare un trattamento aggiuntivo iniziale dei rifiuti, che consente di separare le diverse frazioni ed effettuare una prima rimozione del materiale estraneo non idoneo al recupero di materia. La separazione delle raccolte multimateriale può essere effettuata in impianti progettati per la sola separazione delle diverse frazioni, oppure in impianti progettati per la selezione di uno specifico materiale ma in grado di trattare anche raccolte multimateriale con composizione più semplice, come quella di plastica+metalli o vetro+metalli. In entrambi i casi si genera un flusso di scarto costituito da frazioni estranee e materiali non riciclabili presenti nella raccolta multimateriale.

2.2. Scarti del processo di separazione multimateriale

I flussi di scarto sono stati quantificati ed attribuiti alle varie frazioni che costituiscono la raccolta multimateriale. Per effettuare questa stima è stato fatto ricorso a dati di Ispra (2019), Utilitalia (2017) e Arpa Emilia Romagna (2018).

Il rapporto Ispra fornisce solo il dato sull'incidenza media delle singole frazioni merceologiche e degli scarti sul totale della raccolta multimateriale; non è quindi sufficiente per stimare i quantitativi di scarti associati a ogni frazione della raccolta.

L'analisi di Utilitalia (2017) è riferita alla raccolta multimateriale ed elabora dati del 2016. Nell'indagine sono state analizzate le seguenti modalità di raccolta multimateriale: Vetro+Metalli (VM), Plastica+Metalli (PM), Vetro+Plastica+Metalli (VPM), Carta+Vetro+Plastica+Metalli (CVPM), Carta+Plastica+Metalli (CPM). Utilitalia ha indagato l'incidenza (% in peso) di queste modalità di raccolta per ciascuna frazione e la quantità complessiva di rifiuti raccolti per ciascuna frazione coinvolta nella raccolta multimateriale. Da questi dati è stato possibile ottenere la composizione merceologica di ogni raccolta multimateriale.

I dati Utilitalia, tuttavia, non forniscono sufficienti informazioni ai fini di questo lavoro per le seguenti ragioni:

- non sono state indagate le quote medie di rifiuto non riciclabile (scarti) presenti in ogni raccolta multimateriale;
- per le raccolte CVPM e CPM la quantità di metalli presenti risulta pari a 0%; trattandosi di raccolte multimateriale che dovrebbero includere i metalli, questo risultato non può essere considerato valido;

- all'interno dei metalli, non è stata fatta distinzione tra metalli ferrosi e non ferrosi, riconducibili rispettivamente ad acciaio e alluminio.

È stato pertanto necessario integrare e rielaborare i dati presentati da Utilitalia con dati provenienti da altri studi. Un'analisi sufficientemente completa è stata condotta da Arpa Emilia-Romagna (2018) sui dati dei rifiuti urbani relativi all'anno 2017. Il limite di questo studio è, evidentemente, dovuto alla sua specificità geografica ed è per questo che è stato utilizzato unicamente allo scopo di integrare i dati nazionali presentati da Utilitalia.

Arpa Emilia Romagna indaga le raccolte VM, PM, VPM, mentre le altre tipologie di raccolta multimateriale sono aggregate in un'unica voce "altre raccolte" che è stata quindi ritenuta valida per le raccolte CVPM e CPM; anche se questo approccio può essere considerato approssimativo, è stato comunque adottato tenendo conto che queste due modalità di raccolta costituiscono la quota minoritaria (sommandole sono il 10%) delle raccolte multimateriale a livello nazionale secondo i dati Utilitalia. I dati di Arpa Emilia-Romagna sono stati quindi utilizzati limitatamente a:

- le percentuali di scarto presenti in ogni raccolta multimateriale;
- la percentuale di metalli presenti nelle raccolte CVPM e CPM (utilizzando il dato riferito alle "altre raccolte" in Emilia-Romagna);
- la ripartizione tra alluminio e acciaio all'interno della quota di metalli presenti nelle raccolte multimateriale.

Sono stati così ricavati i tassi di raccolta multimateriale sul totale di ogni frazione raccolta e le percentuali di scarto, in uscita dalla separazione, associate a ciascuna frazione (Tabella 1).

Per vetro e plastica sono state distinte due tipologie di raccolta multimateriale. "Multimateriale con 2 frazioni" per il vetro rappresenta la raccolta VM e per la plastica la raccolta PM. "Multimateriale con 3 o più frazioni" rappresenta tutte le altre aggregazioni della raccolta multimateriale. Questa distinzione si rende necessaria perché il vetro della raccolta VM e la plastica della raccolta PM vengono separati e selezionati in un'unica fase. Ciò significa che la raccolta VM, che per la componente vetro costituisce il 17% della raccolta, genera un flusso di vetro separato dai metalli che viene avviato direttamente a riciclo, senza passare dal processo di selezione. Lo stesso vale per la plastica della raccolta PM, che viene separata dai metalli e dal plasmix e avviata direttamente a riciclo. Le raccolte multimateriale di tre o più frazioni, invece, generano dei flussi distinti di mate-

Tabella 1 – Distribuzione delle frazioni derivanti dalla separazione della raccolta multimateriale con dettaglio per le diverse modalità di raccolta e risultati dell'elaborazione: tassi di raccolta in modalità multimateriale e scarti associati a ciascuna frazione. Elaborazione su dati Ispra (2019), Utilitalia (2017), Arpa Emilia-Romagna (2018). Valori percentuali in peso arrotondati alla prima cifra decimale

	Ripartizione delle principali modalità di raccolta [%]	Frazioni [%]					
		Vetro	Plastica	Carta	Acciaio	Alluminio	Scarti
VM	23,0	92,6	-	-	1,6	0,8	5,0
PM	42,0	-	70,8	-	6,4	2,7	20,1
VPM	25,0	66,3	12,2	-	2,7	-	18,8
CVPM	5,0	29,2	6,6	35,1	5,7	0,9	22,6
CPM	5,0	-	11,2	59,7	5,7	0,9	22,6

Quota raccolta in modalità multimateriale	Multimateriale 2 frazioni	17,2	41,9	3,0	32,2	40,0	
	Multimateriale 3 o più frazioni	17,2	5,5				
Scarti da separazione multimateriale	Multimateriale 2 frazioni	12,1	54,0*	22,6	19,1	18,6	
	Multimateriale 3 o più frazioni	12,1	20,0				

* Include il plasmix che viene separato dal flusso di plastica avviata a riciclo.

riale che deve essere avviato a selezione; nessun flusso in uscita da questo processo di separazione è avviato direttamente a riciclo. Il flusso di scarto, invece, si può assumere sia costituito da materiale misto secco idoneo al recupero energetico.

2.3. Scarti del processo di selezione

In base ai dati disponibili, sono stati adottati diversi approcci per il calcolo degli scarti di selezione. I consorzi di filiera di plastica e acciaio hanno pubblicato, nei loro rapporti annuali (Corepla, 2019; Ricrea 2019), i dati relativi alla quantità di scarti derivanti dalla selezione dei rifiuti da imballaggio e alla quantità di rifiuti raccolti nell'anno.

Il consorzio per il riciclo del vetro non fornisce questo dettaglio. Nel rapporto annuale del consorzio (Coreve, 2019) sono però disponibili informazioni sulla quantità di rifiuti raccolti e di rifiuti avviati a riciclo; è stato assunto che la differenza tra questi due valori sia pari alla quantità di scarti generati nel processo di selezione.

I consorzi di filiera di carta, alluminio e legno non forniscono dati sufficienti per adottare uno degli approcci sopra illustrati per plastica, acciaio o vetro. Per questa ragione sono stati utilizzati i valori di efficienza di selezione pubblicati da alcune Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale. Arpa Campania (2018) e Arpa Emilia-Romagna (2018) hanno pubblicato, nel rapporto sulla gestione dei rifiuti, i valori di efficienza di selezione degli impianti regionali per le principali frazioni della raccolta differenziata dei rifiuti urbani. Arpa Lombardia (2018), invece, ha pubblicato i dati re-

lativi alla quantità di rifiuti avviati a recupero di materia per ciascuna frazione; questo valore, rapportato alla quantità della frazione raccolta a livello regionale (dato Ispra), consente di ricavare anche in questo caso l'efficienza di selezione. Se l'efficienza di selezione fosse del 100%, significherebbe che la quantità di rifiuto in ingresso e in uscita dal processo rimane invariata. È stato quindi assunto che ciò che riduce l'efficienza di selezione (η_{sel}) sia la perdita di materiale, che va a costituire gli scarti. Pertanto, la percentuale di scarti di selezione S_{sel} (%) è stata calcolata come segue:

$$S_{sel}(\%) = 1 - \eta_{sel}(\%) \quad [1]$$

La media applicata ai tre valori ottenuti e pesata sui quantitativi di rifiuti raccolti a livello regionale fornisce una percentuale di scarto che è stata utilizzata per rappresentare la situazione nazionale. Si precisa che anche i dati pubblicati dalle Arpa in riferimento ai rifiuti da imballaggio in metallo non distinguono tra metalli ferrosi e non ferrosi, ma è stato assunto che il valore calcolato per i metalli possa essere ritenuto valido anche per il solo alluminio. In riferimento al destino degli scarti è stato assunto che tutti siano idonei al recupero energetico. Fanno eccezione gli scarti derivanti dalla selezione del vetro: in base a informazioni ricevute durante una visita presso un impianto di trattamento, risulta che il 75% degli scarti sia avviato ad altre forme di recupero di materia, a copertura di discariche o all'utilizzo per sottofondi stradali; la restante parte (25% degli scarti da selezione del vetro), costituita prevalentemente da plastica e carta, viene avviata a recupero energetico.

Tabella 2 – Percentuali di scarto da processi di selezione e riciclo

		Frazioni					
		Vetro	Plastica	Carta	Acciaio	Alluminio	Legno
Scarti di selezione [%]	Idonei al recupero energetico	3,3	47,8	6,5	15,7	9,9	3,8
	Altro destino	9,9	-	-			
Scarti di riciclo [%]	Idonei al recupero energetico	-	32,3	16,7	-	-	5,0
	Altro destino	-	-	-	11,9	16,1	-

Le percentuali di scarto così calcolate sono riportate in Tabella 2.

2.4. Scarti del processo di riciclo

La valutazione degli scarti del processo di riciclo è stata effettuata con approcci di elaborazione anche in questo caso dipendenti dai dati disponibili. Per carta e plastica è stato utilizzato il dato relativo alla materia prima risparmiata (Montalbeti, 2018; Corepla, 2019). È stato assunto che questo valore sia pari alla quantità di materia in uscita dal processo di riciclo. Gli scarti sono stati calcolati come differenza tra la quantità di rifiuto selezionato avviato a riciclo e la materia prima risparmiata grazie al riciclo.

Per la carta si segnala che la quantità di scarti, stimata seguendo l'approccio sopra descritto, risulta riferita al peso secco. Gli scarti del processo di riciclo sono però fangosi e prima dell'avvio a trattamento vengono disidratati, raggiungendo livelli di umidità compresi tra il 30 e il 50% (Ippc, 2015). La quantità totale di scarti, in base al tipo di processo di disidratazione (o eventuale essiccazione) adottato, può risultare quindi superiore rispetto al valore considerato in questa analisi.

Per l'analisi delle frazioni alluminio e acciaio sono stati utilizzati i dati riferiti alla produzione italiana di alluminio da riciclo nel 2013 (Bianchi, 2015) e i valori indicati nel documento di riferimento sulle BAT per la produzione di acciaio e ferro (Ippc, 2012). In entrambi i casi è stato assunto che la quantità di scarti associati al rifiuto in ingresso sia data dalla differenza tra la quantità di rottami in ingresso e la quantità di prodotto in uscita.

Per il riciclo del legno si è considerata un'efficienza del 95% (Giugliano et al., 2011). È stato assunto che ciò che riduce, rispetto al 100%, l'efficienza di riciclo sia unicamente la perdita di materiale data dagli scarti.

Pertanto, la percentuale di scarti di riciclo è stata calcolata come segue:

$$S_{ric}(\%) = 1 - \eta_{ric}(\%) \quad [2]$$

Il riciclo del vetro a partire da rottami e sabbia di vetro ha un'efficienza del 100%, perciò si assume che il processo non generi scarti riferibili al materiale in ingresso.

Si assume, per ogni frazione analizzata, che gli scarti di riciclo siano costituiti dello stesso materiale del rifiuto effettivamente riciclato. Tutti gli scarti risultano quindi idonei al recupero energetico, fatta eccezione per gli scarti di riciclo di alluminio e acciaio, che devono essere avviati a diversi trattamenti o a smaltimento in discarica.

In Tabella 2 sono riportate le percentuali di scarto da processi di selezione e di riciclo, elaborate secondo gli approcci fin qui descritti e utilizzate per le elaborazioni successive.

2.5. Scarti di trattamento dei rifiuti organici

La selezione dei rifiuti organici (umido e verde) viene effettuata negli stessi impianti che effettuano il recupero vero e proprio, che consiste in trattamenti biologici aerobici e/o anaerobici. La generazione di scarti può verificarsi prima o durante il trattamento, pertanto essi non possono essere chiaramente attribuiti, come fatto per le altre frazioni, a una fase di selezione o a una di riciclo. Per queste frazioni viene quindi stimato un unico valore di produzione di scarti.

Questo valore complessivo è tuttavia diverso per umido e verde e ulteriormente distinto in base alla tipologia di trattamento a cui i rifiuti vengono sottoposti. Inoltre, il trattamento dei rifiuti organici può generare scarti liquidi e scarti solidi, che è opportuno rendicontare in modo separato perché sono destinati a trattamenti successivi differenti.

Nel rapporto rifiuti urbani di Ispra (2009) sono riportati i quantitativi annui di rifiuti decadenti dai trattamenti biologici dei rifiuti. Gli impianti di trattamento che generano questi scarti non ricevono solo rifiuti urbani ma anche rifiuti speciali costituiti soprattutto da fanghi biologici e da altri rifiuti speciali biodegradabili (carta, cartone, legno, tessili, scarti dell'industria agroalimentare). Gli scar-

Tabella 3 – Scarti da trattamenti biologici della frazione verde e umida dei rifiuti urbani

		Compostaggio	Trattamento integrato anaerobico-aerobico	Digestione anaerobica	
Umido	Quantità avviata a trattamento [%]	40,5	52,9	6,5	
	Scarti rispetto alla quantità in ingresso al trattamento [%]	Liquidi	4,3	4,2	3,2
		Solidi	13,6	15,5	4,7
Verde	Quantità avviata a trattamento [%]	82,1	17,9	-	
	Scarti rispetto alla quantità in ingresso al trattamento [%]	0,6	0,6		

ti devono quindi essere rapportati al quantitativo totale di rifiuti in ingresso e non ai soli rifiuti organici urbani.

La percentuale di scarti generati nei processi di compostaggio e di trattamento integrato anaerobico-aerobico così calcolata è confrontabile con i valori dichiarati dal Consorzio Italiano Compostatori Cic (2017) che indica un valore di circa 20% di scarti dal trattamento della frazione umida, costituiti da materiale non compostabile (4,9%) e da rifiuto umido, che per effetto di trascinamento da parte del materiale non compostabile viene rimosso dal flusso avviato a trattamento biologico.

La percentuale media di scarti da impianti che effettuano solo digestione anaerobica, in base ai dati Ispra, risulta essere del 7,8%. Questo valore appare sottostimato se confrontato con altri studi pubblicati (Centro studi e ricerche Mater, 2011). Tuttavia, in considerazione del ridotto ricorso a questa tipologia di trattamento dei rifiuti organici urbani sul totale dei trattamenti biologici (4,8% dei rifiuti organici avviati a digestione anaerobica sul totale) e per coerenza col metodo di calcolo adottato per le altre due tipologie di trattamento, le elaborazioni sono state effettuate utilizzando questo valore.

Per il verde, sul quale le analisi degli scarti di selezione da parte del Cic sono ancora in corso e per il quale non si verificano le criticità legate all'effetto di trascinamento che si osservano per l'umido, sono stati utilizzati i dati pubblicati da Arpa Emilia-Romagna (2018) e Arpa Lombardia (2018). In Emilia-Romagna, la percentuale di avvio a recupero, rispetto al totale raccolto è il 99%; si assume che il materiale raccolto e non avviato a recupero sia l'1%, ossia la differenza tra il 100% di recupero e la percentuale di avvio a recupero dichiarata. Arpa Lombardia dichiara nel suo report la quantità di verde raccolto e la quantità avviata a recupero di materia; la percentuale di scarto è quindi data dalla differenza tra questi due valori rapportata alla quantità di verde raccolto. La

media dei due risultati ottenuti è stata considerata valida sia per la frazione verde dei rifiuti urbani avviata a compostaggio, sia per quella avviata a trattamento integrato anaerobico-aerobico perché in questo processo i rifiuti da sfalci e potature sono utilizzati soltanto nella fase di post-compostaggio ed è quindi ipotizzabile che gli scarti generati in questa fase abbiano un'incidenza simile a quella che si osserverebbe in un normale processo di compostaggio.

Non è noto nel dettaglio l'attuale destino degli scarti del trattamento dei rifiuti organici. È stato assunto che tutti i rifiuti solidi siano idonei per il recupero energetico, mentre i rifiuti liquidi sono avviati a trattamento presso depuratori di acque reflue. Gli scarti liquidi sono stati associati unicamente all'umido.

In Tabella 3 sono riportate le percentuali di scarto dai trattamenti biologici di umido e verde, elaborate secondo gli approcci fin qui descritti e utilizzate per le elaborazioni successive.

2.6. La quantificazione dei flussi di scarto generati dalla produzione nazionale di rifiuti

Le percentuali di scarto delle diverse fasi di gestione dei rifiuti sono state utilizzate per stimare i flussi di scarto derivanti dal trattamento dei rifiuti prodotti a livello nazionale nel 2018.

Le quantità di rifiuti urbani raccolti, dettagliate per ogni frazione della raccolta differenziata (Ispra, 2019) includono sia i rifiuti da raccolta monomateriale, al lordo degli scarti di selezione e riciclo, sia i rifiuti da raccolta multimateriale, al netto degli scarti di separazione e al lordo degli scarti di selezione e riciclo. Gli scarti derivanti dalla separazione della raccolta multimateriale sono rendicontati a parte, nella voce "altro". Ai fini di questa analisi, gli scarti rendicontati nella voce "altro" dovrebbero essere associati alle frazioni coinvolte nella raccolta multimateriale e per questo i dati Ispra sono stati rielaborati. La composizione media della raccolta multimateriale e le percen-

tuali di scarto del processo di separazione, calcolate come indicato al paragrafo 2.2, sono state applicate al totale della raccolta multimateriale, pari a 1,7 milioni di tonnellate; sono stati così quantificati gli scarti derivanti dalla separazione multimateriale, associata a ogni frazione analizzata. Questo valore è stato sommato alla quantità di rifiuto raccolto nel 2018 per ciascuna delle frazioni analizzate.

Ispra (2019) rendiconta l'acciaio e alluminio raccolti in un'unica voce "metalli"; la quantità di acciaio e alluminio raccolti sono state calcolate a partire dal dato Ispra, rielaborato attraverso i dati dei consorzi di filiera di acciaio (Ricrea, 2019) e alluminio (Cial, 2019). Sono stati sommati i quantitativi di rifiuti raccolti dichiarati dai consorzi e sono stati valutati i contributi percentuali delle due frazioni al totale. Questa ripartizione è stata quindi applicata al quantitativo totale di rifiuti metallici dichiarato da Ispra, suddividendolo così tra i due contributi delle frazioni acciaio e alluminio.

La frazione organica, rendicontata come dato unico nel rapporto Ispra (2019), è stata ripartita tra umido e verde, applicando la stessa ripartizione quantitativa dei rifiuti in ingresso agli impianti (dato Ispra).

I quantitativi di ciascuna frazione analizzata così calcolati sono riportati in Tabella 4.

A partire da questi valori sono state stimate le quantità di scarti generati nella gestione di questi rifiuti.

Tabella 4 – *Quantità di rifiuti raccolti in Italia nel 2018, elaborazione su dati Ispra, Ricrea, Cial*

Frazione RD	Totale raccolto 2018 [t]
Plastica	1.511.241
Vetro	2.210.072
Carta	3.441.663
Acciaio	280.410
Alluminio	74.431
Legno	908.441
Umido	5.188.810
Verde	1.891.013

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Di seguito sono rappresentati graficamente i risultati delle elaborazioni per le frazioni della raccolta differenziata analizzate.

In Figura 1 sono rappresentati i flussi di scarto che si originano dalla selezione e riciclo di carta, acciaio, alluminio e legno.

Per vetro e plastica (Figura 2, a pagina 170) sono stati distinti i due flussi in uscita dal processo di separazione della raccolta multimateriale, diretti alla selezione o al riciclo in base al tipo di raccolta multimateriale da cui si originano. Nella rappresentazione del flusso riferito alla plastica sono state evidenziate anche le perdite di processo.

I flussi di umido e verde (Figura 3) sono stati rappresentati con un unico diagramma perché alcuni dei processi di trattamento di questi rifiuti sono comuni alle due filiere (compostaggio e trattamento integrato anaerobico-aerobico).

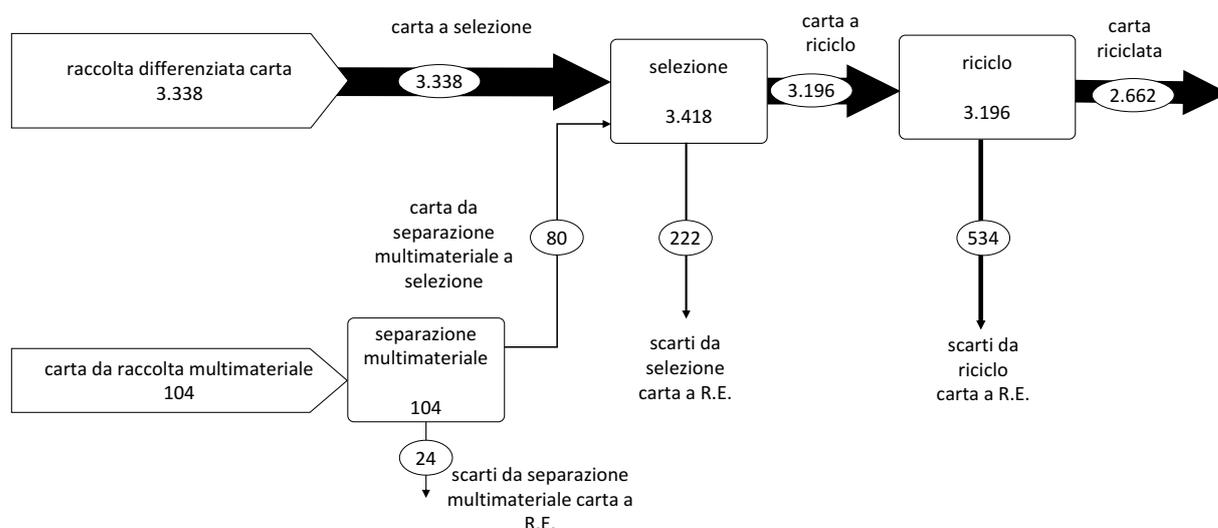


Figura 1a – *Ripartizione del flusso di raccolta differenziata di carta, acciaio, alluminio, legno. Dati in migliaia di tonnellate*

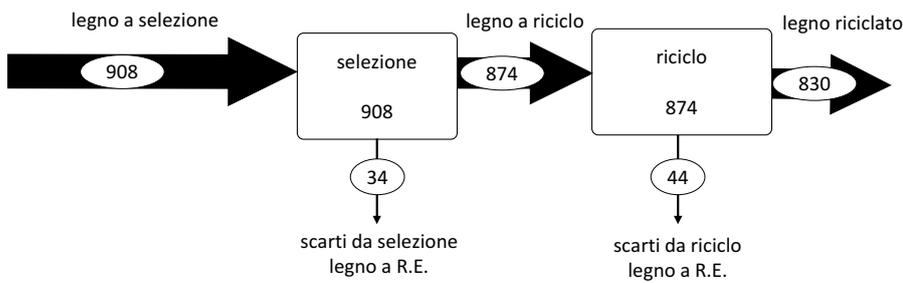
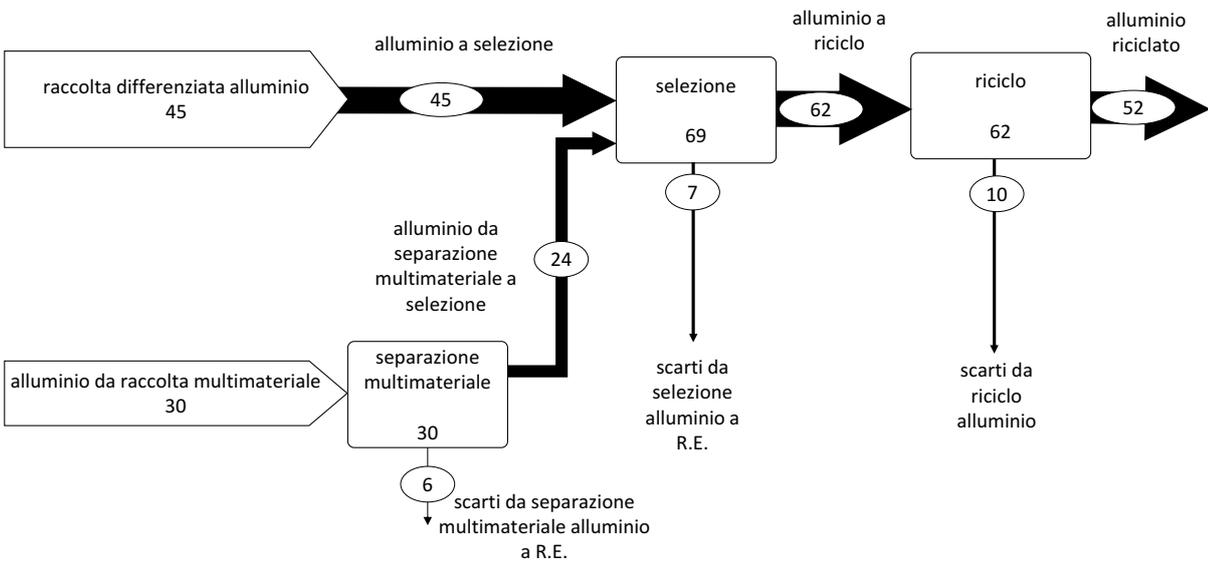
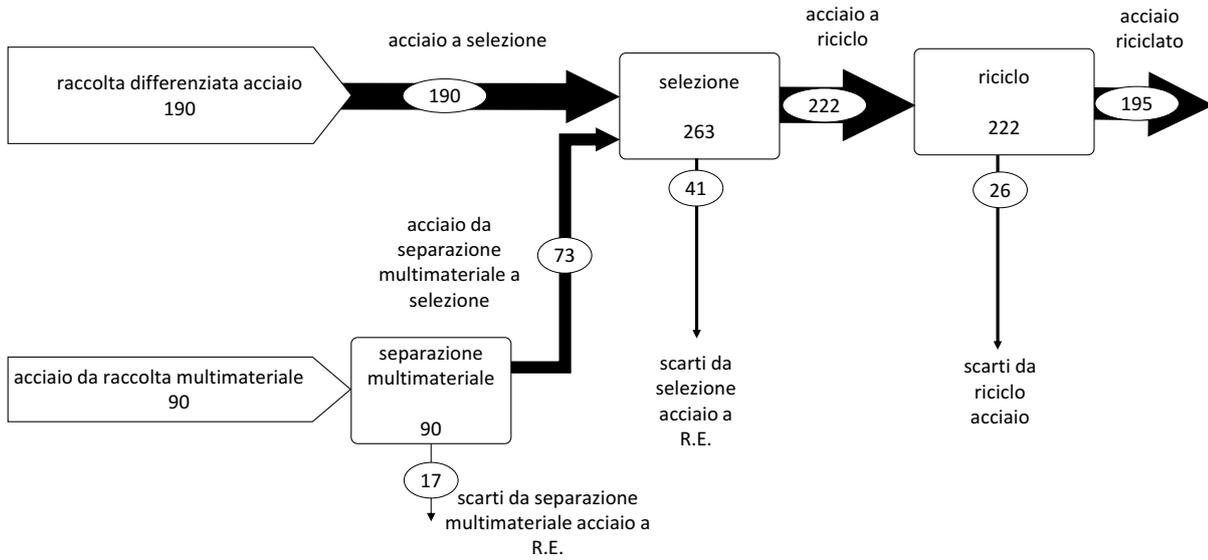


Figura 1b, c, d – Ripartizione del flusso di raccolta differenziata di carta, acciaio, alluminio, legno. Dati in migliaia di tonnellate

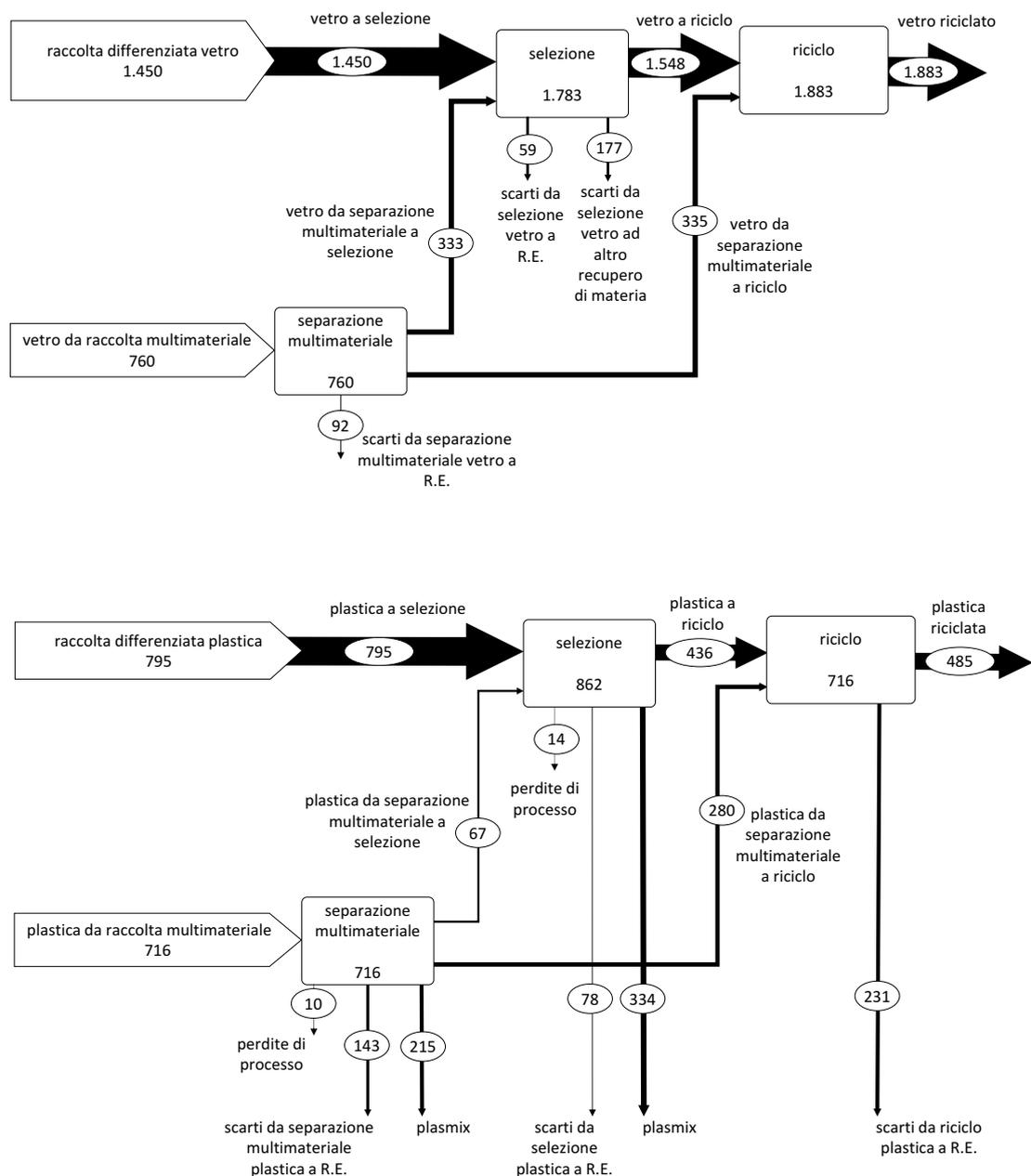


Figura 2 – Ripartizione del flusso di raccolta differenziata di vetro e plastica. Dati in migliaia di tonnellate

In Tabella 5 sono riassunti i risultati delle elaborazioni effettuate. Le percentuali indicate nella parte inferiore della tabella sono calcolate sul dato di rifiuto raccolto.

Circa il 21% dei rifiuti raccolti non viene avviato a recupero di materia e diventa scarto in seguito ai trattamenti di separazione, selezione e riciclo. In particolare, il 18% è idoneo al recupero di energia, mentre la restante parte (circa 3%) non può essere avviata a termovalorizzazione e in base alle caratteristiche specifiche del rifiuto sarà avviata a diversi tipi di recupero o di smaltimento.

La frazione da cui si origina il maggior quantitativo di scarti (in peso e in percentuale sul raccolto) è la plastica, perché oltre alla frazione estranea vie-

ne rimosso anche il plasmix, costituito da materiali plastici misti non riciclabili con le tecnologie attualmente più diffuse (riciclo meccanico). Gli scarti derivanti dal trattamento della plastica sono quasi il 31% degli scarti totali calcolati.

I trattamenti di plastica, carta e frazione organica determinano la produzione dell'84% del totale degli scarti.

Per fornire un quadro completo della quantità di rifiuti urbani che non possono essere avviati a recupero di materia, i risultati di questo lavoro sono stati esaminati anche alla luce dei dati sui rifiuti urbani residui (costituiti da rifiuti urbani indifferenziati, rifiuti da spazzamento stradale a smaltimento e ingombranti a smaltimento) e sui rifiuti raccolti con le altre

Tabella 6 – *Quantità complessive di rifiuti raccolti e scarti prodotti nel 2018*

	Rifiuto raccolto	Scarti idonei a recupero energetico	Scarti avviati ad altro destino	Scarti totali
	[t]			
RD frazioni principali	15.506.080	2.818.235	429.386	3.247.621
RD altre frazioni	2.038.124	203.812	n.d.	203.812
RD totale	17.544.204	3.022.047	429.386	3.451.433
RUR	12.629.114	12.629.114	-	12.629.114
Totale RU	30.173.318*	15.651.162	429.386	16.080.548
	[%]			
RD frazioni principali		18,2	2,8	20,9
RD altre frazioni		10,0	n.d.	10,0
RD totale		17,2	2,4	19,7
RUR		100,0	-	100,0
Totale RU		51,9	1,4	53,3

* Somma di RUR (dato Ispra) e di RD risultato da questa analisi. Lo scostamento rispetto al dato Ispra (30.164.516 t) è del 3%
= N.d. non disponibile

frazioni della raccolta differenziata (Ispra, 2019); i valori sono riportati in Tabella 6.

La percentuale di scarto derivante dal trattamento delle altre frazioni della raccolta differenziata non indagate in questo lavoro (RAEE, ingombranti misti, tessili, rifiuti da costruzione e demolizione, pulizia stradale a recupero, raccolta selettiva) ed indicate in Tabella 6 come “RD altre frazioni” è stata tratta dalla stima riportata nel DPCM 10 agosto 2016, secondo la quale il trattamento di tutte le frazioni della raccolta differenziata determina una produzione di scarti idonei all’incenerimento pari al 10% in peso dei rifiuti raccolti. È stato inoltre assunto che il 100% dei rifiuti urbani residui possa essere avviato a recupero energetico.

Dall’unione di questi ulteriori dati ai risultati dell’analisi presentata in questo lavoro risulta che i rifiuti di origine urbana che nell’anno 2018 non sono idonei al recupero di materia e possono – e dovrebbero – essere avviati a recupero di energia sono 15,7 milioni di tonnellate, pari al 51,9% dei rifiuti totali prodotti nel 2018. I soli scarti da trattamento delle frazioni della raccolta differenziata rappresentano il 17,2% dei rifiuti differenziati complessivamente raccolti.

Il totale degli scarti (inclusi quelli da avviare a destino diverso dal recupero di energia) è probabilmente sottostimato poiché non è disponibile un dato sugli scarti prodotti dal trattamento della RD “altre frazioni” non avviabili a recupero energetico. Si può comunque osservare che gli scarti totali della raccolta differenziata costituiscono complessivamente almeno il 19,7% del materiale raccolto per via differenziata, e se sommati al RUR attualmente generato

lo incrementano del 27,3%, portando il quantitativo complessivo a 16 milioni di tonnellate all’anno.

I risultati presentati nelle precedenti tabelle sono stati rappresentati graficamente in un diagramma di flusso (Figura 4) dove sono messi in evidenza gli scarti adatti al recupero energetico (freccie rosse) e quelli non idonei a recupero energetico che vengono avviati a smaltimento in discarica o ad altri tipi di trattamento (freccie viola). Si segnala, in riferimento al flusso della frazione organica rappresentato nel diagramma, che il biogas, le perdite di processo e gli ammendanti sono stati raggruppati in un’unica voce; questi flussi non sono stati analizzati nel dettaglio in quanto non sono oggetto dell’analisi. Il flusso di rifiuti delle “altre frazioni RD” mostra solo la quantità di scarti idonei al recupero energetico; non sono distinti invece i rifiuti effettivamente avviati a riciclo dagli altri scarti non idonei né a riciclo né a recupero di energia.

Questo studio non ha approfondito i trattamenti a cui è sottoposto il rifiuto residuo, assumendo che esso sia idoneo al recupero energetico.

È opportuno però esaminare alcuni ulteriori dati riportati nel Rapporto Rifiuti Urbani di ISPRA (2019). Il 72% del rifiuto urbano residuo è stato sottoposto a trattamento meccanico biologico, che attraverso processi di vagliatura, selezione, triturazione e bio-stabilizzazione, consente di ridurre il contenuto organico ed umidità del rifiuto, separare le eventuali frazioni riciclabili, produrre CSS (Combustibile Solido Secondario).

Questo trattamento era molto utile in passato, quando la frazione organica era presente in elevate quantità nel rifiuto urbano residuo, per ridurre

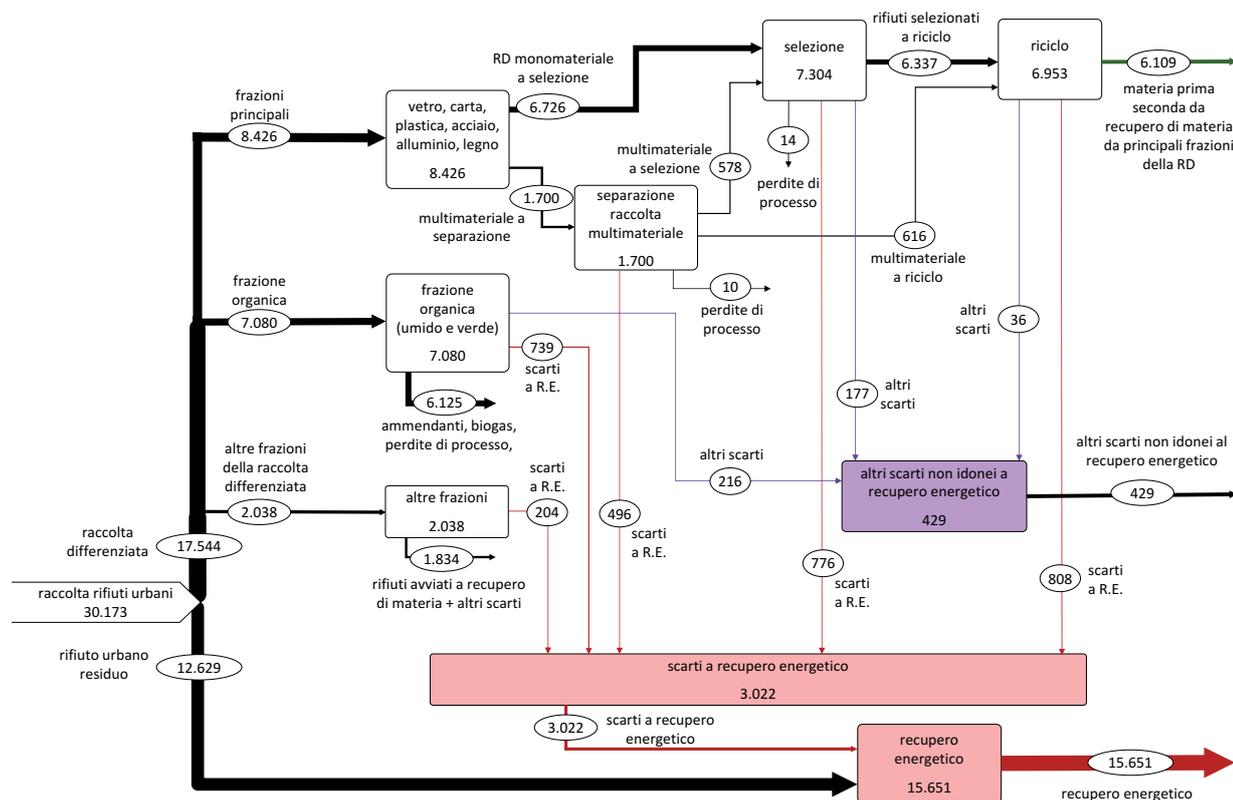


Figura 4 – Ripartizione dei flussi di rifiuti urbani differenziati e indifferenziati. Dati in migliaia di tonnellate riferiti all'anno 2018

la produzione di biogas e percolato dei rifiuti smaltiti nelle discariche. Con la diffusione e l'aumento della raccolta differenziata dell'umido, la presenza di sostanza organica all'interno del rifiuto urbano residuo si è ridotta, rendendo il trattamento meccanico-biologico dei rifiuti non sempre necessario. Per lo stesso motivo, l'aumento delle raccolte differenziate delle frazioni secche rende poco efficace l'utilizzo di impianti di Trattamento Meccanico (TM) per recuperare ulteriori frazioni riciclabili. Attualmente gli impianti TMB possono ancora risultare utili per produrre CSS, che può essere valorizzato energeticamente in inceneritori o cementifici. Tuttavia, nel 2018 gli impianti TMB hanno prodotto anche 5,1 milioni di tonnellate di frazione secca, di cui solo 1,3 milioni di tonnellate sono state inviate a recupero energetico, mentre il 65% è stato inviato a discarica.

Ciò è reso possibile dall'attuale normativa, che consente lo smaltimento in discarica di rifiuti urbani, peraltro senza caratterizzazione analitica, se essi sono stati sottoposti a un trattamento (art. 7 del D.Lgs 36/2003 e art. 3 D.M. del 13 marzo 2003); non sono invece previsti limiti quantitativi (assoluti o relativi alla produzione) per il conferimento, previo trattamento, dei rifiuti urbani in discarica. Questo contesto normativo, insieme all'elevata disponibilità di im-

pianti TMB sul territorio nazionale (131 impianti con una capacità autorizzata di quasi 18 milioni di tonnellate), di fatto continua ad agevolare l'invio indiretto a discarica dei rifiuti e riduce la convenienza della realizzazione di impianti di trattamento e recupero alternativi alla discarica e più efficienti.

4. CONCLUSIONI

A fronte di una produzione nazionale di rifiuti nel 2018 di 30,2 milioni di tonnellate e una raccolta differenziata del 58% (pari a 17,5 milioni di tonnellate), i rifiuti urbani residui sono il 42%, ossia 12,6 milioni di tonnellate. Questi possono ancora essere valorizzati attraverso il recupero energetico, trattamento preferibile allo smaltimento in discarica come indicato dalla gerarchia dei rifiuti stabilita dall'Unione Europea (Direttiva 98/2008/CE) e confermato da diversi studi LCA svolti sul tema (Laurent et al., 2014). Questi non sono però gli unici rifiuti di origine urbana destinati al recupero energetico. Le operazioni effettuate sulle frazioni differenziate dei rifiuti urbani generano infatti degli scarti che, come il rifiuto urbano residuo, devono trovare un destino opportuno di recupero. La loro quantificazione è stata l'obiettivo di questo lavoro, che si è concentrato sulle frazioni principali della raccolta differen-

ziata. L'attuale gestione e trattamento dei rifiuti raccolti in modo differenziato generano circa 3,4 milioni di tonnellate di scarti, di cui 3 milioni sono idonei al recupero energetico.

Il totale degli scarti costituisce circa il 20% del materiale raccolto per via differenziata, e, se sommati al RUR attualmente generato, lo incrementano del 27%, portando il quantitativo complessivo a 16,1 milioni di tonnellate all'anno, di cui 15,7 possono essere avviate a recupero energetico.

La corretta quantificazione dei rifiuti urbani da destinare a recupero energetico consente di avere una solida base dati per le pianificazioni regionali e per valutare correttamente i fabbisogni residui di capacità di trattamento di queste tipologie di rifiuti. Se ne era tenuto infatti conto, seppur con una stima approssimativa, nel DPCM del 10 agosto 2016, che mirava proprio alla definizione di un piano per realizzare nuovi impianti di incenerimento con recupero di energia, al fine di sopperire all'attuale deficit nazionale. La mancata applicazione di questo provvedimento ha portato, nel 2018, al perdurare del ricorso allo smaltimento in discarica del 22% dei rifiuti urbani. Questo è reso possibile sia dal contesto normativo (che non pone un limite allo smaltimento in discarica dei rifiuti urbani, purché siano sottoposti a trattamento), sia dall'attuale situazione impiantistica caratterizzata da carenza di impianti per il recupero energetico ed elevata capacità per il trattamento meccanico-biologico del rifiuto residuo, che ne consente indirettamente lo smaltimento in discarica.

Per il 2035 sarà però necessario raggiungere il nuovo obiettivo posto dalla Direttiva Europea 2018/850 (il cui recepimento nella normativa nazionale è quasi completo) che fissa un limite massimo di conferimento in discarica di rifiuti urbani pari al 10% in peso dei rifiuti prodotti; questo obiettivo, insieme ad una ragionata pianificazione per la realizzazione di nuovi impianti sul territorio nazionale – supportata anche dalle stime riportate in questo studio – possono creare le condizioni per una gestione dei rifiuti urbani più virtuosa sotto il profilo ambientale, sanitario ed economico.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ARPA Campania (2018) Rapporto sulla Gestione dei Rifiuti Urbani in Campania: Report 2018.
Disponibile su: www.arpacampania.it
- ARPA Emilia Romagna (2018) La gestione dei rifiuti in Emilia-Romagna.
Disponibile su: www.arpae.it
- ARPA Lombardia (2018) Relazione Produzione e Gestione dei Rifiuti in Regione Lombardia.
- Disponibile su: www.arpalombardia.it
- Barelli U. (2019) Rifiuti, inceneritori e “Sblocca Italia”. Lexambiente (consultato il 08 maggio 2020).
- Bianchi D. (2015) Le miniere urbane dell'alluminio, il contesto italiano. *Materia Rinnovabile*, supplemento al n. 06-07: 15-30.
- Centro studi e ricerche MatER (2011) Progetto a tema: Digestione anaerobica.
Disponibile su: www.mater.polimi.it/category/i-nostri-studi/progetto-a-tema/
- CiAI (2019) Bilancio 2018 Relazione sulla gestione.
Disponibile su: www.ciai.it
- Comunicazione COM(2020) 98 final della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva (2020) *Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea*.
- Consorzio Italiano Compostatori (2017) Accordo di programma tra Assobioplastiche, CIC, Conai, Corepla.
Disponibile su: www.compost.it/report-tecnici/la-collaborazione-cic-assobioplastiche-conai-corepla-2013-2017
- Corepla (2019) Rapporto di sostenibilità 2018.
Disponibile su: www.corepla.it
- Coreve (2019). Piano Specifico di Prevenzione 2019 Risultati di Raccolta e Riciclo 2018.
Disponibile su: www.coreve.it
- Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 (2003) *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*.
- Decreto Ministeriale 13 marzo 2003 (2003) *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. (2006) *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*.
- Decreto Legge 12 settembre 2014 n. 133 (2014) *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*.
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 10 agosto 2016 (2016) *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*.
- Direttiva 75/442/CEE del Consiglio delle Comunità europee (1975) *Gazzetta Ufficiale delle Comunità europee*.
- Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio (2008) *Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea*.
- Direttiva 2018/850 del Parlamento Europeo e del Consiglio (2018) *Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea*.
- Giugliano M., Cernuschi S., Grosso M. et al. (2011) Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. *Waste Management* 31(2011): 2092-2101.
- IPPC (2012) Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production.
Disponibile su: ec.europa.eu
- IPPC (2015) Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board.
Disponibile su: ec.europa.eu
- ISPRA (2019) Rapporto rifiuti urbani edizione 2019.
Disponibile su: www.isprambiente.it
- Laurent A., Bakas I., Clavreul J. (2014) Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management* 34(2014): 573-588
- Montalbetti C. (2018) La filiera del riciclo degli imballaggi in carta. *Materia Rinnovabile*, supplemento al n. 23-24: 48-55.
- Ricrea (2019). Relazione sulla Gestione e Bilancio.
Disponibile su: www.consozioricrea.org
- Utilitalia (2017) Analisi dei costi della raccolta differenziata multimateriale in Italia. Studio non pubblicato.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2020 è sostenuta da:



better together



INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE



N. 3/2020

