

# **POLITECNICO DI MILANO**

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio



## **Analisi critica della gestione del rifiuto urbano nella regione Puglia e proposte migliorative**

Relatore:

Prof. Mario GROSSO

Co-relatore:

Prof. Federico VIGANÒ

Andrea AIROLDI

Matricola 876172

Anno Accademico 2017-2018



*Ringrazio il Prof. Grosso per avermi dato l'occasione di lavorare insieme a questo progetto. Il pensiero va anche a Fabio e Giorgia, che mi hanno seguito passo dopo passo, con dedizione e disponibilità, insieme a Giulio e il Prof. Viganò.*

*Al termine di questi anni mi sento di ringraziare la mia famiglia, primo e continuo sostegno; Francesco, insieme ai tanti amici, per l'immane confronto e supporto; Cecilia, che, ogni giorno, mi accompagna con amore e premura.*

# I. Indice

I.	Indice .....	4
II.	Indice delle Figure .....	6
III.	Indice delle Tabelle .....	8
IV.	Sommario .....	10
V.	Abstract .....	11
1	Sommario e conclusioni .....	12
2	Introduzione .....	16
2.1	Direttive europee e gestione del rifiuto urbano in Europa .....	16
2.2	Gestione del rifiuto urbano e raccolta differenziata in contesto italiano .....	19
2.3	Descrizione impiantistica per il trattamento del rifiuto urbano residuo .....	22
2.3.1	Impianti di trattamento meccanico e biologico .....	22
2.3.2	Impianti di recupero energetico .....	24
3	Gestione del rifiuto urbano in Puglia .....	26
3.1	Produzione rifiuti e andamento raccolta differenziata in Puglia .....	26
3.2	Parco impiantistico per il trattamento del rifiuto urbano residuo .....	27
3.2.1	Impianti di Trattamento Meccanico Biologico .....	29
3.2.2	Impianti di Trattamento Meccanico .....	30
3.2.3	Impianti di recupero energetico .....	31
4	Analisi flussi regionali .....	34
4.1	Ricostruzione dei flussi all'anno 2016 .....	34
4.2	Osservazioni e criticità .....	37
4.3	Confronto con flussi del 2017 .....	38
5	Caratterizzazione del rifiuto .....	41
5.1	Analisi merceologica del rifiuto urbano .....	41
5.2	Proiezioni al 2025 .....	46
6	Analisi e critica al PRGRU 2018 .....	52
6.1	Scenario transitorio .....	52
6.1.1	Situazione impiantistica .....	55
6.2	Scenari a regime .....	58
6.2.1	Scenario 1: CSS End of Waste .....	58
6.2.2	Scenario 2: ReMat .....	60
6.2.3	Situazione impiantistica scenari 1 e 2 .....	62
6.3	Proposte di scenario migliorative .....	62
6.3.1	Scenario 0 a regime .....	63
6.3.2	Scenario 0 di transizione .....	66

7	Analisi ambientale della gestione del rifiuto urbano residuo .....	68
7.1	Materiali e metodi.....	68
7.1.1	Confini dell'analisi .....	68
7.1.2	Categorie d'impatto e sorgenti analizzate .....	68
7.1.3	Dati utilizzati e ipotesi effettuate.....	69
7.2	Risultati.....	82
7.2.1	Situazione attuale.....	82
7.2.2	Confronto con lo scenario proposto .....	88
8	Bibliografia.....	95

## II. Indice delle Figure

Figura 1 - Schema dei flussi del rifiuto urbano nel 2017, [t/a] .....	12
Figura 2 - Schema flussi scenario proposto, t/a. ....	14
Figura 3 - Emissioni specifica per tonnellata di rifiuto della filiera di trattamento riferito alla situazione attuale e allo scenario proposto .....	15
Figura 4 - Gerarchia della gestione dei rifiuti secondo la direttiva europea sull'economia circolare .....	16
Figura 5 - Ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani, anno 2015 (Fonte: ISPRA su dati Eurostat).....	17
Figura 6 - Confronto gestione del rifiuto urbano anni 2014 e 2015 nelle varie macroregioni europee (Fonte: ISPRA su dati Eurostat) .....	18
Figura 7 - Produzione di rifiuto pro capite per paesi europei (Fonte: ISPRA da dati Eurostat).....	19
Figura 8 - produzione pro capite rifiuti urbani in Italia (Fonte: ISPRA) .....	20
Figura 9 - Andamento produzione rifiuti urbani, spesa delle famiglie e PIL italiano (Fonte: ISPRA da dati ISTAT).....	20
Figura 10 - Andamento raccolta differenziata in Italia, anni 2013-2016 (Fonte: ISPRA) .....	21
Figura 11 - Composizione merceologica raccolta differenziata in percentuale, 2016 (Fonte: ISPRA).....	22
Figura 12 - Andamento raccolta differenziata (Fonte: ISPRA, Catasto rifiuti) .....	27
Figura 13 - Impianti di trattamento del rifiuto urbano residuo in Puglia .....	29
Figura 14 - Schema qualitativo flussi rifiuto urbano residuo, 2016.....	33
Figura 15 - Ricostruzione flussi regionali, anno 2016 [t/a].....	34
Figura 16 - Flusso generale dei rifiuti urbani in Puglia, anno 2016 [t/a] .....	35
Figura 17 - Flusso generale dei rifiuti urbani in Puglia, anno 2017 [t/a] .....	39
Figura 18 - Composizione merceologica del rifiuto urbano residuo attuale .....	43
Figura 19 - Composizione merceologica del rifiuto urbano lordo nel 2025 .....	47
Figura 20 - Valori di intercettazione attuali e al 2025 per le principali frazioni merceologiche.....	49
Figura 21 - Composizione merceologica del rifiuto urbano residuo nel 2025.....	50
Figura 22 - Schema flussi scenario transitorio PRGRU 2018.....	53
Figura 23 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 1: CSS End of Waste, [t/a].....	58
Figura 24 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 2: ReMat, [t/a]. .....	60
Figura 25 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 0, [t/a].....	63
Figura 26 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 0 di transizione, [t/a].....	66
Figura 27 - Fattori di emissione contaminanti atmosferici nel settore elettrico per la produzione di energia elettrica e calore (Fonte: ISPRA).....	72

Figura 28 – Formula utilizzata nel modello LandGEM per la produzione di metano.	76
Figura 29 - Produzione biogas da discarica per tonnellata di rifiuto .....	79
Figura 30 - Equazione GWP metano in relazione all'anno dell'orizzonte temporale..	80
Figura 31 - Emissioni relative al conferimento di una tonnellata di rifiuto pugliese in discarica. ....	81
Figura 32 – Emissioni nette per tonnellata di rifiuto trattato, anni 2016 (blu) e 2017 (arancione). ....	84
Figura 33 - emissioni di CO <sub>2</sub> equivalente, anni 2016 e 2017.....	84
Figura 34 - Bilancio emissioni CO <sub>2</sub> equivalente termovalorizzatori, anni 2016 e 2017 .....	85
Figura 35 - Emissioni annuali nette di NO <sub>x</sub> per gli anni 2016 e 2017.....	86
Figura 36 - Emissioni di particolato relative agli anni 2016 e 2017. ....	87
Figura 37 – Bilancio emissioni NO <sub>x</sub> e particolato dei termovalorizzatori, anni 2016 e 2017. ....	88
Figura 38 - Emissioni annuali nette e loro ripartizione dello scenario 0 .....	89
Figura 39 – Emissioni specifiche nette per lo scenario attuale e quello previsto .....	90
Figura 40 - Emissioni specifiche nette dei diversi scenari esaminati.....	91
Figura 41 - Variazione emissioni specifiche di CO <sub>2</sub> per modifica frazione biogenica CO <sub>2</sub> nel CSS (sx.) e percentuale metano nel biogas (dx.). ....	92
Figura 42 - emissioni CO <sub>2</sub> eq al variare delle ipotesi relative alla frazione di CO <sub>2</sub> biogenica e percentuale di metano nel biogas da discarica .....	92
Figura 43 - Emissioni annuali per gli anni 2016 e 2017 e lo scenario proposto .....	93
Figura 44 - Emissioni annuali per gli anni 2016 e 2017 e lo scenario proposto 0 bis .	93

### III. Indice delle Tabelle

Tabella 1 - Andamento produzione rifiuto urbano e raccolta differenziata in Puglia (Fonte: ISPRA) .....	26
Tabella 2 - Produzione rifiuti urbani e raccolta differenziata per ciascuna Provincia, 2016 (Fonte: ISPRA) .....	26
Tabella 3 - Impianti TMB operativi nel 2016 in Puglia, dati in t/a .....	29
Tabella 4 - Rendimenti di trattamento degli impianti TMB, 2016 .....	30
Tabella 5 - impianti TM funzionanti in Puglia nel 2016, dati in t/a .....	31
Tabella 6 - Rendimenti di trattamento degli impianti TM, 2016 .....	31
Tabella 7 - Impianti di recupero energetico funzionanti in Puglia nel 2016, t/a .....	32
Tabella 8 - Calcoli flussi di scarti da raccolta differenziata, anno 2016 .....	36
Tabella 10 - Efficienza di produzione media per impianti TM, anno 2016 .....	37
Tabella 9 - Efficienza di produzione media per impianti TMB, anno 2016 .....	37
Tabella 11 - rendimento medio per gli impianti TMB, anni 2016 e 2017 .....	39
Tabella 12 - Efficienze di trattamento medie per gli impianti TM, anni 2016 e 2017 .....	40
Tabella 13 - Classi merceologiche del rifiuto urbano. ....	42
Tabella 14 - Composizione merceologica del rifiuto urbano residuo per ATO di appartenenza .....	42
Tabella 15 - Raccolta differenziata multimateriale secondo le diverse fonti .....	44
Tabella 16 - quantitativo per ciascuna categoria di RD in tonnellate, diviso per ATO di appartenenza .....	44
Tabella 17 - composizione del RU lordo in percentuale, per i diversi ATO .....	45
Tabella 18- composizione percentuale RU pugliese nel 2017 .....	46
Tabella 19 - Composizione merceologica in percentuale nel 2017 e 2025 .....	47
Tabella 20 – Valori e calcoli di obiettivi impurezze ed intercettazione per l'anno 2025 .....	48
Tabella 21 - Composizione merceologica impurezze nel 2025 .....	49
Tabella 22 - Composizione scarti organico .....	51
Tabella 23 - Efficienze di trattamento per impianti TMB, PRGRU 2018 .....	54
Tabella 24 - Rendimento medio degli impianti TM nel 2016 e previsti nel piano. .	54
Tabella 25 - Fabbisogno e capacità impiantistica per il trattamento meccanico-biologico [t/a] .....	55
Tabella 26 - Confronto capacità impiantistiche per il trattamento meccanico [t/a]. .	56
Tabella 27 - Fabbisogno e capacità impiantistica per il trattamento meccanico [t/a]. .....	56
Tabella 28 - Capacità impiantistiche per il recupero energetico del CSS [t/a]. .....	57
Tabella 29 - Fabbisogni e capacità impiantistiche per il recupero energetico R1, [t/a]. .....	57
Tabella 30 - Rendimenti impianti TM per produzione CSS EoW. ....	59
Tabella 31 - Rendimenti impianti MRF nello scenario 2: ReMat .....	61
Tabella 33 - Rendimento trattamenti impianti TMB, scenario 0 .....	64



Tabella 33 bis - Rendimento trattamenti impianti TM, scenario 0.....	64
Tabella 34 - Valutazioni fabbisogno e capacità impiantistica per lo scenario 0, [t/a] .....	65
Tabella 35 - Valutazioni fabbisogno e capacità impiantistica per lo scenario 0 di transizione, [t/a]. .....	67
Tabella 36 - Calcoli per definizione trasporto medio, anno 2016. ....	70
Tabella 37 - Calcoli per definizione trasporto medio, anno 2017. ....	70
Tabella 38 - Fattori di emissione mix energetico Puglia, 2016. ....	71
Tabella 39 - Emissioni Termovalorizzatori, riferite a tonnellata di CSS in ingresso, anni 2016 e 2017 .....	74
Tabella 40 - Dati e risultati modellizzazione trattamento biologico. ....	78
Tabella 41 - Emissioni specifiche per tonnellata di rifiuto smaltita in discarica .....	81
Tabella 42 - Emissioni annuali nette per tonnellata di rifiuto trattata, anni 2016 e 2017. .....	82
Tabella 43 - Fattori di emissioni assunti per lo scenario 0 e quantità di rifiuto trattato. .....	88

## **IV. Sommario**

La gestione e il trattamento del rifiuto urbano da parte della regione Puglia presentano una chiara evoluzione in direzione di un sistema più sostenibile, nel tentativo di raggiungere gli obiettivi imposti dalle direttive Europee sull'economia circolare. La raccolta differenziata è in crescita e non vi è più conferimento in discarica di primo destino del rifiuto urbano, però la gestione del rifiuto indifferenziato presenta ancora evidenti problematiche.

Lo scopo di questo studio è analizzare l'attuale gestione del rifiuto urbano residuo pugliese, evidenziandone le maggiori criticità e riportare l'attenzione alle fasi del trattamento che si ritiene necessario migliorare. Il lavoro è stato incentrato sulla definizione dei bilanci di massa degli anni 2016 e 2017, dove si sono definiti tutti i flussi in entrata ed uscita dalla filiera di trattamento. Successivamente è stata svolta un'analisi critica del nuovo PRGRU, di cui si sono studiati gli scenari di gestione del rifiuto urbano ipotizzati, e si è redatta una proposta migliorativa, che andasse a modificare le scelte prese da parte della Regione ritenute non ottimali. La proposta migliorativa è stata sviluppata sulla base dello studio della composizione del rifiuto, sia presente che futura.

Infine è stata svolta un'analisi ambientale comparativa tra l'odierna gestione del rifiuto indifferenziato e lo scenario proposto, calcolando le emissioni di CO<sub>2</sub>eq NO<sub>x</sub> e particolato, di cui è responsabile ogni processo, così da fornire un ulteriore elemento di pianificazione della filiera di trattamento.

## V. Abstract

The municipal solid waste management and treatment of Puglia region is clearly evolving toward a more sustainable system with the aim of reaching the goal imposed by the circular economy directives of the EU. The separate collection is increasing and no more municipal wastes are directly landfilled, but the management of residual municipal waste still shows various problematic issues.

The aim of the present study is the analysis of the residual municipal waste management of Puglia, in which are highlighted the problems and critical treatments that have to be improved. The work is focused on the description of the 2016 and 2017 mass balances and the definition of all the input and output of the system.

Furthermore, the new PRGRU has been studied and, after the analysis of the proposed scenarios, has been made an improved proposal of management of the residual municipal waste, able to modify the not optimal choices taken by the Region.

In the end, the proposed scenario and the present situation have been compared through an environmental analysis, in which have been calculated the CO<sub>2</sub>eq, NO<sub>x</sub> and particulate matter emissions of every process unit of the system, in order to provide another tool for the future scenario planning.

# 1 Sommario e conclusioni

Lo studio effettuato ha come obiettivo un'approfondita analisi della gestione del rifiuto urbano residuo nella regione Puglia, accompagnata dalla formulazione di una proposta migliorativa, che vada a modificare le principali criticità riscontrate. Il lavoro è principalmente suddiviso in tre parti: un'analisi della situazione attuale, in cui si definiscono tutti i flussi di materia in ingresso e uscita alla complessa filiera di trattamento del rifiuto; un'analisi critica della pianificazione futura definita dalla Regione, accompagnata dalla definizione di uno scenario migliorativo; infine un'analisi ambientale per una valutazione comparativa tra la proposta migliorativa e l'odierna gestione del rifiuto urbano residuo.

I dati utilizzati per l'analisi sono stati reperiti da varie fonti, per poter effettuare confronti incrociati e per disporre di un'alternativa in caso di informazioni mancanti. In particolare, sono stati consultati:

- L'edizione 2017 del "Rapporto Rifiuti Urbani" di ISPRA;
- I documenti allegati al nuovo PRGRU, redatti direttamente dalla Regione;
- "Osservatorio Regione Puglia", un portale che raccoglie dati riguardo al trattamento dei rifiuti urbani direttamente dai Comuni;
- Le relazioni annuali degli impianti, fornite direttamente dai gestori.

Con i dati a disposizione si è definito il bilancio di massa di ogni impianto, quantificando e classificando tutti i flussi in ingresso e in uscita. Di quest'ultimi si è stabilito anche l'eventuale trattamento successivo e l'impianto a cui sono destinati, così da poter costruire uno schema complessivo per gli anni 2016 e 2017. Dopo aver effettuato un'armonizzazione dei flussi, è stato possibile definire tutto il processo di trattamento effettuato al Rifiuto Urbano Residuo (RUR) in ingresso alla filiera per entrambi gli anni, di cui, a titolo esplicativo, viene riportato in Figura 1 quello relativo al 2017.

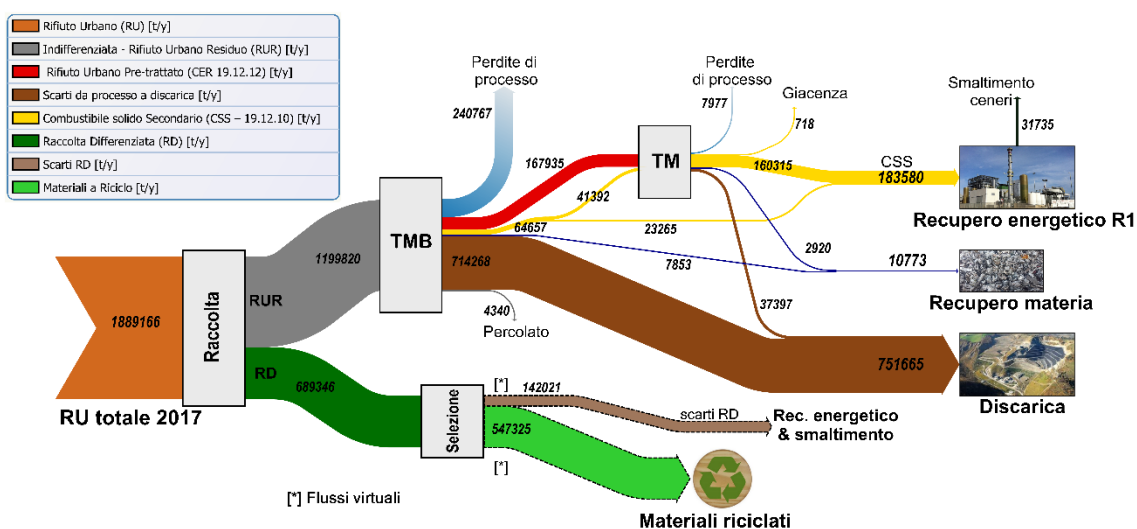


Figura 1 - Schema dei flussi del rifiuto urbano nel 2017, [t/a]

È facilmente deducibile come la criticità principale sia costituita dal conferimento in discarica ancora troppo elevato, che risulta essere, ad oggi, la principale soluzione di smaltimento finale del rifiuto urbano residuo. Il contributo principale è ascrivibile agli impianti di Trattamento Meccanico-Biologico (TMB), che inviano a discarica la maggior parte degli output di processo. Alcuni impianti ne inviano solamente la fisiologica frazione di scarti, che è necessario separare per dare al rifiuto le caratteristiche richieste per la produzione finale di Combustibile Solido Secondario (CSS), mentre la maggior parte inviano anche tutta la Frazione Secca Combustibile (FSC) prodotta, che dovrebbe essere destinata ad impianti di Trattamento Meccanico (TM). Questo evidenzia come la filiera di trattamento del rifiuto pugliese risulti carente di impianti TM, che effettuino il trattamento necessario per la raffinazione della FSC prodotta dai numerosi impianti TMB, così da rendere possibile la produzione di CSS da inviare ad incenerimento. Però, anche garantendo la capacità impiantistica necessaria per il trattamento meccanico, non vi sarebbero sufficienti strutture per il successivo recupero energetico del CSS prodotto, per cui risulta un deficit impiantistico ancora più critico. In aggiunta, i rendimenti degli impianti TMB sono estremamente bassi e non in grado di garantire materiale di adeguata qualità in uscita dal trattamento.

Dopo aver completato lo studio dell'attuale gestione del rifiuto urbano residuo, è stata effettuata un'analisi della sua composizione merceologica. Inizialmente, si è calcolata la composizione attuale dei flussi di raccolta differenziata e rifiuto urbano residuo, così da poter determinare la composizione del rifiuto urbano lordo. In seguito, sulla base degli obiettivi di gestione del rifiuto indicati nel nuovo PRGRU redatto dalla Regione, si è definita una proiezione della composizione merceologica del rifiuto al 2025, orizzonte temporale delle previsioni degli scenari proposti. Questo approfondimento è stato uno degli elementi necessari per verificare che la gestione del rifiuto ipotizzata negli scenari del Piano fosse idonea al materiale in ingresso, oltre al rendere possibile la formulazione di una proposta migliorativa funzionale.

Nel PRGRU pubblicato nell'estate del 2018 sono descritti due scenari alternativi di gestione del RUR, da attuare al raggiungimento del 65% di raccolta differenziata, e uno scenario di transizione previsto per il periodo che intercorre tra il presente e il raggiungimento della fase 'a regime'. Per ciascuno di essi è stata fatta un'analisi delle assunzioni effettuate e delle scelte di gestione, volta ad evidenziare le maggiori criticità ed incongruenze.

Lo scenario transitorio ricalca l'organizzazione del sistema attuale, ma prevede una graduale eliminazione del trattamento biologico, per tutti quei rifiuti provenienti da comuni con raccolta differenziata > 60%. La filiera è pensata per essere in continuità con la situazione presente, prevedendo quindi lo smaltimento del CSS prodotto attraverso il recupero energetico in impianti di termovalorizzazione. Questa soluzione non è ottimale perché, sebbene con una raccolta differenziata ai livelli previsti, che implica una diffusa raccolta separata della Frazione Organica (FORSU), il rifiuto urbano residuo non sarebbe ancora sufficientemente privo di materiale organico per ritenere evitabile un trattamento biologico iniziale.

I due scenari proposti per la successiva fase a regime, oltre a non prevedere il trattamento biologico, presentano degli ostacoli attuativi di tipo organizzativo. Lo scenario 1 è incentrato sulla produzione di CSS End of Waste, un prodotto finale del trattamento simile al CSS normale ma che, a seguito del verificarsi di determinate

condizioni definite dalla normativa, perde la qualifica di rifiuto. Sebbene possa teoricamente essere una soluzione valida, sembra difficilmente attuabile per gli ostacoli di gestione, che sono un mercato molto ristretto (centrali termoelettriche e cementifici che operano in co-combustione) e con richiesta quasi nulla. Lo scenario 2 prevede di sostituire la produzione di CSS con un recupero spinto di materia, attraverso specifici impianti di separazione meccanica, eliminando così il recupero energetico. Questa soluzione presenta delle evidenti criticità, in contraddizione con gli obiettivi indicati nel Piano stesso. Il più importante è il conferimento in discarica, per cui viene posto un valore massimo del 20% in peso del rifiuto urbano totale, che invece, risulta pari al 30%, quindi ampiamente oltre il limite stabilito.

Terminata l'analisi degli scenari proposti dalla Regione, si è definita un'alternativa migliorativa, che potesse essere la più idonea per l'impiantistica già esistente e la composizione del rifiuto prospettata (Figura 2)

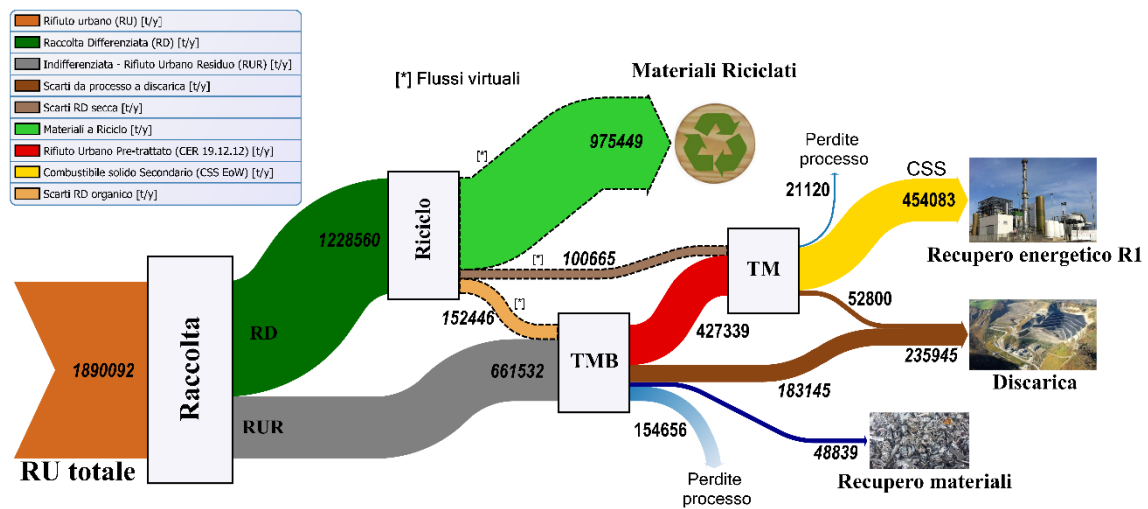


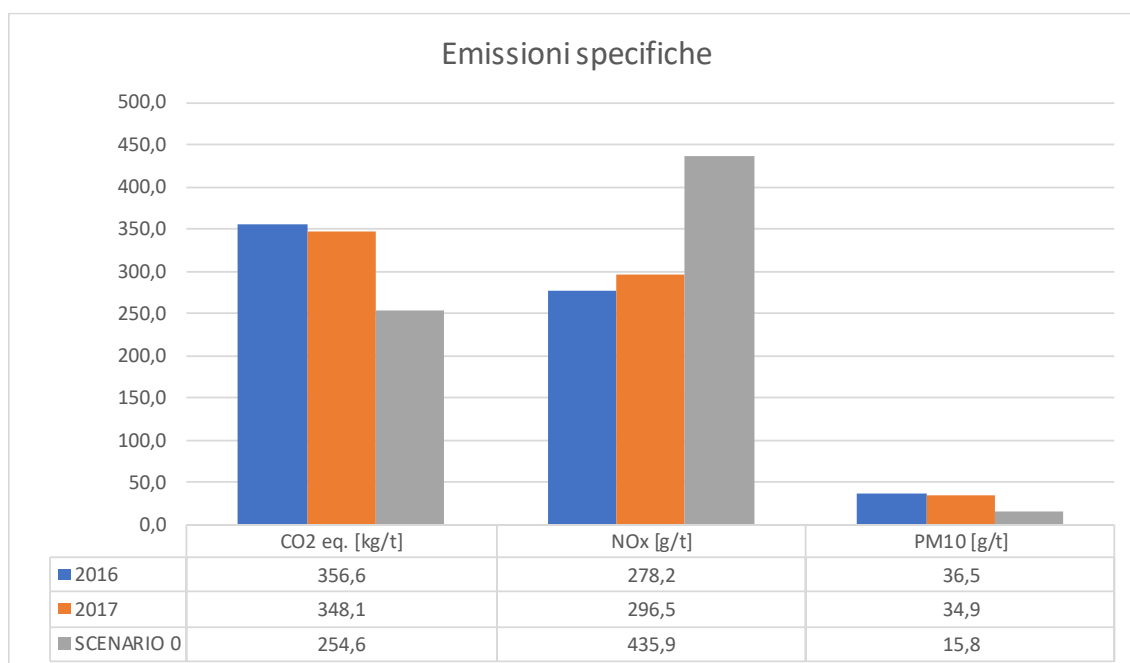
Figura 2 - Schema flussi scenario proposto, t/a.

Lo scenario proposto è rappresentato al raggiungimento della fase a regime, con raccolta differenziata al 65%, in cui la filiera di trattamento è molto simile all'attuale, ma che presenta rendimenti di trattamento più elevati e l'inclusione degli scarti da riciclo della raccolta differenziata nella filiera del RUR. Gli scarti da trattamento della FORSU sono inviati a monte del trattamento biologico, poiché presentano una frazione di organico molto elevata, mentre per quelli provenienti dalle frazioni secche si ipotizza solo un trattamento meccanico. Lo smaltimento finale del rifiuto è incentrato sulla produzione di CSS normale, per cui è previsto recupero energetico in impianti di termovalorizzazione. Il conferimento totale in discarica risulta essere del 12,5%, notevolmente inferiore rispetto al limite del 20% imposto dal Piano.

Successivamente allo studio degli scenari e alla formulazione della nuova proposta, è stata effettuata un'analisi ambientale per la valutazione degli impatti della gestione attuale del rifiuto urbano confrontati con quelli dello scenario migliorativo. Sono state prese in considerazione le emissioni di CO<sub>2</sub>eq, NO<sub>x</sub> e particolato, prodotte dai principali processi di trattamento della filiera. Questi sono i trasporti, gli impianti TMB e TM, il recupero energetico e lo smaltimento in discarica. Le emissioni relative ai trasporti sono prodotte dalla movimentazione del rifiuto tra i vari impianti di

trattamento, ad opera di mezzi su gomma; invece gli impianti TMB e TM sono responsabili delle emissioni dirette per il consumo di carburante e quelle indirette legate a consumo di elettricità da parte dei macchinari. Il recupero energetico del rifiuto comporta sia emissioni positive dirette, costituite dai fumi di combustione in uscita dal camino, che emissioni negative, dovute alla produzione di energia elettrica da parte degli impianti. Infine, anche lo smaltimento in discarica presenta un apporto positivo e uno negativo al conteggio totale: l'emissione di biogas non captato e la combustione della frazione captata sono in parte bilanciati dalla produzione elettrica del motore in cui viene bruciato il biogas captato.

Tutti i contributi sono stati calcolati in funzione della quantità di rifiuto trattato in un anno in ciascun processo di trattamento, così da poter disporre della somma totale annuale. Al fine di confrontare i risultati ottenuti per gli anni 2016 e 2017 con lo scenario proposto, è stato necessario dividere le emissioni annuali per il quantitativo di rifiuto in ingresso alla filiera, per ottenere un dato di emissione specifica per tonnellata di tutto il processo di trattamento. I risultati sono riportati in Figura 3.



*Figura 3 - Emissioni specifica per tonnellata di rifiuto della filiera di trattamento riferito alla situazione attuale e allo scenario proposto*

I risultati mostrano come vi sia un notevole miglioramento per le emissioni di CO<sub>2</sub>eq e particolato, parallelamente ad un peggioramento delle emissioni di NO<sub>x</sub>. Per mitigare questo peggioramento, è possibile introdurre limiti più stringenti sulle emissioni degli ossidi di azoto, conseguibili mediante l'installazione di tecnologie di abbattimento catalitiche (SCR), che ne garantirebbero una sensibile riduzione.

## 2 Introduzione

La gestione del rifiuto, oltre a rappresentare un valido indicatore dello sviluppo di un singolo Paese, è un settore di fondamentale importanza all'interno della società e dell'economia nazionale. La filiera di trattamento del rifiuto urbano (RU) è tra tutte quella che ha una maggiore incidenza sulla qualità di vita del cittadino, motivo per cui è considerata un settore particolarmente sensibile dall'opinione pubblica e dalla politica. Questo è acuito dalle caratteristiche che la filiera stessa deve possedere per un funzionamento efficace, cioè una contemporanea capillarità delle infrastrutture ed una sufficiente capacità di trattamento. Nei paesi economicamente più sviluppati, dove la gestione del rifiuto è sistematica e completa da vari decenni, ci si sta muovendo verso una filiera che vada a tutelare anche il territorio e l'ambiente, cercando di diminuire i grossi impatti relativi allo smaltimento.

### 2.1 Direttive europee e gestione del rifiuto urbano in Europa

La direzione che l'Unione Europea sta prendendo in tema di rifiuti è fortemente orientata verso l'economia circolare, con l'obiettivo di minimizzare il più possibile la produzione di rifiuti. Questa politica si traduce nella promulgazione di Direttive che regolamentano il trattamento dei rifiuti da parte degli Stati membri, imponendo obiettivi comuni sulla loro gestione e smaltimento finale. All'interno della direttiva 2008/98/EU è stata delineata una gerarchia di gestione dei rifiuti, il cui scopo è orientare la progettazione della filiera di trattamento del rifiuto verso uno scenario di maggiore sostenibilità possibile (Figura 4).

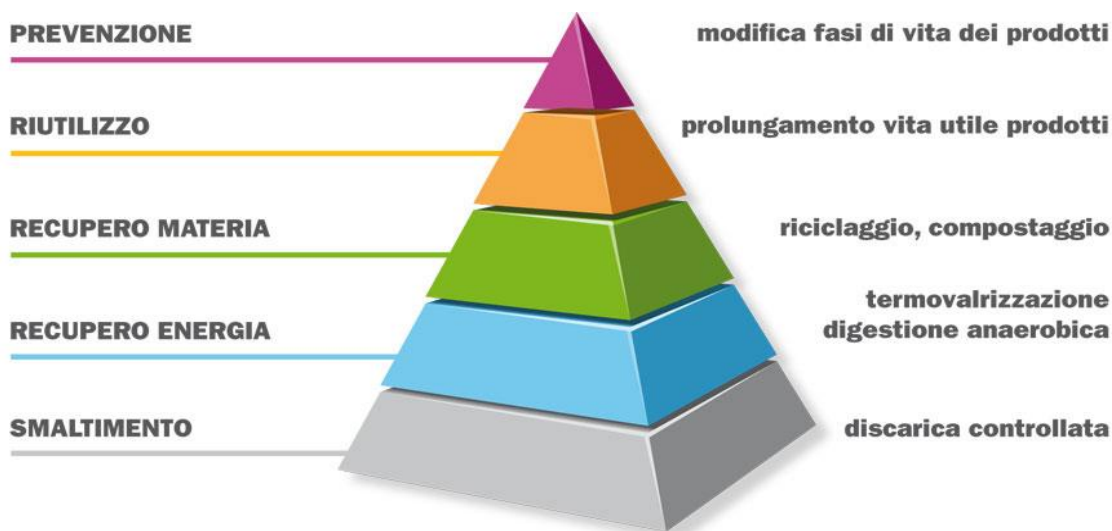


Figura 4 - Gerarchia della gestione dei rifiuti secondo la direttiva europea sull'economia circolare

Lo smaltimento in discarica occupa l'ultimo posto della scala gerarchica, in quanto soluzione ritenuta meno sostenibile, da prendere in considerazione solo in assenza di alternative. Tutte le altre scelte di gestione del rifiuto hanno come principio il concetto alla base dell'economia circolare, cioè di cercare di mantenere il valore di un oggetto il più a lungo possibile lungo tutto il suo ciclo di vita. Questo deve essere implementato in primo luogo cercando di evitare che il materiale diventi rifiuto,



attraverso la prevenzione, e, quando non possibile, cercando di valorizzarlo nel modo migliore in termini di materia, fino al recupero dell'energia contenuta al suo interno. Il 14 Giugno 2018 sono entrate in vigore quattro nuove direttive che hanno aggiornato le precedenti, volte a garantire una maggiore tutela ambientale. Nello specifico sono: la direttiva (UE) 2018/851 che modifica la disposizione 2008/98/CE relativa ai rifiuti generici; la direttiva (UE) 2018/849 relativa a pile, veicoli fuori uso e RAEE; la direttiva (UE) 2018/850 relativa alle discariche; la direttiva (UE) 2018/852 concernente gli imballaggi e i loro rifiuti. Gli obiettivi più indicativi delle direttive prevedono:

- Un aumento progressivo della percentuale di materiale inviato a riciclo: questo è fissato al 55% per il 2025, al 60% per il 2030 e al 65% per il 2035.
- Il raggiungimento del 70% di riciclo degli imballaggi entro il 2030, in particolare: 30% per il legno, 80% per i ferrosi, 60% per l'alluminio, 75% per il vetro, 85% per la carta e cartone, 55% per la plastica.
- La riduzione dello smaltimento in discarica: al 2035 non dovrà superare il 10% del totale dei rifiuti prodotti in termini di peso.

All'interno della stessa Unione Europea vi sono Paesi più all'avanguardia di altri nella gestione del rifiuto urbano, con una tendenza a filiere di smaltimento meno virtuose per gli Stati di più recente ingresso.

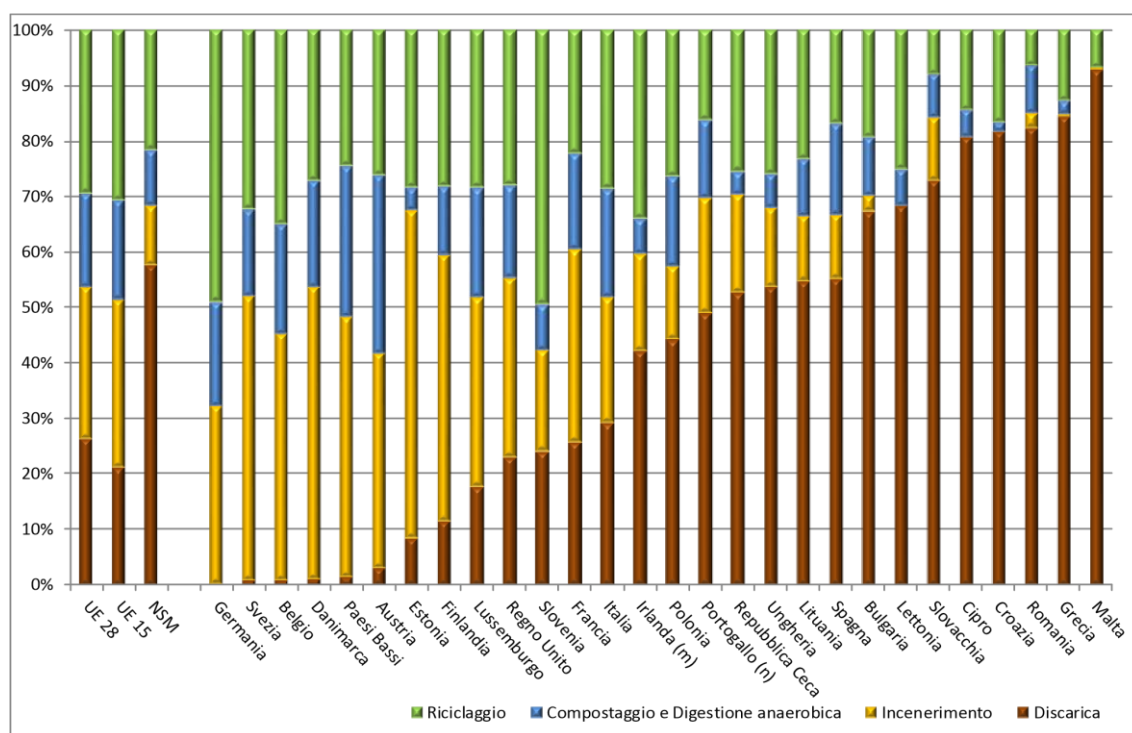


Figura 5 - Ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani, anno 2015 (Fonte: ISPRA su dati Eurostat)

Come si può notare dalla figura 5, il ricorso alla discarica per lo smaltimento del rifiuto varia molto tra i vari Paesi, con valori quasi nulli per la Germania (0.2%) fino ad un massimo del 92,7% per Malta. In generale i Paesi più ricchi del Nord Europa hanno indirizzato le scelte di gestione del rifiuto verso scenari più sostenibili, andando a ridurre notevolmente lo smaltimento in discarica, affidandosi maggiormente all'incenerimento e ad una raccolta differenziata molto più spinta. Sebbene in

miglioramento rispetto agli anni precedenti, tutta la zona dell'Est Europa deve ancora implementare importanti politiche per il raggiungimento gli obiettivi prefissati dalle direttive europee. La Figura 6 presenta un confronto della gestione dei rifiuti tra gli anni 2014 e 2015 per ciascuna macroregione, evidenziando in tutta Europa un trend di riduzione del ricorso all'uso della discarica in favore di riciclaggio e incenerimento, ma anche il netto ritardo dei nuovi stati membri (NSM) rispetto agli altri Paesi.

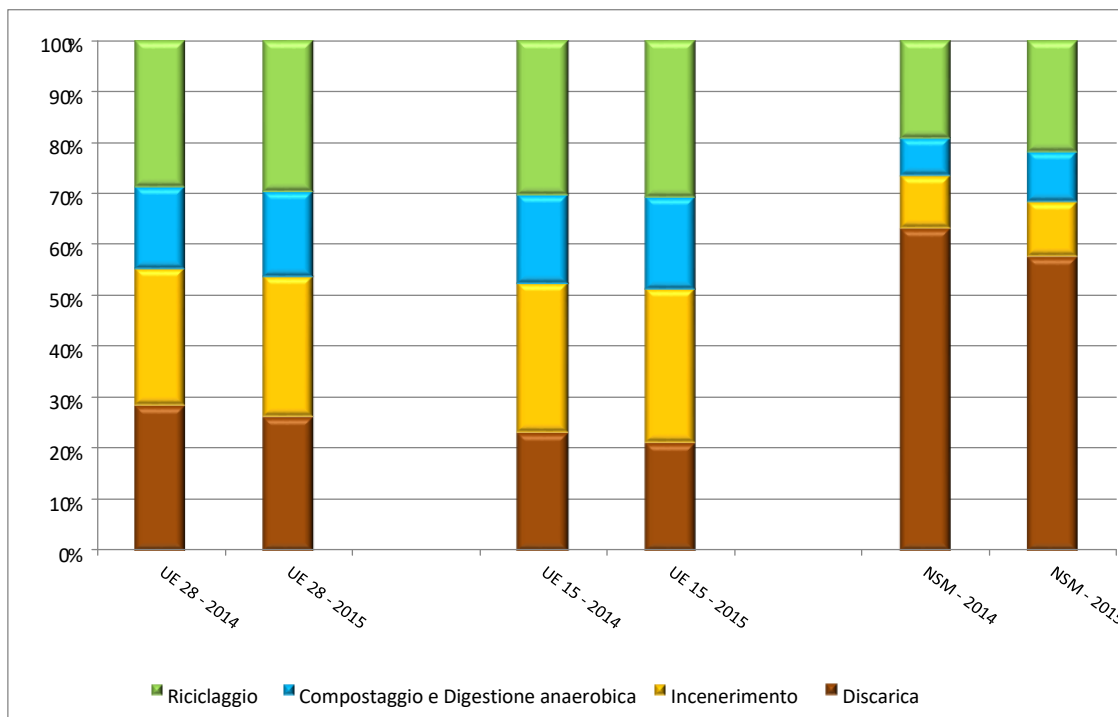


Figura 6 - Confronto gestione del rifiuto urbano anni 2014 e 2015 nelle varie macroregioni europee (Fonte: ISPRA su dati Eurostat)

Come indicato dalle direttive europee, oltre a perseguire una filiera di trattamento del rifiuto urbano che sia il più sostenibile possibile, è anche di fondamentale importanza prevenire la produzione del rifiuto. Questo è certamente la fase più complicata, perché è necessaria una forte sensibilizzazione della popolazione per modificarne le abitudini e comportamenti. L'implementazione di politiche di prevenzione è ancora alle fasi iniziali, di cui non si vedono ancora grandi risultati; la produzione di rifiuti pro capite di ciascun Paese è infatti ancora fortemente correlata a fattori economici. Dalla Figura 7 si evince come vi siano grosse differenze anche all'interno dell'Europa nella produzione pro capite di rifiuti, con, ancora una volta, una netta divisione tra i paesi con un PIL più elevato del Nord, e quelli appartenenti all'ex area di influenza Sovietica. Nel 2015 la Danimarca attestava una produzione pro capite di 789 kg/a, circa il triplo della Romania che, con 247 kg/a per ogni cittadino, registra il valore minimo <sup>1</sup>. L'Italia si attesta circa nella media europea, con una produzione di 489 kg di rifiuti a persona.

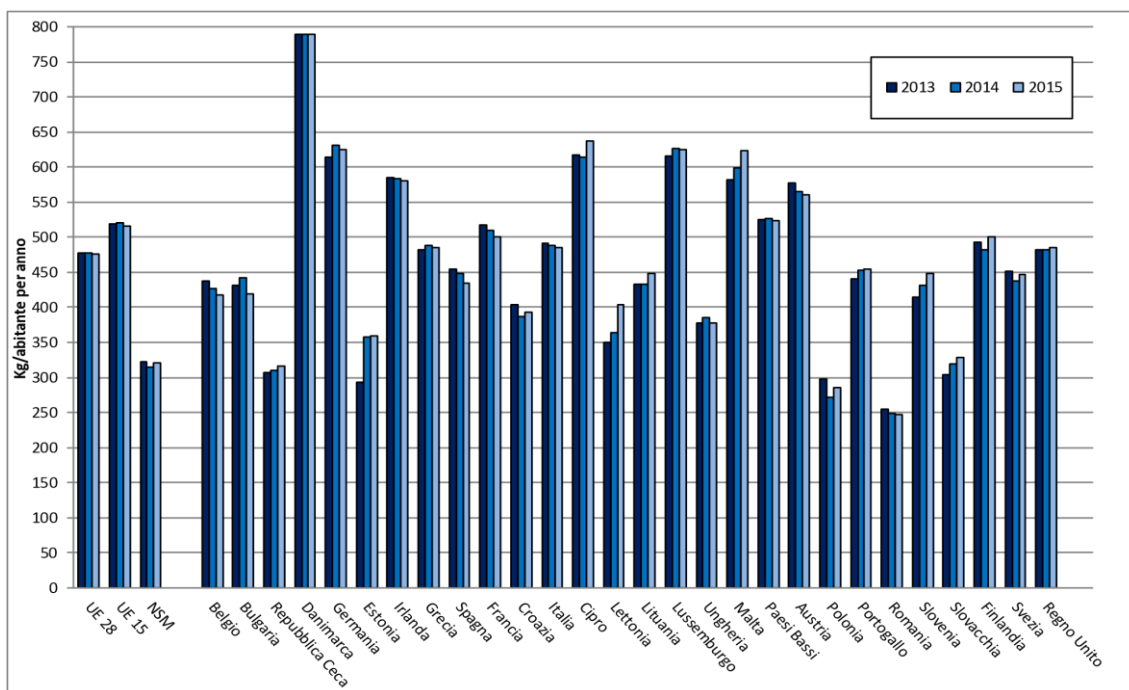


Figura 7 - Produzione di rifiuto pro capite per paesi europei (Fonte: ISPRA da dati Eurostat)

In generale, analizzando l'andamento degli anni 2013-2015, risulta una produzione di rifiuti sostanzialmente stazionaria, dopo che negli anni precedenti si era registrata una riduzione, principalmente dovuta alla contrazione dei consumi in seguito alla crisi economica.

## 2.2 Gestione del rifiuto urbano e raccolta differenziata in contesto italiano

In Italia la produzione di rifiuti urbani è risultata pari a complessivamente 30,1 milioni di tonnellate nel 2016, registrando un incremento del 2% rispetto all'anno precedente. Questo aumento è in parte dovuto ad una modifica nella classificazione dei rifiuti ad opera del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM) che, con un decreto del 26 Maggio 2016 ha inserito nel conteggio dei rifiuti urbani anche quelli derivanti da piccoli interventi di costruzione e demolizione, per un massimo di 15 kg/y per abitante, prima classificati come rifiuti speciali.

All'interno della realtà italiana vi sono differenze tra Nord, Centro e Sud del paese in termini di produzione pro capite di rifiuti, con le regioni centrali che presentano valori più alti rispetto alle altre aree (Figura 8).

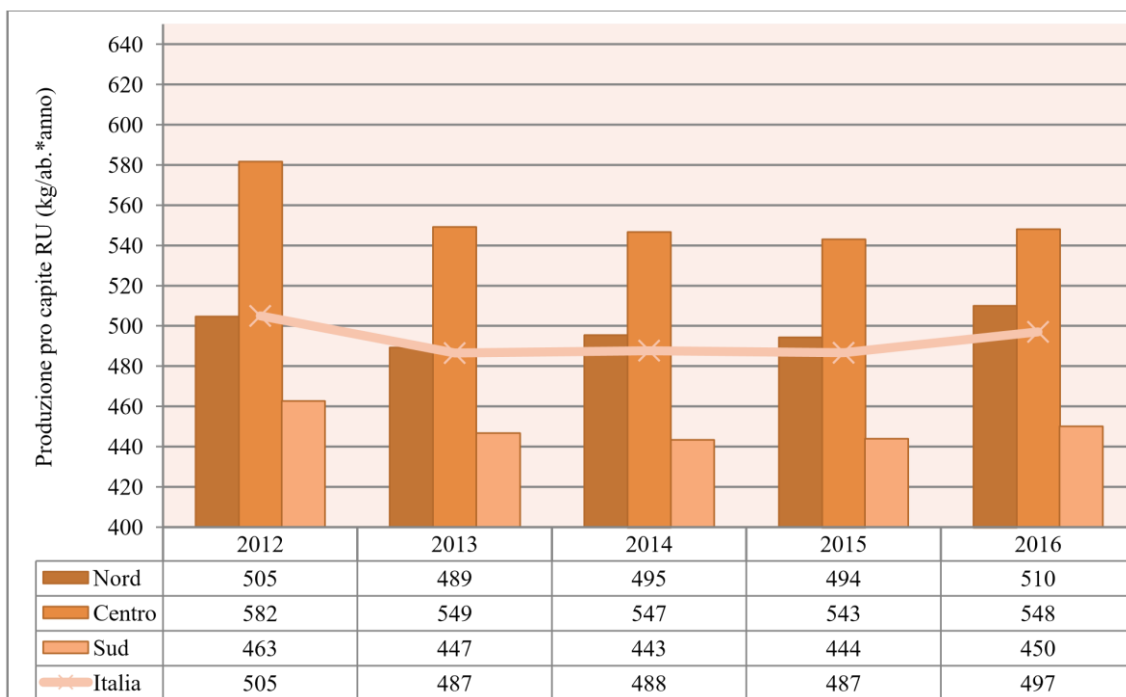


Figura 8 - produzione pro capite rifiuti urbani in Italia (Fonte: ISPRA)

Come in Europa, in Italia la produzione di rifiuto risulta sostanzialmente stazionaria negli ultimi anni, con valori intorno ai 500 kg/a per abitante. Anche nel nostro Paese questo quantitativo è strettamente legato ad indicatori socio-economici, rivelando come sia ancora necessario investire in politiche di prevenzione del rifiuto. Come mostrato in precedenza, la riduzione della produzione di rifiuti è la priorità all'interno della scala gerarchica di gestione del rifiuto proposta dalla direttiva europea sull'economia circolare. Nella Figura 9 si mostra la relazione tra produzione di rifiuti urbani, spesa delle famiglie e PIL dal 2002 al 2016, assumendo come riferimento

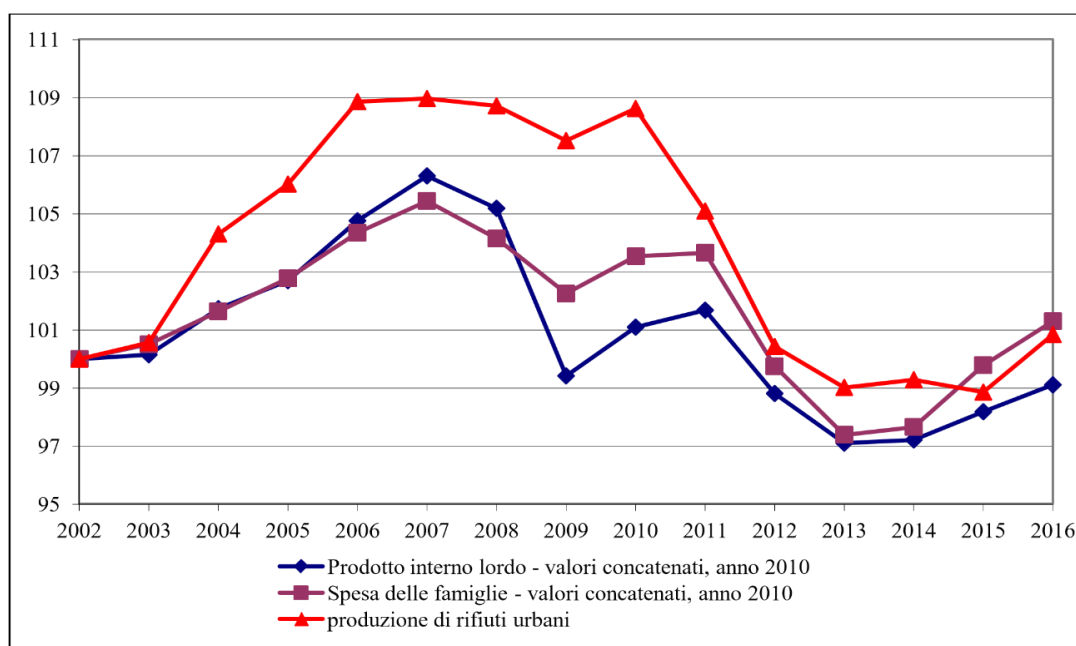


Figura 9 - Andamento produzione rifiuti urbani, spesa delle famiglie e PIL italiano (Fonte: ISPRA da dati ISTAT)

(100) i valori del 2002. È evidente come non vi sia ancora un mercato disaccoppiamento tra la produzione di rifiuti e il PIL.

Gli obiettivi di raccolta differenziata a livello nazionale sono regolati dal d.lgs. n. 152/2006 e dalla legge n. 296 del 27 dicembre 2006, che pongono una serie di target, gradualmente negli anni, che avrebbero dovuto raggiungere nel 2012 un livello del 65% di rifiuto raccolto destinato al successivo riciclo. In particolare essi sono:

- almeno il 35% entro il 31 dicembre 2006;
- almeno il 40% entro il 31 dicembre 2007;
- almeno il 45% entro il 31 dicembre 2008;
- almeno il 50% entro il 31 dicembre 2009;
- almeno il 60% entro il 31 dicembre 2011;
- almeno il 65% entro il 31 dicembre 2012.

La Figura 10 mostra come questi obiettivi siano stati disattesi, poiché nel 2016 la percentuale di raccolta differenziata risulta pari al 52,5%, valore che soddisfa solo gli obiettivi posti per il 2009. L'obiettivo del 65% risulta quasi raggiunto solo dal Nord Italia nel 2016, con le regioni del Sud ancora in forte ritardo. Il trend generale della raccolta differenziata è in aumento in tutte e tre le macroregioni, in particolare nell'ultimo anno, dove ha registrato a livello nazionale un +5% rispetto all'anno precedente. In valore assoluto, la raccolta differenziata si attesta a circa 15,8 milioni di tonnellate, cioè 261 kg/a per abitante. Questo aumento è trainato dal +7.3% della frazione organica registrato nel 2016 rispetto al 2015.

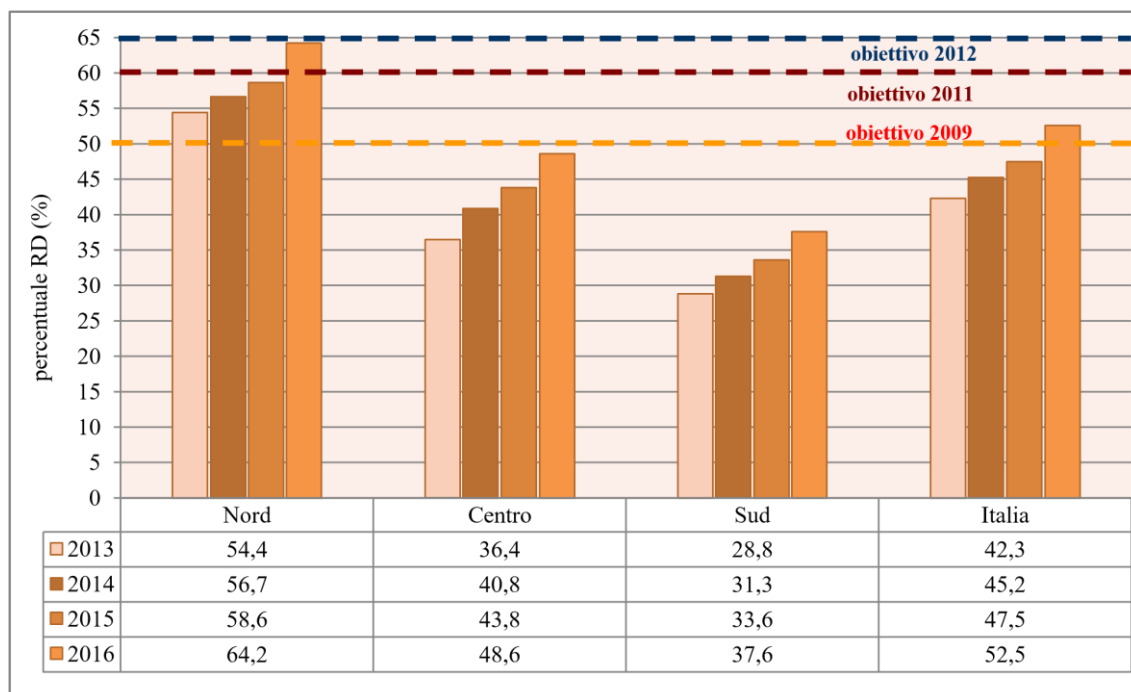


Figura 10 - Andamento raccolta differenziata in Italia, anni 2013-2016 (Fonte: ISPRA)

La raccolta differenziata comprende varie frazioni merceologiche, che compongono il rifiuto totale avviato alla fase di riciclo. La sua composizione e divisione in percentuali è rappresentata in Figura 11, in cui si nota la grossa importanza dell'organico. I valori in percentuale sono espressi in termini di massa, motivo per cui la frazione della plastica è contenuta, mentre, al contrario, in termini volumetrici, sarebbe la frazione principale. Il quantitativo biodegradabile totale dei flussi di raccolta differenziata risulta pari al 67%, comprensivo della frazione organica, di carta e cartone e del legno.

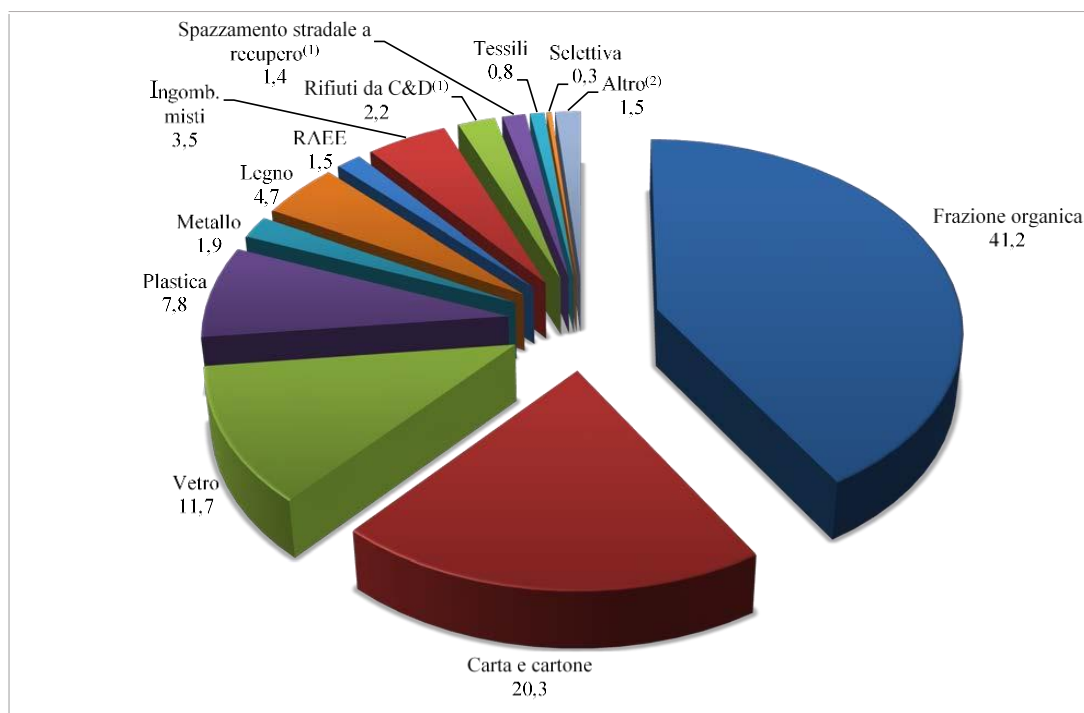


Figura 11 - Composizione merceologica raccolta differenziata in percentuale, 2016 (Fonte: ISPRA)

## 2.3 Descrizione impiantistica per il trattamento del rifiuto urbano residuo

A valle della separazione dei flussi di raccolta differenziata rimane il rifiuto urbano residuo (RUR), con una composizione merceologica mista, per cui è necessario il trattamento e lo smaltimento finale. Poiché tale frazione è ancora un quantitativo importante (nel 2016 in Italia il 47,5% del RU) è necessario che ci sia una filiera di trattamento idonea, che possa smaltirlo attraverso la via più sostenibile possibile. Il RUR può essere trattato attraverso due principali tipologie di impianto: impianti di trattamento meccanico e biologico (TMB) e inceneritori. Non sono l'uno l'alternativa all'altro, anzi spesso sono pensati in sequenza, cercando così di ottimizzare il processo. La scelta su come organizzare tutto il trattamento è fortemente influenzata dalle caratteristiche del rifiuto in ingresso e dalle disponibilità impiantistiche.

### 2.3.1 Impianti di trattamento meccanico e biologico

Tra gli impianti classificati come di trattamento meccanico e biologico ce ne sono di molto differenti, con tecniche e finalità che rispondono a varie esigenze impiantistiche

e. Generalmente prevedono la combinazione di tecnologie di tipo meccanico (vagliatura, triturazione, separazione, raffinazione etc...) con processi biologici, come bioessiccazione e biostabilizzazione. I fattori che maggiormente influenzano la scelta sono la tipologia di rifiuto in ingresso e il prodotto finale desiderato. Le principali tipologie di impianto attualmente presenti e sviluppate sono tre: impianto di pretrattamento, impianto di produzione di combustibile solido secondario e impianto per il recupero di materiale.

- Impianto di pretrattamento: questa tipologia di impianto modifica la composizione del rifiuto in funzione di un successivo trattamento. Va a diminuire la putrescibilità della materia organica stabilizzandola e abbassando il tenore di umidità, se questo è destinato alla discarica o ne migliora le qualità energetiche, eliminando le frazioni inerti e dal basso PCI, se destinato a combustione o produzione di combustibile solido secondario.
- Impianti di produzione di combustibile solido secondario: questo impianto ha l'obiettivo di produrre da rifiuti non pericolosi un prodotto con migliori proprietà termiche (combustibile solido secondario), che sia in grado di essere smaltito attraverso incenerimento, con conseguente recupero energetico. A seconda dell'impianto a cui è destinato, il CSS deve possedere determinate caratteristiche regolamentate dalle norme UNI EN 15359, che ne misurano le sue qualità energetiche ed ambientali.
- Impianti per il recupero di materiale (material recovery facilities, MRF): sono progettati per il recupero di materia dal rifiuto. In funzione delle frazioni merceologiche interessate a recuperare, viene equipaggiato con determinate tecnologie, tra cui è solitamente compreso anche un trattamento biologico. Le frazioni recuperate vengono poi inviate a riciclo.

Lo scopo principale degli impianti di produzione di CSS è di garantirgli un PCI minimo, necessario il processo di combustione a cui è destinato. Questo processo passa inevitabilmente attraverso un trattamento biologico, che ne riduce il contenuto di umidità e frazione organica, e la separazione meccanica, che rimuove le frazioni con PCI nullo o molto basso. Altri parametri importanti che determinano la qualità del CSS sono il contenuto di mercurio e di cloro. Il primo è ritenuto un valido indicatore ambientale, a causa dell'elevata volatilità che ne determina il pressoché completo trasferimento nei fumi di combustione. Il cloro è invece il principale responsabile della corrosione da parte dei fumi di combustione nei confronti delle componenti dell'impianto. In fase di progettazione è necessario individuare tecnologie in grado di garantire un livello massimo di cloro, che sarà richiesto al combustibile in ingresso alla camera di combustione.

Gli impianti di trattamento meccanico-biologico presentano varie configurazioni, che influenzano la progettazione e la scelta delle tecnologie operanti al suo interno. Le principali sono le seguenti:

- Flusso separato: il rifiuto in ingresso viene separato attraverso vagliatura, così da isolare la frazione organica e inerte nel sottovaglio e la frazione con PCI maggiore nel sopravaglio. La frazione organica viene poi stabilizzata con processi biologici e inviata in discarica, mentre la frazione secca

combustibile subisce ulteriori trattamenti per poterla classificare come CSS e inviare a combustione.

- Flusso unico: tutto il rifiuto in ingresso viene stabilizzato biologicamente per ridurre il quantitativo di frazione organica ed umidità. In seguito, si procede con trattamenti meccanici che separano le componenti non combustibili del rifiuto stabilizzato e ne affinano le caratteristiche in previsione della successiva combustione. Così come per gli impianti a flusso separato, solitamente si separano le componenti metalliche ed inerti, come vetro e ceramica.
- Trattamento meccanico: generalmente riceve in ingresso rifiuto pretrattato biologicamente e già in parte raffinato. Presenta solo trattamenti meccanici che incrementano le caratteristiche fisico chimiche del rifiuto, aumentando il PCI del CSS finale e dandone la pezzatura desiderata.

Negli ultimi anni la tendenza osservata è quella di propendere verso la progettazione di impianti a flusso unico, che garantiscono un conferimento in discarica minore. L'aumento della diffusione della raccolta differenziata della frazione umida ha ulteriormente reso più conveniente questa scelta, essendo l'esigenza di trattamento biologico spinto meno stringente. Gli impianti di trattamento meccanico vengono spesso utilizzati a valle di impianti di pretrattamento o di produzione di CSS non molto efficienti, per garantire al prodotto in uscita le caratteristiche necessarie. Può essere scelto anche per la produzione di CSS di alta qualità, con PCI molto alto, perché destinato a centrali termoelettriche o a qualche utilizzo speciale.

### **2.3.2 Impianti di recupero energetico**

I trattamenti termici consistono in processi ossidativi ad alta temperatura, che modificano la composizione e la struttura del rifiuto, trasformandolo in molecole più semplici. Per lo smaltimento del RUR viene quasi unicamente utilizzato l'incenerimento. La sua applicazione è ormai largamente diffusa e gestita in maniera efficiente, rendendola un'ottima scelta per lo smaltimento di tutte le frazioni di rifiuto non riciclabili. Essa ne prevede una forte riduzione in massa, e la possibilità di incenerimento in seguito a pretrattamenti in impianti TMB o anche tal quale. Un vantaggio nell'impiego dell'inceneritore è rappresentato dal recupero del contenuto energetico del rifiuto, per la produzione di energia elettrica e calore. Vi sono varie tipologie di impianti, tra le quali le principali e presenti in Italia sono: termovalorizzatori con combustore a griglia, con combustore a letto fluido o dotato di combustore a tamburo rotante.

- Combustori a griglia: I forni a griglia rappresentano la tecnologia di combustione più consolidata e, pertanto, quella più diffusamente impiegata. Essi prevedono l'utilizzo di una griglia, il cui compito è di movimentare e mescolare i rifiuti durante il processo. Una volta posto il rifiuto sulla griglia, inizia il processo di combustione che dura tra i 30 e 60 minuti, con la frazione organica che viene ossidata. L'ossidazione avviene in eccesso di ossigeno, con insufflazione di aria primaria e secondaria. I gas di combustione rimangono nella camera di combustione tra i 2 e 5 secondi, tempo che permette la distruzione delle sostanze più pericolose, come diossine e furani. Il vantaggio di questo tipo di tecnologia è la possibilità di ricevere anche rifiuti tal quali, o



che hanno ricevuto pretrattamenti molto blandi. Un limite è rappresentato dal potere calorifico, che, se maggiore di 20 MJ/kg, può creare problematiche dovute al surriscaldamento della griglia. Questa deve avere un sistema di raffreddamento, che può essere di due tipi: ad aria o ad acqua. I sistemi ad acqua sono più recenti e permettono la combustione di materiale con PCI superiore (CSS, FSC). Le ceneri prodotte da questi impianti sono principalmente ‘pesanti’, con minime componenti di materiale incombusto.

- Combustori a letto fluido: Il combustore a letto fluido è costituito da una camera cilindrica verticale all’interno della quale è presente un materiale inerte, in genere sabbia, che, grazie ad una corrente ascensionale di aria, immessa attraverso una griglia sottostante, viene a costituire una sorta di letto in sospensione. Questa disposizione crea una forte turbolenza responsabile di un ottimo contatto tra aria e combustibile, permettendo una combustione continua e completa, eventualmente con un minore eccesso di aria. Il trattamento dei fumi è meno complesso e il rendimento energetico potenzialmente maggiore. Il rifiuto in ingresso deve però avere una pezzatura adeguata, per cui è imprescindibile prevedere dei pretrattamenti meccanico biologici al rifiuto. Generalmente in questi impianti si brucia CSS o FSC adeguatamente trattata. Gli impianti possono essere classificati in due distinte tipologie: letto fluido bollente (“Bubbling Fluidised Bed”, BFB) e letto fluido circolante (“Circulating Fluidised Bed”, CFB). Tra le due tipologie di impianti la differenza consiste nella velocità di fluidizzazione dell’aria, maggiore nei CFB, in cui vi è un ricircolo delle ceneri lasciate incombuste dalla grande turbolenza. I letti fluidi producono una maggiore quantità di ceneri volanti rispetto a quelle pesanti, che dovranno essere opportunamente separate dai gas in uscita dal camino.

Come detto in precedenza, oltre alla grossa riduzione della massa del rifiuto dovuta al processo di combustione, l’incenerimento permette il recupero dell’energia termica contenuta nel rifiuto stesso. I fumi in uscita dalla camera di combustione sono sfruttati per la produzione di vapore che, attraverso il classico ciclo Rankine, produce energia elettrica da utilizzare per i consumi dell’impianto e da immettere in rete. Per rendere più efficiente il sistema spesso si ricorre anche allo sfruttamento del calore prodotto, alimentando il teleriscaldamento delle abitazioni circostanti.

### 3 Gestione del rifiuto urbano in Puglia

#### 3.1 Produzione rifiuti e andamento raccolta differenziata in Puglia

La produzione totale di rifiuti urbani è influenzata dall'andamento della popolazione e dalla quantità di rifiuto pro capite. La Puglia nel 2016 registra una popolazione complessiva di 4.063.888 abitanti, dato negli ultimi anni stazionario, con una produzione di rifiuti urbani pro capite di 471,1 kg. Anche la produzione pro capite risulta negli ultimi anni sostanzialmente stabile, assestandosi su valori leggermente inferiori alla media nazionale, come tutte le regioni del Sud Italia. In Tabella 1 sono riportati i quantitativi di rifiuto urbano prodotti in Puglia negli ultimi anni.

Tabella 1 - Andamento produzione rifiuto urbano e raccolta differenziata in Puglia (Fonte: ISPRA)

Anno	Popolazione	RUR [t]	RD [t]	RU totale [t]	RU [kg/ab]	RD [kg/ab]	RD [%]
<b>2012</b>	4.050.072	1.624.639	347.790	<b>1.972.430</b>	487	85,9	<b>17,6</b>
<b>2013</b>	4.090.266	1.503.138	425.470	<b>1.928.609</b>	471,5	104,0	<b>22,1</b>
<b>2014</b>	4.090.105	1.416.006	493.741	<b>1.909.747</b>	466,9	120,7	<b>25,9</b>
<b>2015</b>	4.077.166	1.323.978	571.097	<b>1.895.075</b>	464,8	140,1	<b>30,1</b>
<b>2016</b>	4.063.888	1.257.880	656.438	<b>1.914.319</b>	471,1	161,5	<b>34,3</b>

Come risulta dai dati riportati, l'unico indicatore che presenta un cambiamento sensibile è la quantità di raccolta differenziata totale di ciascun anno, in costante crescita. Questo fattore, parallelamente alla stazionarietà della produzione totale di rifiuto, implica una grossa crescita del quantitativo di rifiuti raccolti attraverso la differenziata. Il livello raggiunto è ancora molto basso, uno dei minori d'Italia a livello regionale, ma con reali previsioni di crescita. Tra il 2012 e il 2016 la percentuale di raccolta differenziata è raddoppiata, determinando un forte calo nella produzione di rifiuto urbano residuo. All'interno della stessa Regione vi sono zone in cui la gestione del rifiuto urbano è più avanzata e sostenibile ma, allo stesso tempo, permangono comuni in cui la raccolta differenziata è ancora completamente assente o sotto il 10%. In Tabella 2 sono riportati i dati riguardo alle varie Province, che ne evidenziano le grosse differenze.

Tabella 2 - Produzione rifiuti urbani e raccolta differenziata per ciascuna Provincia, 2016 (Fonte: ISPRA)

Provincia	Popolazione	RU [t]	RU [kg/ab]	RD [t]	RD [%]
FOGGIA	628.556	273.102	434,5	68.821	25,2%
BARI	1.260.142	600.988	476,9	218.332	36,3%
TARANTO	583.479	290.064	497,1	85.483	29,5%
BRINDISI	397.083	184.209	463,9	90.639	49,2%
LECCE	802.082	388.267	484,1	103.647	26,7%
BAT	392.546	177.690	452,7	89.518	50,4%
<b>PUGLIA</b>	<b>4.063.888</b>	<b>1.914.319</b>	<b>471,1</b>	<b>656.438</b>	<b>34,3%</b>

La forte crescita degli ultimi anni risulta principalmente dovuta ad una veloce diffusione della raccolta differenziata della frazione organica domestica che, ad oggi, rappresenta la componente principale tra i flussi (37,5%). Per analizzare l'andamento della raccolta di ciascuna frazione, si possono confrontare i dati rappresentati in Figura 12, che ne riportano il quantitativo in tonnellate per ogni anno. È evidente la crescita esponenziale della FORSU e della carta che, fino al 2012, risultava la frazione più consistente. I rifiuti da costruzione e demolizione (C&D) e lo spazzamento stradale sono presenti solo dal 2016 perché in precedenza non erano classificati tra i flussi di raccolta differenziata.

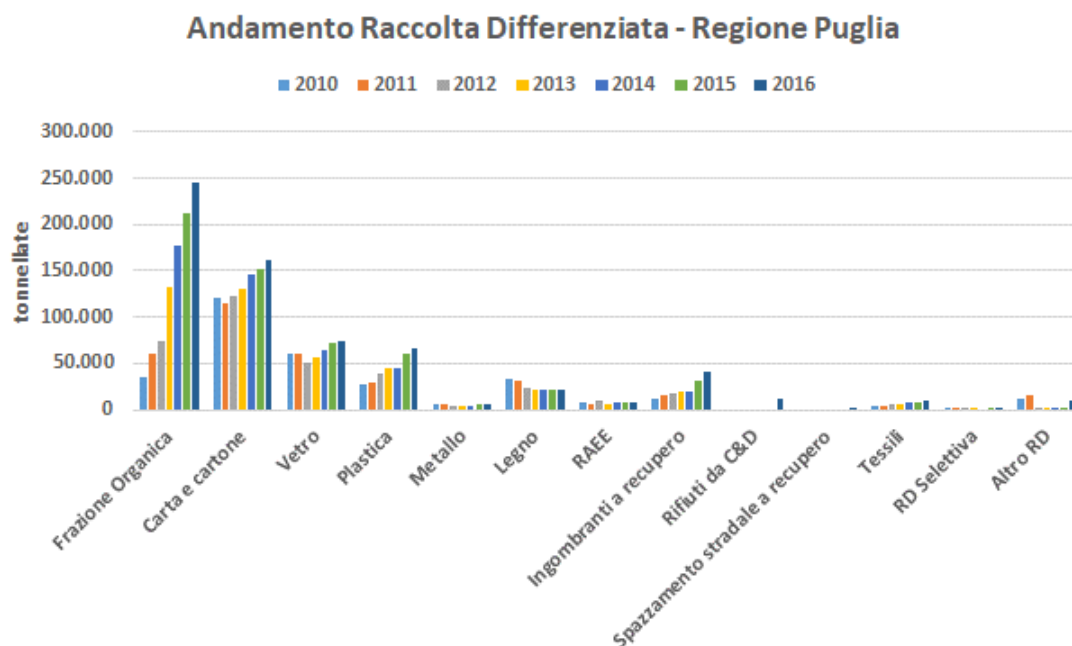


Figura 12 - Andamento raccolta differenziata (Fonte: ISPRA, Catasto rifiuti)

### 3.2 Parco impiantistico per il trattamento del rifiuto urbano residuo

I dati delle rielaborazioni e delle analisi effettuate per definire la filiera di trattamento del rifiuto urbano residuo, provengono da diverse fonti, che sono state opportunamente confrontate ed integrate. Queste sono:

- Edizione 2017 del “Rapporto Rifiuti Urbani” di ISPRA;
- I documenti allegati al nuovo PRGRU, redatti direttamente dalla Regione;
- “Osservatorio Regione Puglia”, un portale che raccoglie dati riguardo al trattamento dei rifiuti urbani direttamente dai Comuni;
- Relazioni annuali degli impianti, fornite direttamente dai gestori.

Tutti questi documenti sono stati necessari per redigere una valutazione preliminare sulla gestione del rifiuto urbano in Puglia. Oltre a quantificare il rifiuto trattato e ricostruire le sue varie fasi di trattamento, si è ulteriormente approfondita l'analisi, considerando tutto il ciclo, anche a livello dei singoli impianti. Per ciascuno di essi si sono definiti gli ingressi e i rendimenti di processo, così da poter caratterizzare

opportunamente anche i flussi in uscita. La prima fase dell'analisi ha come obiettivo la quantificazione degli impianti presenti sul territorio regionale.

La filiera impiantistica del rifiuto urbano indifferenziato pugliese è complessa e responsabile del trattamento di una grossa quantità di rifiuti, che nel 2016 è stata pari a 1.234.577 tonnellate. Gli impianti funzionanti si sono dimostrati sufficienti per ricevere tutto il rifiuto urbano residuo in ingresso, così da garantire che non vi fosse conferimento in discarica di primo destino, ma il sistema generale presenta ancora delle criticità.

Gli impianti di trattamento del RUR presenti in Puglia sono:

- Impianti di trattamento mecano biologico (TMB): questi sono impianti che prevedono sia una fase biologica che una meccanica di trattamento del rifiuto urbano residuo. Sono adibiti alla produzione di Frazione Secca Combustibile (FSC), destinata ad ulteriore trattamento in impianti TM per produzione di CSS. Il sottovaglio biostabilizzato viene conferito in discarica. Per semplificare verranno indicati semplicemente come impianti TMB.
- Impianti di trattamento meccanico biologico con produzione di CSS: questi impianti sono simili agli impianti TMB semplici, ma presentano anche la filiera di trattamento meccanico per la raffinazione di FSC a CSS all'interno dell'impianto stesso. Producono direttamente CSS, ma in questo studio vengono considerati insieme agli impianti TMB.
- Impianti di Trattamento Meccanico (TM): questi impianti non presentano trattamento biologico, ma ricevono in ingresso rifiuto già pretrattato, generalmente FSC. Il loro ciclo di trattamento può essere più o meno spinto, a seconda della raffinazione che necessita il CSS da produrre. Vengono qui indicati semplicemente come impianti TM.
- Impianti di incenerimento e co-incenerimento: quest'ultimi comprendono sia i termovalorizzatori che i cementifici per cui è prevista la co-combustione. Sono responsabili del recupero energetico del CSS prodotto.

Nel 2017 risultano attivi e funzionanti gli impianti rappresentati in Figura 13, indicati con il nome del comune di appartenenza. Tra questi, risultano:

- 9 impianti TMB semplici con produzione di FSC
- 2 impianti TMB con diretta produzione di CSS
- 4 impianti di TM
- 3 impianti di co-incenerimento, di cui un cementificio (Barletta) e due termovalorizzatori

Il termovalorizzatore di Manfredonia ETA è entrato in funzione nel Novembre del 2016, motivo per cui si può considerare effettivamente operativo solo dal 2017.

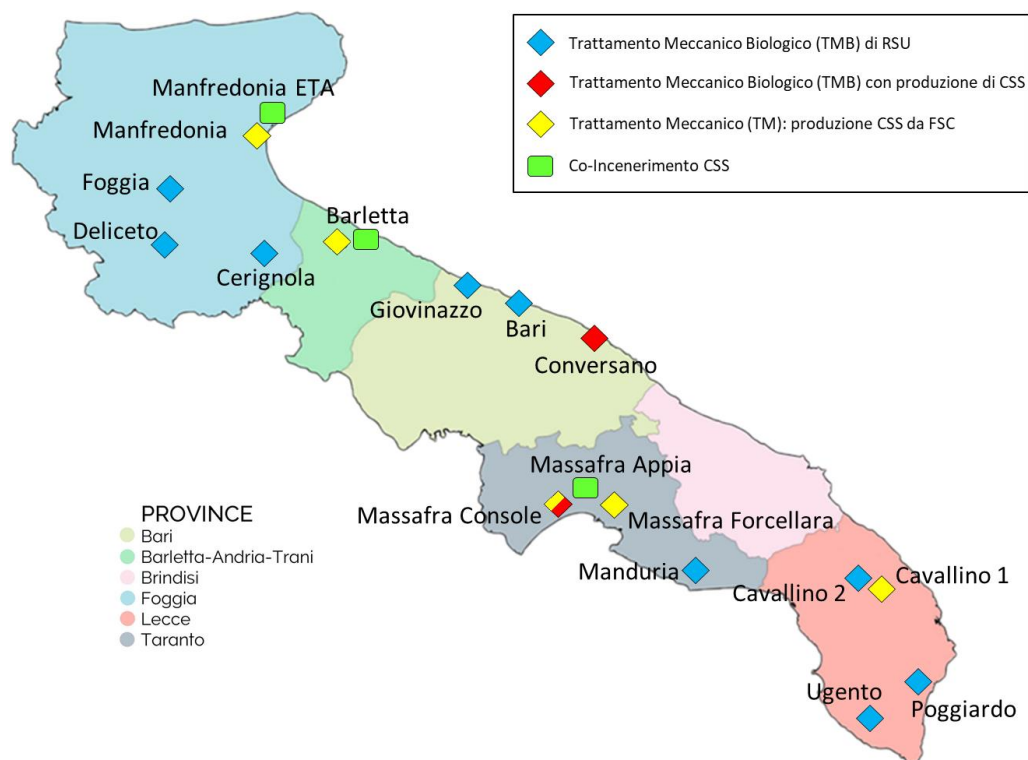


Figura 13 - Impianti di trattamento del rifiuto urbano residuo in Puglia

### 3.2.1 Impianti di Trattamento Meccanico Biologico

L'analisi dei flussi del trattamento del rifiuto urbano inizia dagli impianti TMB, responsabili della ricezione del rifiuto tal quale. In Tabella 3 sono elencati tutti gli impianti attivi nel 2016, con le relative capacità autorizzate e il quantitativo di rifiuto trattato. Quelli indicati come TMB-TM hanno diretta produzione di CSS.

Tabella 3 - Impianti TMB operativi nel 2016 in Puglia, dati in t/a

Comune	Provincia	Impianto	Società	Quantità autorizzata	Rifiuti trattati
Foggia	FG	TMB	AMIU Puglia spa	182.500	<b>153.027</b>
Deliceto	FG	TMB	Biwind srl	36.500	<b>69.837</b>
Cerignola	FG	TMB	SIA Consorzio	60.000	<b>69.718</b>
Bari	BA	TMB	AMIU Puglia spa	146.000	<b>192.537</b>
Manduria	TA	TMB	Manduriambiente spa	90.000	<b>9.064</b>
Cavallino	LE	TMB	Ambiente e Sviluppo scarl	171.380	<b>126.631</b>
Ugento	LE	TMB	Progetto Lecce Tre srl	131.040	<b>62.924</b>
Poggiardo	LE	TMB	Progetto Lecce Due srl	171.600	<b>132.360</b>
Giovinazzo	BA	TMB	Daneco impianti spa	116.800	<b>6.362</b>
Conversano	BA	TMB-TM	Progetto Bari Cinque srl	171.550	<b>176.300</b>
Massafra Console	TA	TMB-TM	C.I.S.A. spa	110.000	<b>235.817</b>
<b>TOT</b>	---	---	---	1.387.370	<b>1.234.577</b>

Tra gli impianti attivi nel 2016 risulta anche quello di Giovinazzo, non più operativo nel 2017, che, essendo già in fase di chiusura, ha trattato solo 6.362 tonnellate. La

quantità di rifiuto trattata dall'impianto di Massafra Console è di molto maggiore rispetto alla capacità autorizzata per uno stato di emergenza. È stata emessa dalla Regione una modifica temporanea alla capacità autorizzata, aumentata a 245.000 t/a, per sopperire allo spegnimento dell'inceneritore di Statte (TA), responsabile di smaltimento attraverso combustione di rifiuto tal quale. Inoltre, l'impianto non ha prodotto CSS, come da progetto, ma ha conferito tutti i flussi prodotti in uscita in discarica.

L'analisi dei dati ha permesso di definire i flussi in uscita da ciascun impianto, sia in termini di quantità che di composizione. In Tabella 4 si riportano i valori, insieme alla media regionale.

Tabella 4 - Rendimenti di trattamento degli impianti TMB, 2016

Impianto	Discarica [%]	19.12.12 [%]	19.12.10 [%]	Rec. Materia [%]	P.Processo [%]
Foggia	83,4	0	0	0,04	16,6
Deliceto	82,7	0	0	0,02	17,3
Cerignola	91,2	0	0	0,01	8,8
Bari	81,8	0	0	0,37	17,8
Manduria	78,3	0	0	0,24	21,5
Cavallino	33,5	34,4	0	0,33	31,8
Ugento	27,8	42,8	0	1,09	28,3
Poggiardo	24,1	41,7	0	1,82	32,4
Massafra Console	91,0	0	0	0,99	8,0
Conversano	33,7	0	43,6	1,06	21,7
<b>TOTALE REGIONE</b>	63,6	10,2	6,2	0,7	19,3

La seconda colonna indica il flusso totale in uscita da ciascun impianto conferito in discarica, qualunque sia il suo CER. Il CER 19.12.12 indica la frazione secca combustibile, destinata ad ulteriore trattamento in impianti TM per la produzione di combustibile solido secondario (CER 19.12.10). Il recupero di materia è essenzialmente composto dalle frazioni di metalli ferrosi e non ferrosi, mentre le perdite di processo comprendono sia l'evaporazione che il percolato. Risultano marcate le differenze di rendimento tra gli impianti che producono FSC e quelli che invece producono solo scarti da inviare in discarica, che risultano così elevati perché comprendono anche l'eventuale frazione di FSC che non ha impianti in cui essere trattata.

### 3.2.2 Impianti di Trattamento Meccanico

Gli unici impianti per il recupero energetico del rifiuto urbano presenti nella Regione Puglia sono progettati per smaltire combustibile solido secondario, motivo per cui, si rende necessario prevedere un ulteriore trattamento al rifiuto in uscita dagli impianti TMB. Come evidenziato nel Paragrafo precedente, solo due impianti sono progettati per la produzione diretta di CSS da rifiuto urbano indifferenziato tal quale, mentre la rimanente parte presenta trattamenti il cui flusso in uscita è FSC, perciò è necessario inviarli ad ulteriore trattamento in impianti TM. In Puglia gli impianti presenti operativi per il trattamento meccanico sono elencati in Tabella 5.

Tabella 5 - impianti TM funzionanti in Puglia nel 2016, dati in t/a

Comune	Provincia	Società	Quantità autorizzata	Rifiuti trattati
<b>Manfredonia</b>	FG	Progetto Ambiente Foggia srl	135.707	<b>443</b>
<b>Barletta</b>	BAT	Dalena Ecologia srl	60.000	<b>32.390</b>
<b>Massafra Forcellara</b>	TA	C.I.S.A. spa	80.000	<b>51.952</b>
<b>Massafra Console</b>	TA	C.I.S.A. spa	50.000	<b>0</b>
<b>Cavallino</b>	LE	Progetto Ambiente Lecce srl	165.739	<b>125.643</b>
<b>TOT</b>	---	---	491.446	<b>210.428</b>

L'impianto di Barletta fornisce esclusivamente il cementificio adiacente, che nel 2016 ha smaltito CSS prodotto da plasmix (CER 19.12.04), ovvero gli scarti del riciclo della raccolta differenziata della plastica. Per questo motivo il contributo dell'impianto TM nella gestione e smaltimento del rifiuto urbano è nullo e i rifiuti trattati non sono provenienti dal RUR. Per quanto riguarda l'impianto di Manfredonia, l'esigua quantità di rifiuto trattata è dovuta al fatto che l'impianto è entrato in funzione nel Novembre 2016, e l'avviamento necessita di un periodo di rodaggio a basso regime. Invece, l'impianto di Massafra Forcellara ha svolto solo raffinazione della pezzatura, trasformando il CSS in ingresso, che si presenta sotto forma di fluff, in CSS addensato; questo comporta che non contribuisca al trattamento della FSC e alla produzione di CSS. L'impianto di Massafra Forcellara è dotato anche di un sito di stoccaggio con capacità pari a 80.000 t/a, sfruttato per la gestione del CSS in situazioni critiche di accumulo. L'impianto di Massafra Console, invece, è interno al TMB ma, a causa della temporanea situazione di emergenza, non ha svolto la sua funzione di impianto TM, ma è stato impiegato solo per smaltire il RUR in ingresso, di cui i flussi in uscita sono stati unicamente conferiti in discarica. Questo ha conseguito una produzione di CSS nulla. L'unico impianto che ha operato ricevendo in ingresso FSC prodotta dai TMB, è stato Cavallino.

Gli impianti TM hanno un conferimento in discarica molto minore rispetto ai TMB, per la differente natura dei trattamenti che attuano al materiale in ingresso. In Tabella 6 sono riportate le percentuali di suddivisione dei flussi in uscita dai singoli impianti, che hanno operato all'interno della gestione del rifiuto urbano residuo come TM.

Tabella 6 - Rendimenti di trattamento degli impianti TM, 2016

Impianto	Discarica [%]	CSS [%]	Rec. Materia [%]	P.Processo [%]
<b>Cavallino</b>	9,0	87,9	1,36	1,7
<b>Massafra Forcellara</b>	1,0	96,7	0,39	1,9
<b>Manfredonia</b>	18,7	76,0	2,56	2,7
<b>TOTALE REGIONE</b>	6,7	90,5	1,1	1,7

### 3.2.3 Impianti di recupero energetico

In Puglia gli impianti di incenerimento di rifiuto urbano con recupero energetico sono solo tre, di cui uno è un cementificio mentre, gli altri due, sono unicamente dedicati allo smaltimento di rifiuti. In Tabella 7 sono elencati e si indicano le capacità autorizzate e la quantità di rifiuto effettivamente trattata nel 2016.

Tabella 7 - Impianti di recupero energetico funzionanti in Puglia nel 2016, t/a

Impianto	Provincia	Società	Quantità autorizzata	Rifiuti trattati	Produzione [MWh]
<b>Massafra</b>	TA	Appia Energy srl	100.000	<b>49.797</b>	41.398
<b>Manfredonia</b>	FG	ETA Energie Tecnologie Ambiente srl	147.000	<b>128.609</b>	117.337
<b>Barletta</b>	BAT	Buzzi srl	65.000	<b>29.264</b>	---
<b>TOT</b>	---	---	312.000	<b>207.670</b>	158.735

L'impianto di Massafra ha registrato un funzionamento molto ridotto a causa di numerose fermate non previste, che hanno inevitabilmente ridotto il quantitativo totale di CSS bruciato e smaltito. Il cementificio di Barletta effettua co-combustione di CSS ma non produce energia elettrica, poiché utilizza l'energia termica del combustibile per il processo di produzione del cemento. Essendo però il mercato di quest'ultimo in forte crisi, la produzione dell'impianto è più che dimezzata, con un conseguente minor smaltimento di rifiuto. Inoltre, come spiegato in precedenza, il cementificio riceve esclusivamente dall'impianto TM di Barletta, che non produce CSS da rifiuto urbano residuo, ma da scarti della plastica, motivo per cui lo si può escludere dalla filiera di gestione del RUR.

La definizione delle quantità di CSS conferito ai due impianti di termovalorizzazione è stata la partenza per tracciare i flussi di rifiuto all'interno della complicata filiera di trattamento pugliese. Le schede annuali degli impianti, infatti, forniscono sempre l'origine del rifiuto trattato, ma presentano dati incompleti riguardo agli impianti a cui inviano i flussi in uscita. Dopo aver eliminato tutti gli impianti TMB che conferiscono unicamente in discarica, si è cercato di ricostruire a ritroso i vari flussi lungo tutto il processo di trattamento, fino allo smaltimento del CSS. La Figura 14 è una rappresentazione qualitativa dei flussi per l'anno 2016. Gli impianti sono stati rappresentati a seconda del trattamento effettivamente svolto nell'anno 2016. I flussi tratteggiati sono quelli relativi all'impianto TM di Manfredonia, la cui entrata in funzione effettiva può essere considerata nell'anno 2017. Senza considerare questi flussi, gli impianti TMB che non conferiscono in alcun impianto TM, ma unicamente in discarica, risultano ancora la maggior parte, rendendo ancora critica la gestione del rifiuto urbano residuo. È evidente come la mancanza di sufficienti recettori finali per il CSS determini un'inevitabile cattiva gestione generale, che comporta anche la percorrenza di grosse distanze da parte del rifiuto.



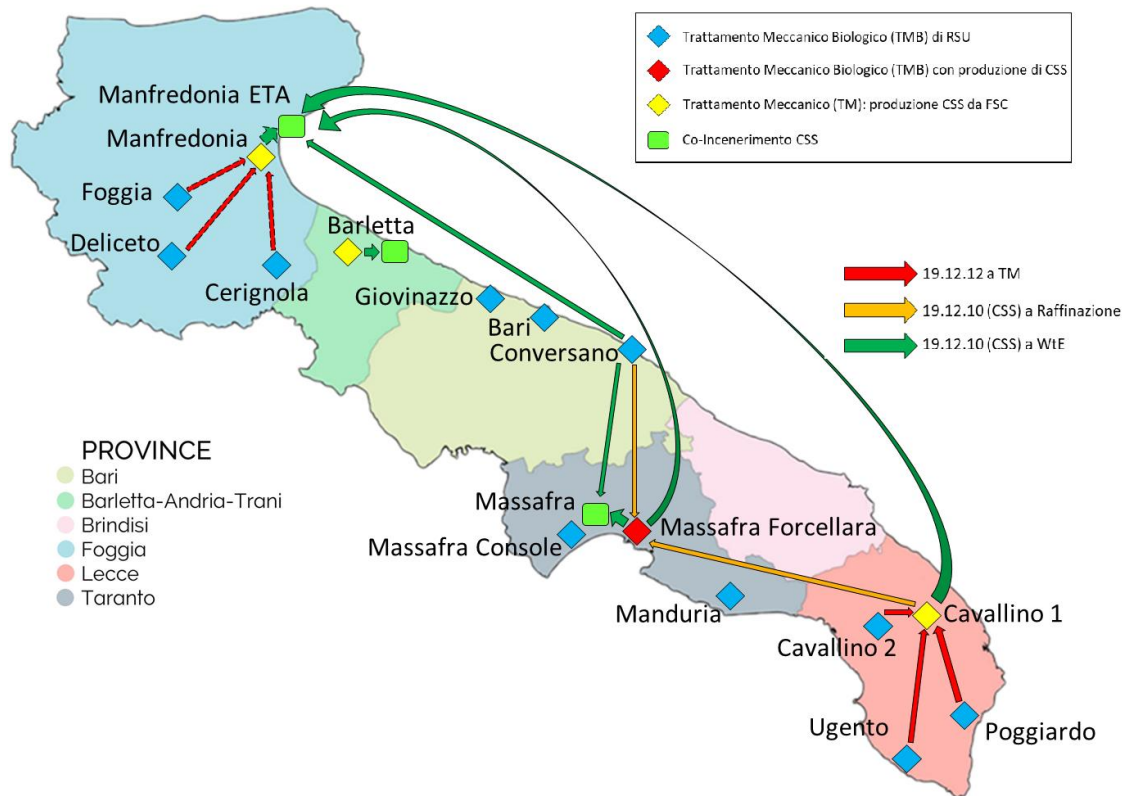


Figura 14 - Schema qualitativo flussi rifiuto urbano residuo, 2016

## 4 Analisi flussi regionali

### 4.1 Ricostruzione dei flussi all'anno 2016

La conoscenza dei flussi in ingresso e uscita da ogni singolo impianto della Regione Puglia ha permesso di fare una ricostruzione completa del percorso del rifiuto urbano indifferenziato trattato. Integrando i dati forniti dai singoli impianti con quelli della regione ed il rapporto ISPRA, è stato possibile armonizzare i flussi, individuando esattamente ogni singolo passaggio della complessa filiera di trattamento del RUR.

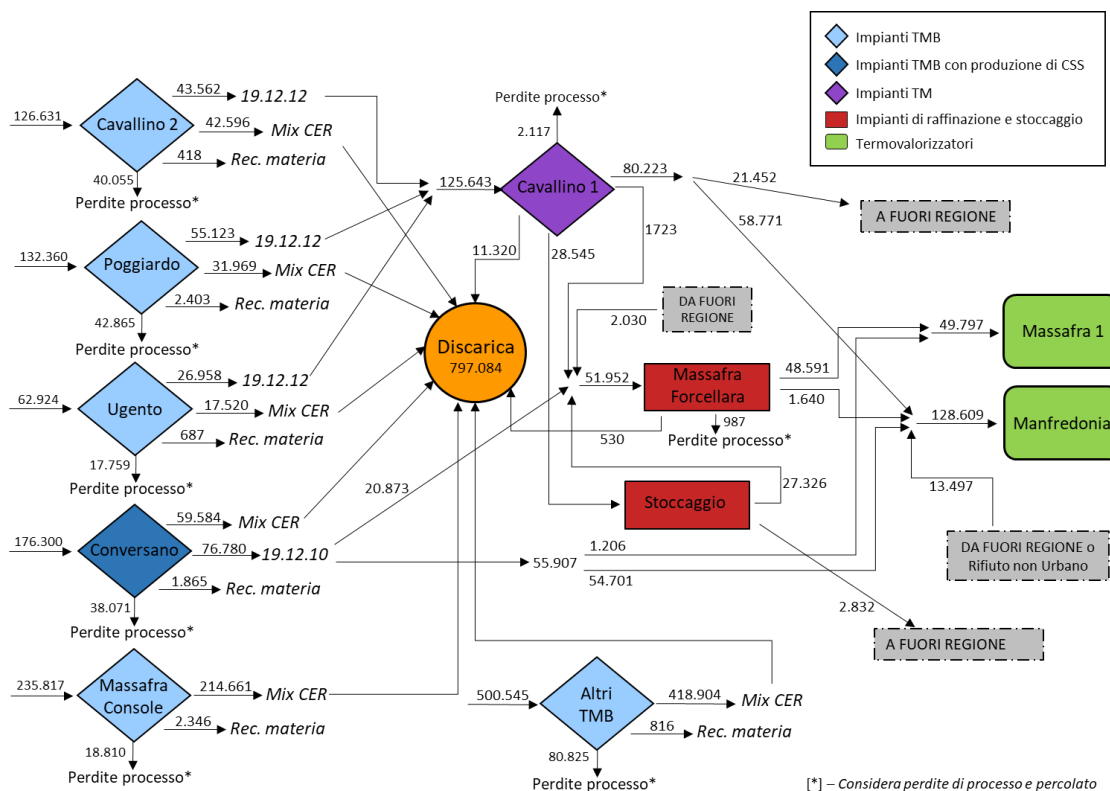


Figura 15 - Ricostruzione flussi regionali, anno 2016 [t/a]

In Figura 15 sono schematizzati tutti i flussi di rifiuto urbano residuo e suoi sottoprodotti. Sono stati evidenziati gli impianti di maggiore interesse, responsabili di una gestione del rifiuto più efficiente. Invece, tutti gli impianti che conferiscono unicamente in discarica, sono stati accorpati a formare un unico flusso. Per procedere con l'analisi, i vari impianti di trattamento sono stati raggruppati a seconda delle tecnologie operanti al loro interno e del tipo di materiale in ingresso (Figura 16). Questo ha permesso di avere una visione più di insieme, descrittiva del funzionamento complessivo della filiera del rifiuto urbano in tutta la Regione. Tutti gli impianti che prevedono un trattamento sia meccanico che biologico sono stati uniti nella categoria "TMB". Essi ricevono in ingresso rifiuto tal quale e attuano un'importante fase biologica per ridurre il contenuto organico e la percentuale di umidità. Gli impianti che presentano solo trattamento meccanico, che sia classico o solo di raffinazione, sono stati riuniti nella categoria "TM". Questi ricevono in ingresso rifiuto già trattato.

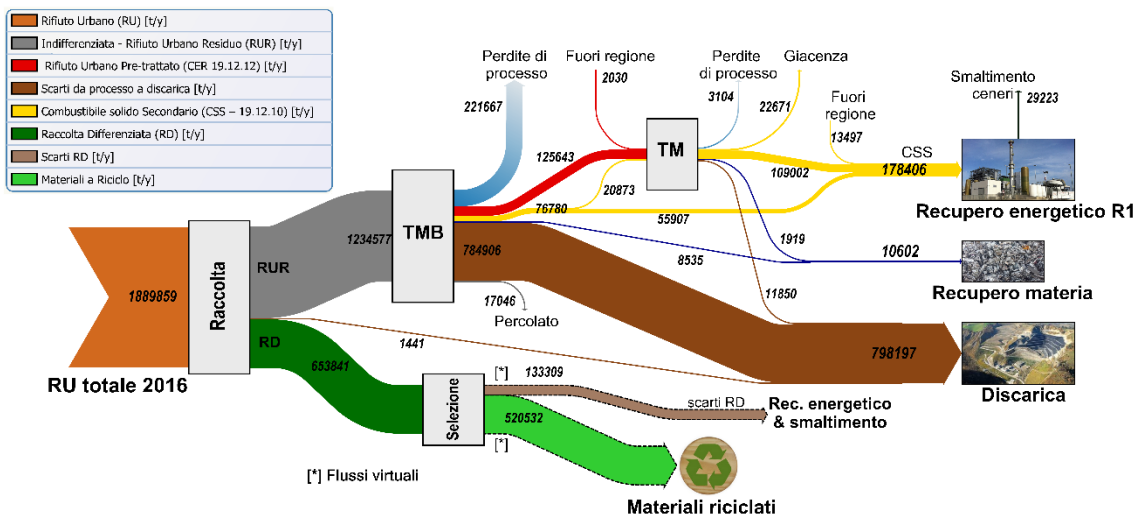


Figura 16 - Flusso generale dei rifiuti urbani in Puglia, anno 2016 [t/a]

Il flusso di raccolta differenziata è tratteggiato, perché, diversamente dal ciclo del rifiuto urbano residuo, è solo una rappresentazione schematica ipotizzata, inserita per fornire una visione complessiva della gestione del rifiuto urbano. Le varie frazioni della RD sono state accorpate e fatte confluire in un generico impianto di selezione, che genera un flusso di materiale a riciclo effettivo e una frazione di scarto. Sono dunque da considerarsi come flussi virtuali, infatti non rappresenta la situazione direttamente riscontrata in Puglia, ma rappresenta la media italiana.

I destini finali dei flussi, trattati o semplicemente separati, sono quindi espressi in termini generali e non di impianto specifico. Il trattamento del RUR prevede tre diversi destini finali: il recupero energetico (R1), il recupero di materiale e la discarica. Il recupero energetico è previsto per il CSS prodotto in uscita da impianti TMB e TM. Il recupero materiali è costituito da flussi separati nei vari processi di raffinazione del RUR, principalmente frazioni metalliche ferrose e non ferrose. Infine, lo smaltimento in discarica è destinato a quelle frazioni non utilizzabili altrimenti. Per il ciclo della RD il flusso di scarti può avere come destino finale lo smaltimento in discarica o la possibilità di recupero energetico, mentre la frazione pronta per il riciclo sarà poi processata dagli impianti adibiti alla produzione di materia prima da materiale di scarto.

Per definire il valore numerico di ciascun flusso si è fatto riferimento al bilancio che era stato costruito in precedenza, illustrato in Figura 15, redatto sulla base di dati dell'osservatorio Regione Puglia, di ISPRA e degli impianti stessi. Tra di loro gli impianti presentavano alcune piccole incongruenze, risolte con un'armonizzazione dei dati, per poter chiudere il bilancio completo. La regola generale è stata quella di fissare come valore reale il dato in ingresso di ciascun impianto, riportandolo poi uguale al dato di uscita dell'impianto di provenienza. Quando questo non è stato possibile per mancanza del dato di ingresso o di provenienza, si è mantenuto quello disponibile. Con questo principio è stato fissato il quantitativo di RSU in ingresso, somma della frazione di raccolta differenziata e indifferenziata. Il rifiuto urbano residuo totale è la risultante di tutti i quantitativi trattati dai singoli impianti TMB, opportunamente sommati. Il valore per ciascuno di essi è stato acquisito dai dati forniti dagli impianti stessi quando disponibili, altrimenti dal rapporto ISPRA. I flussi di

materiale a recupero, in discarica e del percolato sono la somma del dato in uscita fornito da ciascun impianto.

Le perdite di processo di ciascun impianto sono calcolate come chiusura del bilancio. Il valore espresso nello schema di Figura 16 è la sommatoria delle perdite di processo di tutti gli impianti, così da avere un valore unico per ciascuna tipologia (TMB e TM). Il termine giacenza in uscita dal TM comprende sia un flusso inviato fuori regione, che la differenza tra ingressi e uscite all'impianto di stoccaggio CISA s.p.a., che svolge una funzione da polmone per vari impianti collegati ad esso.

Tabella 8 - Calcoli flussi di scarti da raccolta differenziata, anno 2016

Raccolta differenziata	flusso RD [t/y]	Scarto [%]	Flusso scarto [t/y]
Organico	215.001	36	77.400
Carta e cartone	155.727	14	21.802
Vetro	71.271	8	5.702
Plastica	40.872	50	20.436
Metalli	3.887	21	816
Legno	20.803	14	2.912
Verde	28.271	15	4.241
TOT	535.832	20	133.309

Per determinare la frazione di RD si è fatto riferimento ai dati forniti dall'osservatorio della Regione. La percentuale di scarto complessiva presente nel grafico è il risultato della somma degli scarti di ciascun flusso di differenziata (organico, plastica, vetro ecc...). Il loro valore in percentuale è stato ipotizzato pari ai dati medi nazionali <sup>2</sup>, affinati con dati di impianti di Selezione e di Raccolta pugliesi. Nella Tabella 8 sono mostrati i flussi di ciascuna frazione di raccolta differenziata in termini assoluti, la percentuale di scarto di ognuna e il valore in t/a di scarto calcolato. Nel 2016, la raccolta differenziata è stata pari al 34,6%.

Sommando tutti i flussi di scarti, risultano 133.309 tonnellate per l'anno 2016, pari a circa il 20% della raccolta differenziata totale. È evidente come la componente più importante sia l'organico, mentre la plastica rappresenta la frazione con più scarto. Questo è generalmente chiamato plasmix, ovvero l'insieme dei rifiuti da imballaggio in plastica residui dal processo di selezione della raccolta differenziata urbana, il cui destino può essere quello di invio a terzi autorizzati, per la trasformazione in "Combustibile Alternativo" e quindi successivo recupero energetico, oppure semplice conferimento in discarica. Spesso in letteratura si ritrovano valori di scarti riferiti ai metalli suddivisi tra alluminio e altri metalli ferrosi. Non essendo questi classificati indipendentemente nei dati della Regione, si è deciso di assumere un valore di scarto medio tra i due, comunque generalmente molto simili. Si sottolinea come gli scarti delle altre categorie merceologiche della RD quali Tessili, Ingombranti, RAEE, Inerti, Spazzamento stradale e la voce "Altro" non siano state considerate in questo calcolo, in quanto trascurabili o con percentuali di scarto non facilmente reperibili in letteratura.

## 4.2 Osservazioni e criticità

Dall'analisi dei flussi del 2016 il dato più evidente è l'elevata quantità di materiale ancora destinato alla discarica. Sebbene sia stato raggiunto l'obiettivo di azzerare il conferimento in discarica di primo destino, cioè senza che il rifiuto subisca pretrattamenti, questi producono ancora un grosso flusso di scarti. Questi sono quasi inevitabilmente conferiti in discarica, in cui viene smaltito circa il 65% del RUR trattato. Rispetto ai rifiuti urbani totali prodotti, la percentuale destinata alla discarica risulta di circa il 42%, senza tuttavia tenere conto degli scarti provenienti dalla raccolta differenziata. Di questi una frazione sarà sicuramente destinata al recupero energetico (plastica) ma per la maggior parte non c'è una valida alternativa.

Tabella 10 - Efficienza di produzione media per impianti TMB, anno 2016

Rendimento output TMB	%
Produzione 19.12.12	10,2%
produzione 19.12.10	6,2%
Perdite di processo	19,3%
Recupero materiali	0,7%
Flusso a discarica	63,6%
<b>TOTALE</b>	<b>100,0%</b>

Tabella 9 - Efficienza di produzione media per impianti TM, anno 2016

Rendimento output TM	%
produzione 19.12.10	90,5%
Perdite di processo	1,7%
Recupero materiali	1,1%
Flusso a discarica	6,7%
<b>TOTALE</b>	<b>100,0%</b>

Le tabelle 9 e 10 mostrano la ripartizione percentuale media dei flussi in uscita dagli impianti TMB e TM pugliesi. Risulta evidente che la criticità maggiore è legata agli impianti TMB, che presentano valori estremamente bassi di produzione di FSC (CER 19.12.12), così come di separazione di materiali mandati a recupero e perdite di processo. La prima criticità è sicuramente il trattamento biologico, non sempre efficiente come da progetto. Con un livello di differenziata ancora basso e una raccolta della frazione organica domestica non ancora totalmente diffusa, si prospettano perdite di processo maggiori, necessarie per ridurre il tenore di putrescibilità e umidità. La stessa osservazione si può fare per il recupero di materiale. In generale gli impianti sono progettati per intercettare unicamente i metalli, che costituiscono circa il 4% del flusso in ingresso; a maggior ragione se l'intercettazione di alluminio e metalli ferrosi attraverso la raccolta differenziata è bassa, rispettivamente, pari al 20% e 40%. Il problema principale è rappresentato da tutti quegli impianti di trattamento meccanico-biologico che, sebbene trattino il rifiuto e siano nominalmente in grado di produrre un flusso di FSC, non hanno possibilità di inviarla a raffinazione per mancanza di impianti. Gli unici impianti progettati per il trattamento della FSC in funzione nel 2016 sono Cavallino 1 e Massafra Forcellara, che ha in realtà svolto solo funzione di raffinazione della pezzatura. A questi si aggiunge anche Massafra Console, che in teoria è autorizzato sia alla produzione diretta di CSS da rifiuto tal quale, sia al trattamento della FSC per inviarla sempre come CSS, ai termovalorizzatori. L'impianto ha però svolto solo un trattamento preliminare di tipo biologico e meccanico, con completo conferimento in discarica degli output di processo, per una situazione regionale di emergenza. La mancanza di impianti operativi adibiti al trattamento meccanico ha comportato che molti TMB abbiano classificato la FSC prodotta mediante codici CER il cui destino è la discarica, e che

non abbiano effettuato trattamenti ottimali, poiché non interessati alla qualità del flusso in uscita. Il risultato del sistema è quindi un conferimento in discarica doppio rispetto ai valori di progetto. Questa criticità non sarebbe comunque risolta con l'ampliamento della capacità di trattamento di impianti TM, perché l'insufficiente capacità di trattamento sarebbe presente anche per lo smaltimento del CSS nei termovalorizzatori.

Gli impianti TM, invece, presentano efficienze in linea con le tecnologie utilizzate, alle volte anche superiori. Questo perché la composizione del rifiuto in ingresso agli impianti è di buona qualità, in parte già CSS, che necessita solo di raffinazione, con produzione di scarti quasi nulla. Il CSS in ingresso ai TM proviene dall'impianto di Conversano (TMB con diretta produzione di CSS), che ne invia una parte ad ulteriore trattamento, oltre ad una percentuale dell'output di Cavallino 1. L'organizzazione della filiera in alcuni casi prevede addirittura tre passaggi di raffinazione, risultando, oltre che inefficiente, anche complessa. In generale, il sistema regionale presenta un'efficienza media di produzione di CSS molto bassa, pari al 15%. Questa è stata calcolata come il quantitativo di CSS prodotto in uscita dagli impianti pugliesi diviso per la quantità di RUR in ingresso.

Nel calcolo delle perdite di processo l'evaporazione e il percolato sono state unite. Anche le ceneri provenienti dalla combustione del CSS sono generalmente smaltite in discarica. Tuttavia, trattandosi di discariche dedicate, essendo le ceneri pesanti classificate come rifiuto speciale, si è deciso di non includere il loro apporto nel flusso complessivo conferito in discarica. Questa assunzione rimane valida anche nell'ipotesi in cui le ceneri vengano recuperate e utilizzate come materiale di recupero.

### **4.3 Confronto con flussi del 2017**

La ricostruzione dei flussi relativi al trattamento dei rifiuti urbani è stata svolta anche per l'anno 2017, cercando di mantenere le analoghe ipotesi e assunzioni della stesura di quelli del 2016. Non essendo ancora stati pubblicati i rapporti ISPRA sui rifiuti urbani per l'anno 2017, né le rielaborazioni della Regione, si è fatto affidamento sui dati forniti dai singoli impianti. Quando questi non erano presenti sono stati assunti i dati calcolati per l'anno precedente. Il bilancio complessivo è espresso graficamente in Figura 17. I flussi relativi alla raccolta differenziata sono stati calcolati in base all'anno precedente, per cui sono state assunte le stesse percentuali di scarto del 2016, però applicate ai quantitativi in tonnellate di ciascun flusso riferiti all'anno 2017, avendo disponibili i dati dell'osservatorio regionale. La giacenza è la differenza tra il CSS prodotto e quello effettivamente trattato dagli impianti di termovalorizzazione pugliesi, che comprende una frazione stoccata nell'impianto CISA s.p.a. e una presumibilmente inviata fuori regione.

La quantità di rifiuto urbano prodotto nel 2017 è stata calcolata come per il bilancio del 2016. Il RUR è dato dalla somma degli ingressi a ciascun impianto TMB, che ne trattano la totalità, mentre il flusso totale di raccolta differenziata è fornito dall'osservatorio della Regione. Risulta una produzione di RU molto simile all'anno precedente (1.889.166 t nel 2017 rispetto a 1.889.859 t per il 2016) ma con una percentuale di raccolta differenziata maggiore, che passa dal 34,6% al 36,5%. Questo comporta una riduzione di circa 35.000 t di RUR da trattare.

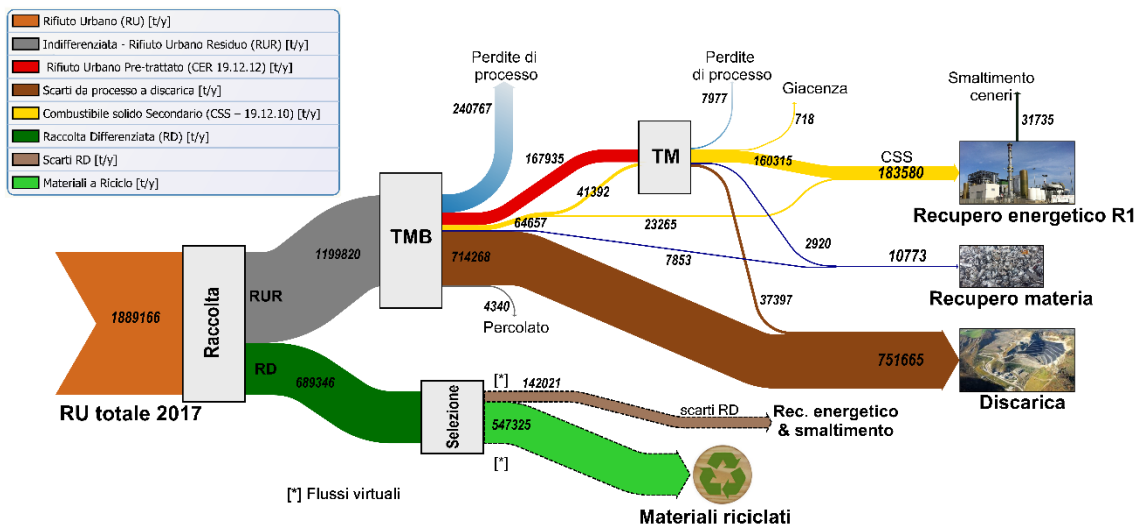


Figura 17 - Flusso generale dei rifiuti urbani in Puglia, anno 2017 [t/a]

In Tabella 11 sono mostrate le percentuali dei quantitativi in uscita dagli impianti TMB, sia per il 2016 che per il 2017, il cui totale è pari al quantitativo di RUR totale in ingresso a tutti gli impianti. Il bilancio del 2017 mostra alcuni miglioramenti rispetto all'anno 2016, sebbene non sostanziali.

Tabella 11 - rendimento medio per gli impianti TMB, anni 2016 e 2017

Rendimento output TMB	2016 [%]	2016 [t/y]	2017 [%]	2017 [t/y]
Produzione 19.12.12	<b>10,2%</b>	125.643	<b>14,0%</b>	167.935
Produzione 19.12.10	<b>6,2%</b>	76.780	<b>5,4%</b>	64.657
Perdite di processo	<b>19,3%</b>	238.713	<b>20,4%</b>	245.107
Recupero materiali	<b>0,7%</b>	8.535	<b>0,7%</b>	7.853
Flusso a discarica	<b>63,6%</b>	784.906	<b>59,5%</b>	714.268
TOTALE	100,0%	<b>1.234.577</b>	100,0%	<b>1.199.820</b>

Le differenze si devono soprattutto all'entrata in funzione, anche se parziale, dell'impianto TM a Manfredonia. Questo ha permesso di aumentare la capacità di trattamento della FSC, in buona parte ancora destinata a smaltimento in discarica. Questo ha comportato una maggior quantità di FSC in uscita dagli impianti, non per un'effettiva produzione maggiore, ma per la possibilità di classificarla come tale (Codice CER 19.12.12) ed inviarla ad ulteriore raffinazione invece che in discarica. La resa di produzione risulta del 14% nel 2017 rispetto al 10,2% dell'anno precedente. Gli impianti responsabili di rifornire il TM di Manfredonia (quelli situati a Deliceto, Foggia e Cerignola) hanno anche dovuto aumentare la l'efficienza del trattamento biologico, per rispondere agli standard qualitativi in ingresso richiesti dall'impianto TM. In precedenza, essendo obbligati a conferire il rifiuto trattato in discarica, non subivano controlli sulla qualità del trattamento, motivo per cui risulta anche un leggero aumento delle perdite di processo tra i due anni. Il risultato di questi cambiamenti è un conferimento minore in discarica, diminuito sia in termini percentuali che assoluti.

Analizzando il rendimento degli impianti TM ne risulta invece un sensibile peggioramento, con un maggiore flusso a discarica a scapito della produzione di CSS.

Quest'ultima in termini assoluti è rimasta invariata, tenendo però in considerazione l'entrata in funzione del TM di Manfredonia, responsabile di una produzione di CSS pari a 38.000 t nel 2017. Per questo motivo la percentuale di CSS prodotto sul rifiuto totale in ingresso ha subito una sensibile diminuzione. Questo risultato è in realtà dovuto a due cause specifiche. In primis, il nuovo impianto ha avuto bisogno di un periodo di rodaggio iniziale in cui è stato anche rifornito con rifiuto non trattato ottimamente. Questo ha determinato una produzione di scarti maggiore, che ha abbassato la media globale. Inoltre, l'impianto di Cavallino 1 ha interrotto il funzionamento per due mesi a causa di una fermata imprevista, durante i quali è stato costretto a conferire il rifiuto ricevuto direttamente in discarica di servizio, perché impossibilitato a trattarlo. Poiché questo quantitativo è stato classificato come scarto a discarica, è stata notevolmente abbassata l'efficienza di produzione di CSS dell'impianto, e quindi quella media regionale.

Tabella 12 - Efficienze di trattamento medie per gli impianti TM, anni 2016 e 2017

Rendimento output TM	2016 [%]	2016 [t/y]	2017 [%]	2017 [t/y]
Produzione 19.12.10	<b>90,5%</b>	160.722	<b>76,9%</b>	161.033
Perdite di processo	<b>1,7%</b>	3.104	<b>3,8%</b>	7.977
Recupero materiali	<b>1,1%</b>	1.919	<b>1,4%</b>	2.920
Flusso a discarica	<b>6,7%</b>	11.850	<b>17,9%</b>	37.397
TOTALE	100,0%	<b>177.595</b>	100,0%	<b>209.327</b>

L'efficienza di produzione di CSS, intesa come combustibile prodotto diviso il RUR totale trattato è del 15,6%, leggermente superiore al 2016, ma molto lontana da valori medi intorno al 40-50%<sup>3 4</sup>.

Considerando sia gli impianti TMB che TM, il conferimento totale di materiale in discarica diminuisce, sia in termini assoluti, passando da 798.197 t/y a 751.665 t/y, che percentuali. Riferita al RUR prodotto subisce infatti una contrazione dal 65% al 60%; se si considera il rifiuto urbano nel suo complesso, la frazione inviata a discarica è del 40% invece che il 42%, senza però tenere conto in alcun modo degli scarti provenienti dal trattamento delle frazioni di RD. Questa diminuzione è dovuta a varie cause già illustrate in precedenza. Prima fra tutte l'aumento della raccolta differenziata, che diminuisce il RUR da trattare e quindi i suoi scarti. Sicuramente aumentano anche gli scarti da raccolta differenziata, ma questi non sono conteggiati nelle quantitativo totale e, in ogni caso, risulterebbero inferiori. Il secondo motivo è l'aumento delle efficienze di trattamento dei TMB, anche se in parte controbilanciata dal peggioramento di quelle dei TM, che garantiscono flussi di scarti minori da conferire in discarica.



## **5 Caratterizzazione del rifiuto**

Nella fase di analisi degli scenari presenti nel PRGRU del 2018 e nella definizione dello scenario alternativo proposto illustrata nel capitolo successivo, si è presentata la necessità di analizzare e determinare la composizione merceologica del rifiuto urbano residuo, delle frazioni da raccolta differenziata e del rifiuto urbano lordo complessivo. Ai fini dello studio si è calcolata sia la composizione dei vari flussi di rifiuto nel 2017 che quelli previsti per il 2025, orizzonte temporale degli obiettivi del nuovo PRGRU. La definizione della composizione merceologica attuale è stato quindi un passaggio obbligato per definire quella futura della fase a regime, attraverso l'applicazione degli obiettivi imposti dal nuovo Piano. Non essendo disponibili dati sulla composizione del rifiuto lordo (RU), si è proceduto calcolandola attraverso la combinazione dei dati relativi alla raccolta differenziata e al RUR, opportunamente omogeneizzati e armonizzati.

### **5.1 Analisi merceologica del rifiuto urbano**

L'analisi sul rifiuto pugliese è iniziata elaborando i dati disponibili sul rifiuto urbano residuo. In Puglia la quasi totalità del RUR viene trattato direttamente in impianti TMB, che sono numerosi e sparsi su tutto il territorio regionale. Le analisi disponibili per lo studio provengono dal laboratorio Geovis s.r.l., effettuate per gli impianti di Poggiardo e Ugento in provincia di Lecce, e Conversano in provincia di Bari; dal laboratorio REA effettuate sempre per gli impianti di Poggiardo e Ugento; dal centro studi MatER LEAP per l'impianto di Massafra Console, in provincia di Taranto.

Acquisiti i dati si è trattato di uniformarli, suddividendo il rifiuto in categorie merceologiche definite. La suddivisione è stata stabilita tenendo in considerazione sia i dati del RUR, che i dati di classificazione di tutti i flussi di raccolta differenziata provenienti dalla regione. In definitiva, il rifiuto è stato suddiviso nelle categorie merceologiche elencate in Tabella 13.

Le armonizzazioni principali sono state effettuate su alcuni dati del laboratorio Geovis s.r.l., che presentavano alcuni flussi accorpati, e nella suddivisione della frazione di sottovaglio.

Le analisi effettuate da Geovis s.r.l. presentavano i dati di verde e organico accorpati, così come i poliaccoppiati, classificati come categoria indipendente. Per ovviare a queste incongruenze si è deciso di suddividere le voci con le stesse percentuali in cui si presentavano nelle analisi REA, ripartendo così il valore di organico in organico domestico e verde, mentre i poliaccoppiati in carta e cartone, plastica e alluminio, a seconda della sua componente principale. La frazione di sotto-vaglio è stata invece ripartita tra organico e inerte, in modo da avere nel rifiuto urbano un rapporto tra inerte fine ed organico fine pari al 30%.

Tabella 13 - Classi merceologiche del rifiuto urbano.

Categorie merceologiche
Organico
Verde
Carta e cartone
Vetro
Plastica
Legno
Metalli
Alluminio
Tessili
RAEE
Altro
Inerti da C&D
Ingombranti
Spazzamento stradale

Una volta definite nel dettaglio tutte le categorie merceologiche del rifiuto, si è individuata una composizione media del rifiuto in ingresso a ciascun impianto TMB, a partire dai numerosi campionamenti effettuati da laboratori diversi in vari periodi. Le quattro composizioni merceologiche degli impianti sono state considerate sufficientemente rappresentative del rifiuto indifferenziato prodotto nell'ATO (ambito territoriale ottimale) da esserne assunte come la composizione effettiva (Tabella 14).

Tabella 14 - Composizione merceologica del rifiuto urbano residuo per ATO di appartenenza

Categorie merceologiche	Poggiardo (LE7)	Ugento (LE10)	Conversano (BA8)	Massafra (TA3)
Organico	26,7%	27,0%	26,7%	23,3%
Verde	10,7%	10,9%	11,7%	7,6%
Carta e cartone	15,1%	16,3%	16,3%	16,4%
Vetro	5,3%	4,8%	5,1%	3,7%
Plastica	22,2%	20,1%	21,7%	26,2%
Legno	1,9%	1,1%	0,9%	0,8%
Metalli	1,6%	1,4%	0,7%	1,5%
Alluminio	1,3%	1,0%	0,6%	1,7%
Tessili	7,1%	8,4%	9,9%	6,0%
RAEE	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Altre RD	5,7%	6,3%	3,6%	10,0%
Inerti da C&D	2,4%	2,7%	3,0%	2,8%
Ingombranti	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Spazzamento stradale	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>TOTALE</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Effettuando una media pesata della composizione merceologica dei quattro ATO è possibile effettuare una stima del rifiuto urbano residuo pugliese attuale, riportato in Figura 18.

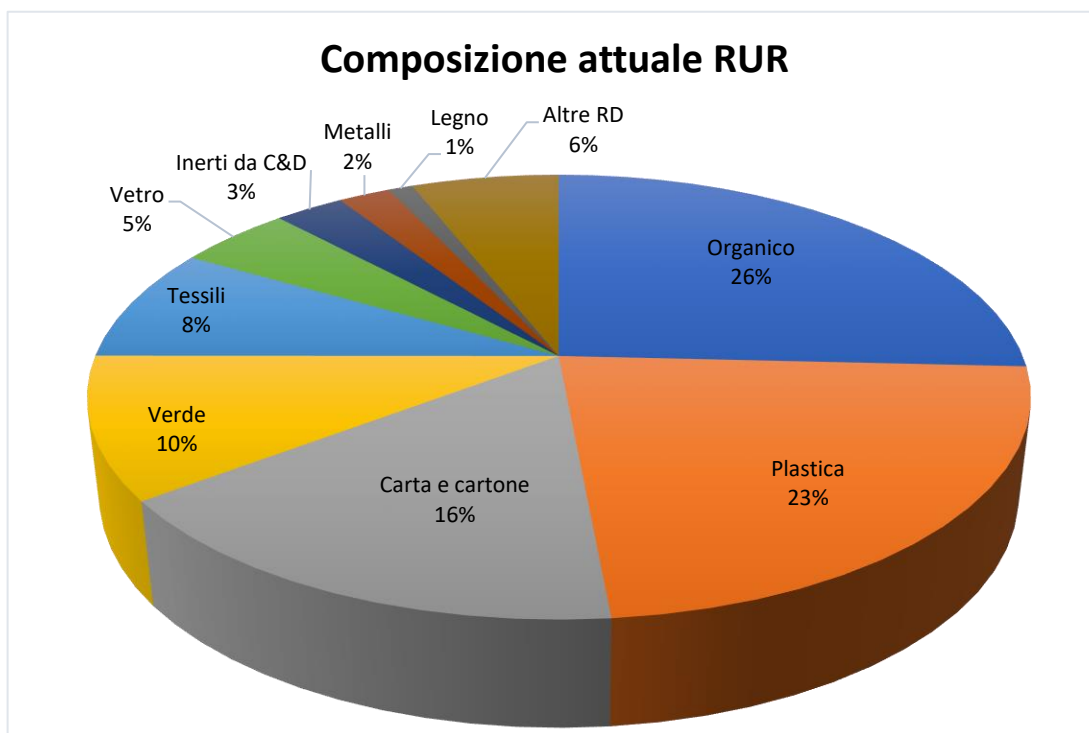


Figura 18 - Composizione merceologica del rifiuto urbano residuo attuale

Definita la composizione del RUR, si è analizzata la raccolta differenziata nelle aree esaminate, partendo dai dati forniti dalla Regione suddivisi per ATO di appartenenza. Così come per il RUR, anche le varie frazioni di RD sono state uniformate, per suddividerle nelle stesse categorie definite in Tabella 13.

I dati elaborati dall'osservatorio della Regione riportano il flusso di raccolta differenziata 'multimateriale' (insieme di imballaggi), non scorporato nelle varie componenti merceologiche ma come flusso di materiale differenziato a sé. Si è quindi reso necessario suddividerlo nelle sue componenti, assunte carta, vetro, plastica e metalli, per poterlo uniformare alla classificazione adottata anche per il RUR. Per determinarne la ripartizione percentuale si sono confrontati i valori di RD del rapporto ISPRA riferito all'anno 2016 con i medesimi forniti dall'osservatorio della regione. Nel rapporto ISPRA i quantitativi di RD delle categorie in esame hanno già al loro interno la frazione proveniente anche dal 'multimateriale', risultando quindi maggiori rispetto ai flussi indicati dalla Regione, che, invece, ne sono privi, perché classificato separatamente.

Tabella 15 - Raccolta differenziata multimateriale secondo le diverse fonti

RD 2016	ISPRA [t]	Regione [t]	Delta [t]	multimat. [%]
Carta e cartone	161.093	155.727	5.366	14,9%
Vetro	73.207	71.271	1.936	5,4%
Plastica	66.593	40.872	25.721	71,6%
Metalli	6.774	3.887	2.888	8,0%
<b>TOTALE</b>	<b>307.667</b>	<b>271.757</b>	<b>35.910</b>	<b>100,0%</b>

Nella Tabella 15 viene mostrato il confronto tra i valori del rapporto ISPRA e della Regione. La differenza tra i due dati rappresenta la quantità di ciascuna delle quattro componenti di raccolta differenziata conteggiato da parte della Regione come 'multimateriale'. La suddivisione in percentuale di quest'ultimo nelle varie categorie merceologiche è calcolata come la differenza della categoria stessa divisa per la somma totale delle differenze (35.910 t). Queste percentuali si possono considerare come la quantità di ciascuna componente all'interno della raccolta differenziata multimateriale, considerate invariate anche per l'anno 2017 e quindi applicabili per suddividerla nei quattro valori di carta e cartone, plastica, vetro e alluminio.

Al termine delle elaborazioni dei dati si è preparato per ciascun ATO un quadro completo dei flussi di RD per l'anno 2017, suddivisi nelle categorie stabilite e quantificati in tonnellate. Se sommati, hanno come risultante il quantitativo totale di raccolta differenziata generica. In Tabella 16, dove si riportano i valori di ciascun flusso in tonnellate per l'anno 2017, è indicato anche il quantitativo di rifiuto urbano indifferenziato (RUR).

Tabella 16 - quantitativo per ciascuna categoria di RD in tonnellate, diviso per ATO di appartenenza

Categorie merceologiche [t]	Poggiardo (LE7)	Ugento (LE10)	Conversano (BA8)	Massafra (TA3)
<b>Organico</b>	0	25	9.688	7.202
<b>Verde</b>	94	66	2.945	1.048
<b>Carta e cartone</b>	916	1.393	4.826	3.117
<b>Vetro</b>	691	1.229	3.702	2.676
<b>Plastica</b>	363	940	1.712	1.745
<b>Legno</b>	162	174	3.396	227
<b>Metalli</b>	94	70	250	40
<b>Alluminio</b>	8	0	125	49
<b>Tessili</b>	59	40	306	167
<b>RAEE</b>	122	169	475	141
<b>Altre RD</b>	34	33	195	53
<b>Inerti da C&amp;D</b>	330	332	1.903	251
<b>Ingombranti</b>	101	416	2.078	4.279
<b>Spazzamento stradale</b>	166	399	95	437
<b>RUR</b>	6.469	12.974	36.549	22.495
<b>TOTALE</b>	<b>9.609</b>	<b>18.261</b>	<b>68.246</b>	<b>43.926</b>

Una volta definita la composizione merceologica del rifiuto urbano residuo e del flusso di raccolta differenziata, si è potuta determinare la composizione del rifiuto

urbano lordo relativa al 2017. In linea con i calcoli svolti per la definizione di RUR e RD, si sono mantenuti separati fino alla fine i dati relativi ad ogni ATO analizzato, unificandoli solo al termine dell'analisi.

A differenza della RD, per cui si aveva già a disposizione un valore in tonnellate per ogni categoria merceologica riferito al 2017, per il rifiuto indifferenziato lo si è dovuto calcolare partendo dal valore percentuale. Quest'ultimo è stato utilizzato per suddividere il quantitativo di RUR indicato in Tabella 16 in tutte le varie categorie, così da poter essere sommato ai valori relativi alla RD. La somma dei quantitativi di RD e RUR di ciascuna categoria ne ha individuato il valore totale, che ha permesso la suddivisione percentuale del rifiuto urbano di ciascun ATO (Tabella 17).

*Tabella 17 - composizione del RU lordo in percentuale, per i diversi ATO*

<b>RIFIUTO URBANO LORDO</b>	<b>Poggiardo (LE7)</b>	<b>Ugento (LE10)</b>	<b>Conversano (BA8)</b>	<b>Massafra (TA3)</b>
<b>Organico</b>	18,0%	19,4%	28,5%	28,3%
<b>Verde</b>	8,2%	8,1%	10,6%	6,3%
<b>Carta e cartone</b>	19,7%	19,2%	15,8%	15,5%
<b>Vetro</b>	10,8%	10,1%	8,1%	8,0%
<b>Plastica</b>	18,7%	19,4%	14,1%	17,4%
<b>Legno</b>	3,0%	1,7%	5,5%	0,9%
<b>Metalli</b>	2,1%	1,4%	0,7%	0,9%
<b>Alluminio</b>	1,0%	0,7%	0,5%	1,0%
<b>Tessili</b>	5,4%	6,2%	5,7%	3,5%
<b>RAEE</b>	1,3%	0,9%	0,7%	0,3%
<b>Altre RD</b>	4,2%	4,6%	2,2%	5,2%
<b>Inerti da C&amp;D</b>	5,0%	3,7%	4,4%	2,0%
<b>Ingombranti</b>	1,1%	2,3%	3,0%	9,7%
<b>Spazzamento stradale</b>	1,7%	2,2%	0,1%	1,0%
<b>TOTALE</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

La composizione merceologica del rifiuto urbano della Regione Puglia è stata assunta come la media pesata dei valori appartenenti ai quattro diversi ATO analizzati, i cui risultati sono mostrati in Tabella 18.

*Tabella 18- composizione percentuale RU pugliese nel 2017*

<b>Composizione merceologica RU</b>	<b>2017 [%]</b>
<b>Organico</b>	26,5%
<b>Verde</b>	8,7%
<b>Carta e cartone</b>	16,4%
<b>Vetro</b>	8,5%
<b>Plastica</b>	16,2%
<b>Legno</b>	3,4%
<b>Metalli</b>	0,9%
<b>Alluminio</b>	0,7%
<b>Tessili</b>	5,1%
<b>RAEE</b>	0,6%
<b>Altro</b>	3,6%
<b>Inerti da C&amp;D</b>	3,6%
<b>Ingombranti</b>	4,9%
<b>Spazzamento stradale</b>	0,8%
<b>TOTALE</b>	<b>100,0%</b>

## 5.2 Proiezioni al 2025

La caratterizzazione del rifiuto urbano relativa al 2017 è stata la base di partenza per effettuare una previsione della composizione del rifiuto nell'anno 2025, orizzonte temporale delle politiche di gestione dei rifiuti nel PRGRU. Per una proiezione accurata, si è deciso di implementare gli obiettivi di gestione e riduzione della produzione del rifiuto presenti nel piano nello scenario attuale. In primo luogo, si è considerato l'obiettivo di riduzione del rifiuto urbano pro capite prodotto, pari al 10%, che, però, non è stato applicato in maniera uniforme a tutte le frazioni. È infatti indicata l'intenzione di ridurre gli sprechi alimentari del 30%, obiettivo che si assume comporti una riduzione dell'organico pari al 20%, valore maggiore rispetto a tutte le altre frazioni, assunte uguali tra loro, così da permettere una riduzione complessiva del rifiuto pro capite del 10%. In Tabella 19 è illustrata la composizione merceologica del rifiuto urbano, in termini percentuali e assoluti nel 2017, con a fianco le proiezioni calcolate per l'anno 2025. In Figura 19 si riporta il grafico della composizione del rifiuto urbano in percentuale, sempre per il 2025.

Tabella 19 - Composizione merceologica in percentuale nel 2017 e 2025.

Composizione merceologica	[%] 2017	[t] 2017	[t] 2025	[%] 2025
Organico	26,52%	500.828	400.662	<b>24,23%</b>
Carta e cartone	16,41%	309.993	279.901	<b>16,92%</b>
Vetro	8,53%	161.183	145.536	<b>8,80%</b>
Plastica	16,15%	305.099	275.482	<b>16,66%</b>
Alluminio	0,71%	13.423	12.120	<b>0,73%</b>
Metalli	0,94%	17.790	16.063	<b>0,97%</b>
Legno	3,39%	63.988	57.777	<b>3,49%</b>
Verde	8,73%	164.905	148.897	<b>9,00%</b>
Tessili	5,06%	95.635	86.351	<b>5,22%</b>
Ingombranti	4,91%	92.723	83.722	<b>5,06%</b>
RAEE	0,65%	12.230	11.043	<b>0,67%</b>
Inerti da C&D	3,60%	67.906	61.314	<b>3,71%</b>
Spazzamento stradale	0,78%	14.799	13.362	<b>0,81%</b>
Altro	3,62%	68.287	61.658	<b>3,73%</b>
<b>TOTALE</b>	<b>100,00%</b>	<b>1.888.788</b>	<b>1.653.888</b>	<b>100,00%</b>

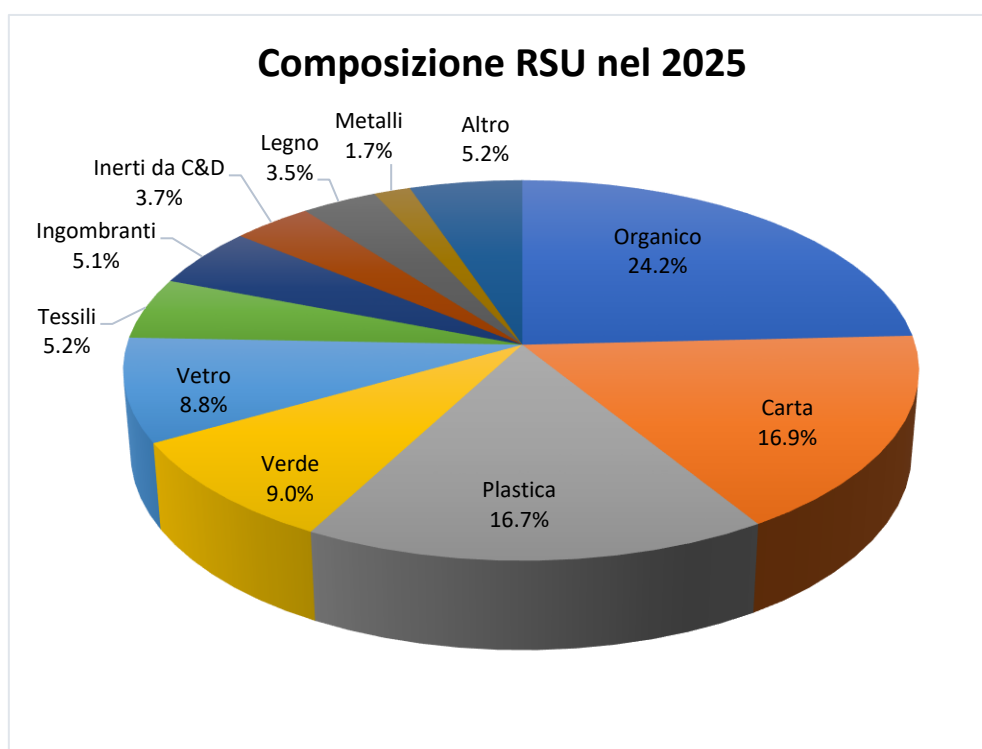


Figura 19 - Composizione merceologica del rifiuto urbano lordo nel 2025

A partire dai dati relativi alla composizione merceologica del rifiuto urbano, e dalle proiezioni di incremento della raccolta differenziata, è stato possibile procedere con la caratterizzazione del RUR riferito al 2025, necessario per valutarne una filiera di trattamento idonea ed efficiente.

Il PRGRU non contiene indicazioni sulla composizione del rifiuto urbano residuo ma, al contrario, pone precisi obiettivi di raccolta differenziata, espressi in termini di percentuale di materiale pronto al riciclo e impurezze. Assumendo una loro completa

attuazione al 2025, è possibile determinare la composizione, sia in percentuale che in tonnellate annue, di ciascun flusso di differenziata che, opportunamente sottratto al rifiuto urbano, permette la modellizzazione del RUR futuro.

Ogni flusso di differenziata, al momento della raccolta si presenta composto da una frazione di materiale che effettivamente andrà a riciclo e da una di impurezze, che dovrà essere opportunamente separata in impianti di selezione appositi. Il materiale pronto per il riciclo è quindi interamente costituito dalla frazione merceologica di appartenenza, mentre la componente di impurezze è una miscelanea di tutti i rifiuti. Per determinare la composizione delle impurezze di ciascuna frazione sono stati assunti i valori della letteratura di riferimento<sup>5</sup> e, quando non presente, sono state considerate con una composizione uguale a quella del RUR. In Tabella 20 sono riassunti gli obiettivi del PRGRU relativi ai flussi di raccolta differenziata e i risultati dei calcoli di quantificazione di ciascuna frazione.

Tabella 20 – Valori e calcoli di obiettivi impurezze ed intercettazione per l'anno 2025

Frazione merceologica	Pronto al riciclo [%]	Impurezze [%]	Pronto al riciclo [t]	Impurezze [t]	Flusso totale [t]	RD [%]	Intercettazione	Intercett. attuale
Organico	90%	5%	360.596	18.979	379.575	23,0%	95%	46%
Carta e cartone	90%	5%	251.911	13.258	265.169	16,0%	95%	45%
Vetro	80%	5%	116.429	6.128	122.557	7,4%	84%	69%
Plastica	60%	10%	165.289	18.365	183.654	11,1%	67%	21%
Alluminio	80%	---	9.696	0	9.696	0,6%	80%	18%
Metalli ferrosi	80%	---	12.850	0	12.850	0,8%	80%	34%
Legno	65%	---	37.555	0	37.555	2,3%	65%	83%
Verde	---	---	---	---	50.625	3,1%	34%	34%
Tessili	---	---	---	---	6.908	0,4%	8%	8%
Ingombranti	70%	---	58.605	0	58.605	3,5%	70%	100%
RAEE	---	---	---	---	11.043	0,7%	100%	100%
Inerti	---	---	---	---	34.029	2,1%	56%	56%
Spazzamento	70%	---	9.353	0	9.353	0,6%	70%	100%
Altro	---	---	---	---	3.699	0,2%	6%	6%
<b>TOTALE</b>	---	---	1.124.890	56.731	1.185.320	71,7%	---	---

Le prime due colonne indicano gli obiettivi in percentuale del piano: la prima riporta la percentuale sul totale di ciascuna frazione pronta al riciclo, mentre la seconda la quantità di impurezze presenti nel flusso di rifiuto separato con la differenziata. Alcuni valori sono mancanti perché nel Piano non è riportato nessun obiettivo al riguardo, e, nel conteggio del flusso, sono stati utilizzati i valori attuali di raccolta differenziata. Per le impurezze sono stati invece assunti valori nulli perché trascurabili. Il flusso totale, somma di impurezze e materiale puro, è il quantitativo di rifiuto effettivamente separato dal cittadino e raccolto attraverso la differenziata. Calcolando la percentuale di ciascuna frazione rispetto al rifiuto urbano, con una semplice somma è possibile determinare il valore complessivo di raccolta differenziata. Ne risulta un valore complessivo di quasi il 72%, superiore all'obiettivo generale prospettato dal piano, pari al 65%. Le ultime due colonne confrontano, per ciascuna categoria, i valori di intercettazione attuali e quelli previsti nel 2025, necessarie per il raggiungimento degli obiettivi; risulta evidente come sia previsto un notevole incremento, fino a raggiungere valori molto elevati (Figura 20). Le attuali intercettazioni per



spazzamento stradale, RAEE e ingombranti risultano totali poiché vengono classificati come tali solo se separati attraverso la differenziata, cosa che fa risultare un'efficienza di raccolta del 100%, non da intendere come effettivo valore di recupero reale. In riferimento alle frazioni per cui il Piano non indica obiettivi, si sono assunti i valori di intercettazione attuale

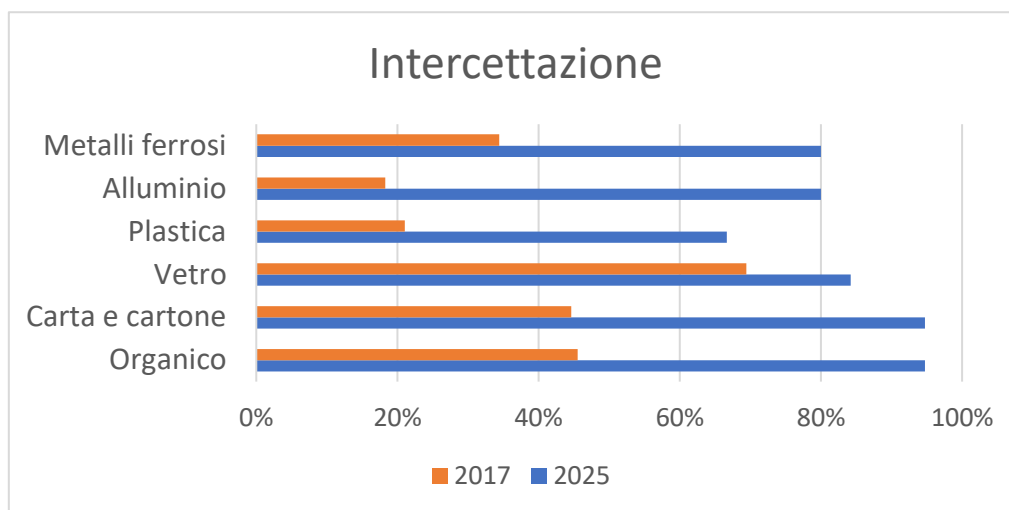


Figura 20 - Valori di intercettazione attuali e al 2025 per le principali frazioni merceologiche

Dopo aver definito la composizione e il quantitativo in tonnellate annue di tutti i flussi di raccolta differenziata, sono stati sottratti al rifiuto urbano, così da ottenere la composizione merceologica del RUR del 2025 (Figura 21). Per un calcolo più preciso sono stati sottratti sia i valori di flusso puro che le impurezze, di cui sono state calcolate le composizioni merceologiche, come spiegato in precedenza (Tabella 21).

Tabella 21 - Composizione merceologica impurezze nel 2025.

Frazione merceologica	Organico	Plastica	Carta	Vetro	Altre RD
<b>Organico</b>	0,0%	9,8%	8,3%	8,3%	7,8%
<b>Carta e cartone</b>	2,8%	6,9%	0,0%	5,8%	5,5%
<b>Vetro</b>	2,9%	7,1%	6,0%	0,0%	5,6%
<b>Plastica</b>	63,0%	0,0%	21,3%	21,3%	20,1%
<b>Alluminio</b>	0,2%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%
<b>Metalli ferrosi</b>	0,3%	0,8%	0,7%	0,7%	0,6%
<b>Legno</b>	2,0%	4,8%	4,1%	4,1%	3,9%
<b>Verde</b>	9,7%	23,6%	19,9%	20,0%	18,8%
<b>Tessili</b>	7,8%	19,1%	16,1%	16,1%	15,2%
<b>Ingombranti</b>	2,5%	6,0%	5,1%	5,1%	4,8%
<b>RAEE</b>	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Inerti</b>	2,7%	6,5%	5,5%	5,5%	5,2%
<b>Spazzamento</b>	0,4%	1,0%	0,8%	0,8%	0,8%
<b>Altro</b>	5,7%	13,9%	11,8%	11,8%	11,1%
<b>TOTALE</b>	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

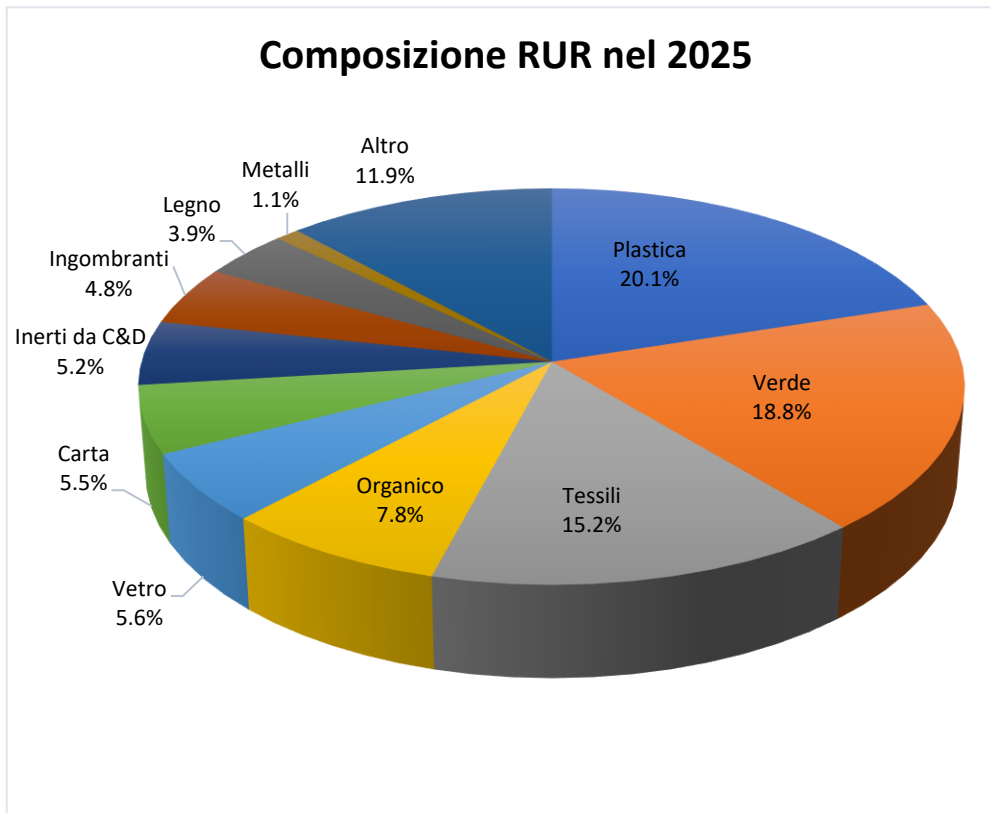


Figura 21 - Composizione merceologica del rifiuto urbano residuo nel 2025.

Si può notare come la percentuale dell'organico domestico sia molto minore rispetto a quella rilevata nel rifiuto lordo, grazie ad una raccolta differenziata molto spinta. Al contrario, la plastica acquista una grossa importanza, risultando la frazione più abbondante. Il grande aumento dei tessili e del verde è dovuto alla scelta cautelativa di mantenere invariato il loro livello di raccolta differenziata, che, sebbene non presenti obiettivi imposti dal PRGRU, è probabile subisca una crescita analoga alle altre frazioni.

Sono stati analizzati anche i flussi di scarto prodotti dai processi di riciclo della raccolta differenziata, poiché sono un quantitativo non trascurabile, per cui è necessario predisporre un trattamento idoneo, che non si limiti al semplice conferimento in discarica. Questi non si limitano alle impurezze, ma anche alla frazione di rifiuto considerato puro ma non riciclabile, che quindi deve essere separato. Lo scarto della frazione organica (FORSU) risulta essere costituita principalmente da organico stesso, per l'effetto di trascinamento. Il trascinamento è un fenomeno che avviene al momento della separazione delle impurezze dal flusso puro, che trascinano con sé un quantitativo di materia organica fino a quattro volte il loro peso. Assumendo per il trascinamento un valore pari a 4, la composizione degli scarti relativi alla frazione organica sono riportati in Tabella 22.

Tabella 22 - Composizione scarti organico

Frazione merceologica	Scarti organico
<b>Organico</b>	75,0%
<b>Carta e cartone</b>	0,7%
<b>Vetro</b>	0,7%
<b>Plastica</b>	15,8%
<b>Alluminio</b>	0,1%
<b>Metalli ferrosi</b>	0,1%
<b>Legno</b>	0,5%
<b>Verde</b>	2,4%
<b>Tessili</b>	2,0%
<b>Ingombranti</b>	0,6%
<b>RAEE</b>	0,0%
<b>Inerti</b>	0,7%
<b>Spazzamento</b>	0,1%
<b>Altro</b>	1,4%
<b>TOTALE</b>	100,0%

Risulta evidente come sia estremamente necessario che il flusso di scarti subisca un trattamento biologico spinto e come non si possa trascurare un quantitativo di rifiuto tale, essendo la frazione di scarto della FORSU pari al 36% del rifiuto separato per via differenziata.

Per gli scarti delle altre raccolte differenziate si assume che sia necessario solo un trattamento di tipo meccanico. Le impurezze contenute nei flussi di raccolta differenziata contengono una percentuale di organico relativamente bassa, che verrebbe ulteriormente “diluita” con l’aggiunta di tutti gli scarti del riciclo, principalmente della plastica. Questi sono composti quasi esclusivamente da imballaggi e rifiuti di polimeri non riciclabili, che vengono inevitabilmente scartati, ma conferiscono agli scarti totali caratteristiche di sufficiente qualità per essere uniti alla FSC in ingresso ad impianti TM.

## **6 Analisi e critica al PRGRU 2018**

A livello regionale, lo strumento legislativo che regola e pianifica la filiera di trattamento dei rifiuti urbani è il Piano Regionale per la Gestione dei Rifiuti Urbani (PRGRU). Questo viene aggiornato e pubblicato ad intervalli di alcuni anni, per valutare i risultati realmente ottenuti e stabilire nuovi obiettivi, il più realistici possibili.

La regione Puglia ha pubblicato il nuovo PRGRU nel 2018, aggiornando il precedente, del 2013. In esso è definito un quadro programmatico che indica gli obiettivi da attuare e raggiungere entro il 2025, oltre agli scenari che definiscono le scelte generali di gestione del rifiuto urbano. Gli obiettivi principali sono:

- 65% minimo di raccolta differenziata: vengono anche indicati obiettivi di materiale pronto per il riciclo per varie frazioni, nello specifico 90% per la FORSU; 60% per la plastica; 65% per il legno; 80% per i metalli e l'alluminio; 80% per il vetro e il 90% per carta e cartone.
- Una percentuale massima di impurezze nei flussi di raccolta differenziata: 5% per carta e cartone, FORSU e vetro; 10% per la plastica.
- Conferimento massimo in discarica pari al 20% in peso del rifiuto urbano totale.

Sulla base di questi obiettivi sono stati quindi redatti gli scenari, sia per il periodo necessario al raggiungimento degli obiettivi, previsto al 2025, che per una fase successiva a regime.

### **6.1 Scenario transitorio**

Nel redigere gli scenari di gestione del rifiuto urbano, il PRGRU prevede una situazione "a regime" con un livello di raccolta differenziata pari al 65%. Attualmente la percentuale di materiale raccolto per via differenziata è pari soltanto al 36,5%, motivo per cui è stato presentato un ulteriore scenario per il periodo di transizione, tra il presente e il raggiungimento della fase a regime.

La Figura 22 rappresenta i flussi dello scenario transitorio descritto nel PRGRU 2018, da cui sono stati riportati i valori numerici e assunzioni, presenti nella sezione "Allegato A.2.1 - Scenario di Piano". Nella definizione dei rendimenti medi degli impianti, il Piano ne indica spesso un massimo e un minimo entro cui il valore è previsto; per questioni grafiche, tuttavia, sono stati considerati sempre i valori medi e, per esigenze di chiusura del bilancio, si sono adattate le perdite di processo, verificando che fossero comunque all'interno dell'intervallo proposto.

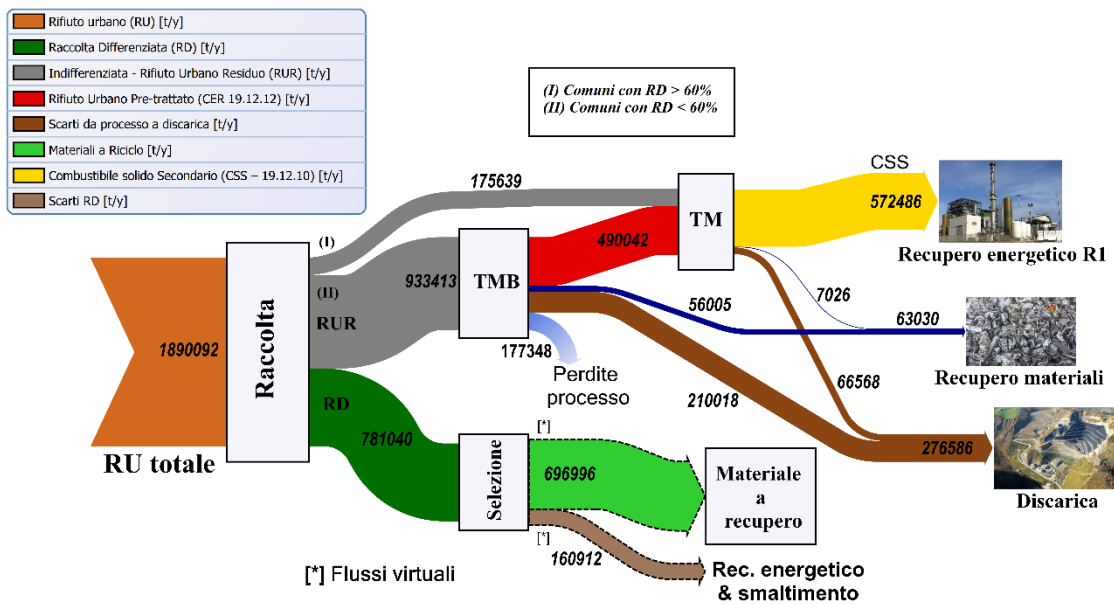


Figura 22 - Schema flussi scenario transitorio PRGRU 2018.

Questo scenario si basa sull'ipotesi che in presenza di una raccolta differenziata spinta, maggiore del 60%, non sia più necessario attuare un processo di tipo biologico al rifiuto tal quale. Nello schema sono state evidenziate le due macro-tipologie di impianti per il trattamento del RUR, gli impianti TMB e TM, e la frazione di RD è stata sempre considerata nella sua totalità, senza procedere alla distinzione dei vari flussi. I destini finali del RUR e quelli dei suoi prodotti di lavorazione sono gli stessi della attuale filiera: recupero energetico (R1), recupero di materiali o discarica. Il piano non presenta una stima della quantità di scarti da RD ma ipotizza un loro smaltimento in discarica, non rendendo così possibile determinare se questo sia il destino finale della parte effettivamente non recuperabile o di tutti indistintamente. Per questo motivo il loro destino finale è stato indicato come un generico 'smaltimento e recupero energetico'.

Lo scenario transitorio è stato pensato per entrare in vigore nell'immediato, motivo per cui si è assunto come valore di produzione di rifiuto urbano quella relativa al 2017. Il rifiuto urbano è quindi suddiviso vari flussi: due di rifiuto urbano residuo distinti e uno relativo alla raccolta differenziata. Come anticipato prima, il RUR viene diversificato a seconda del livello di raccolta differenziata del comune di provenienza. Per i comuni con  $RD > 60\%$  si dispone solo un trattamento meccanico negli impianti TM; il rifiuto proveniente dai restanti comuni, invece, segue il percorso classico: dapprima il trattamento meccanico-biologico e in seguito la raffinazione meccanica negli impianti TM. In entrambe le fasi di trattamento vengono indicate le percentuali di separazione di rifiuto inviato a recupero di materia, da cui si è calcolato il quantitativo, che risulta molto inferiore negli impianti TM perché si è assunto che provenga solo dal rifiuto non pretrattato negli impianti TMB, in cui si ipotizza una già completa separazione. In generale, la frazione recuperabile è composta quasi esclusivamente da metalli ferrosi e non ferrosi. Ad esclusione del conferimento diretto agli impianti TM di parte del RUR, non vi sono grandi cambiamenti tecnologici o di gestione rispetto a ciò che avviene attualmente. Le grosse differenze nei quantitativi dei vari flussi sono quindi da imputare al funzionamento degli impianti, i cui rendimenti di trattamento sono previsti molto più elevati rispetto a quelli attuali. In

Tabella 23 sono indicati gli intervalli di valori entro cui sono previsti i rendimenti degli impianti TMB, con evidenziati i valori medi assunti nelle analisi e i valori assoluti. Sono riportate anche le percentuali medie registrate nel 2016 per evidenziare la forte discrepanza. Come spiegato in precedenza, la percentuale di perdite di processo non è una media matematica, ma il suo valore è stato assunto per chiudere il bilancio, verificando che ricadesse comunque all'interno dell'intervallo proposto.

Tabella 23 - Efficienze di trattamento per impianti TMB, PRGRU 2018.

Rendimento output TMB	MIN [%]	MAX [%]	MEDIO [%]	MEDIO [t/a]	2016 [%]
Produzione 19.12.12	40,0%	65,0%	<b>52,5%</b>	<b>490.042</b>	10,2%
Produzione 19.12.10	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	6,2%
Perdite di processo	15,0%	20,0%	<b>19,0%</b>	<b>177.348</b>	19,3%
Recupero materiali	5,0%	7,0%	<b>6,0%</b>	<b>56.005</b>	0,7%
Flusso a discarica	15,0%	30,0%	<b>22,5%</b>	<b>210.018</b>	63,6%
<b>TOTALE</b>	<b>75,0%</b>	<b>122,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>933.413</b>	<b>100,0%</b>

Lo scenario transitorio prevede un quantitativo di rifiuti da trattare negli impianti TMB di 933.413 tonnellate, valore destinato a diminuire fino al raggiungimento del 60% di raccolta differenziata da parte di tutti i comuni. Risulta subito evidente la grande differenza con il bilancio dell'anno 2016, rispetto a cui le percentuali dei diversi flussi in uscita dagli impianti si prospettano nettamente migliori, con una grossa crescita della produzione di FSC (CER 19.12.12) e, parallelamente, con un conferimento in discarica di minore entità, diminuito dal 63,3% al 22,5% del materiale in ingresso. Viste le grosse migliorie da effettuare rispetto alla situazione presente, in particolare riguardo al rendimento di produzione di FSC, molto lontano da quello previsto nel PRGRU (circa un terzo), lo scenario transitorio risulta difficilmente attuabile nell'immediato.

Tabella 24 - Rendimento medio degli impianti TM nel 2016 e previsti nel piano.

Rendimento output TM	2016 [%]	piano [%]
produzione 19.12.10	90,5%	86,0%
Perdite di processo	1,7%	0,0%
Recupero materiali	1,1%	4,0%
Flusso a discarica	6,7%	10,0%
<b>TOTALE</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

In Tabella 24 sono rappresentati i rendimenti degli impianti TM relativi all'anno 2016 confrontati con quelli previsti nel PRGRU del 2018. Il motivo di un maggiore rendimento di produzione di 19.12.10 (CSS) degli impianti nel 2016 rispetto ai valori di progetto indicati nel Piano, si spiega con la grossa differenza delle caratteristiche del materiale in ingresso. Nel 2016 infatti, è stato evidenziato come vi sia la tendenza da parte degli impianti TM ad inviare il materiale già classificato come CSS pronto per la combustione, ad una raffinazione della pezzatura, con una conseguente produzione di scarti molto bassa (< 5% dell'ingresso). Poiché gli impianti che effettuano solo raffinazione sono a tutti gli effetti dei TM, il rendimento del trattamento meccanico risulta aumentato in maniera fittizia. Al contrario, nello

scenario transitorio proposto è previsto che agli impianti TM sia conferita sia FSC già trattata nei TMB che rifiuto tal quale, proveniente dai comuni con raccolta differenziata più spinta. In ogni caso i rendimenti degli impianti di trattamento meccanico attuali sono certamente da considerarsi più elevati rispetto a quelli degli impianti TMB e più verosimilmente allineabili con i valori previsti nel Piano. Inoltre, confrontando i rendimenti medi del 2016 sia per impianti TMB che TM, risultano valori di efficienza di separazione del materiale da inviare a recupero molto basse, che, per raggiungere le previsioni indicate nel Piano, devono aumentare dall'1% circa attuale fino al 6% per i TMB e al 4% per i TM.

Complessivamente, la fase transitoria del Piano prevede un'efficienza di produzione del CSS, sempre intesa come combustibile prodotto diviso il quantitativo di rifiuto urbano residuo trattato, del 51,6%, nettamente maggiore rispetto al valore registrato nel 2016, pari al 15%. Il conferimento in discarica, invece, è del 25% rispetto al totale del RUR; se si considera la totalità del RU la percentuale risulta del 14,6%, valore che però non tiene conto degli scarti da raccolta differenziata. Risulta però molto poco verosimile che, nel momento in cui la frazione di rifiuto tal quale conferita direttamente ai TM cresca, il rendimento di produzione di CSS rimanga così alto, con un flusso di scarti così esiguo. Se il combustibile in uscita deve rispettare standard di qualità legati al potere calorifico inferiore (maggiore di 15 MJ/kg), è inevitabile che, con un rifiuto tal quale in ingresso con PCI di circa 10 MJ/kg<sup>6</sup>, la frazione separata debba essere di almeno il 30-40%.

### 6.1.1 Situazione impiantistica

Lo scenario transitorio prevede un parco impiantistico per il trattamento meccanico-biologico che sia autorizzato a trattare un quantitativo di 933.413 t/a, pari al rifiuto proveniente dai comuni con raccolta differenziata < 60%. Col passare degli anni questa quantità dovrebbe diminuire, parallelamente all'aumento della raccolta differenziata, fino a diventare nulla una volta raggiunta la fase "a regime". La capacità degli impianti allo stato attuale è indicata in Tabella 25.

*Tabella 25 - Fabbisogno e capacità impiantistica per il trattamento meccanico- biologico [t/a].*

Fabbisogno	Capacità impianti	Capacità netta	Surplus/decifit
933.413	1.322.570	1.124.185	<b>190.772</b>

In Tabella 25 sono anche indicate la capacità degli impianti autorizzata e la "capacità netta": questa è il risultato dell'applicazione di un fattore di sicurezza del 15% alla capacità di ciascun impianto per tutelare il sistema in caso di inevitabili fermate degli impianti dovute a guasti o ad ordinaria manutenzione. Il surplus è stato calcolato sottraendo il fabbisogno impiantistico alla capacità netta, con un'eccedenza finale pari a 190.772 t/a. Questa è destinata ad aumentare con il minor ricorso al trattamento biologico prospettato negli anni. Si può considerare il parco impianti di trattamento meccanico-biologico pienamente sufficiente a sopportare il flusso previsto in ingresso, con anzi un'eccedenza destinata a crescere.

L'analisi della capacità impiantistica per il trattamento meccanico ha invece evidenziato delle incongruenze tra i valori forniti nel PRGRU e quelli autorizzati ai

singoli impianti. In Tabella 26 si confrontano le capacità proposte nel Piano e quelle corrette ricalcolate.

Tabella 26 - Confronto capacità impiantistiche per il trattamento meccanico [t/a].

Impianti TM	Capacità piano	Capacità reale	Capacità netta
<b>Manfredonia</b>	135.707	135.707	115.351
<b>Barletta</b>	60.000	60.000	51.000
<b>Conversano*</b>	140.160	90.064	76.554
<b>Massafra console*</b>	94.000	107.750	91.588
<b>Massafra forcellara</b>	80.000	80.000	68.000
<b>Cavallino</b>	225.000	165.739	140.878
<b>TOT</b>	<b>734.867</b>	<b>639.260</b>	<b>543.371</b>

Si può notare come la capacità dell'impianto di Cavallino sia minore rispetto a quella del Piano, perché in esso è stata inserita la capacità totale installata e non quella autorizzata, come in tutti gli altri impianti. Lo stesso errore è stato fatto per Conversano. Per quest'ultimo e Massafra Console, che sono linee interne a TMB con diretta produzione di CSS, sono state indicate le capacità impiantistiche analogamente a come è stato fatto da parte della Regione: non avendo un valore autorizzato specifico per il trattamento TM, è stata indicata la quantità di FSC massima che il TMB a monte può produrre (legata alla quantità autorizzata in ingresso all'impianto), destinata a subire il successivo trattamento meccanico. La formula di seguito:

$$\text{capacità TM} = \text{capacità TMB} \times \text{rendimento produzione FSC}$$

La capacità di entrambi gli impianti è stata calcolata utilizzando il rendimento di produzione di FSC previsto nel piano: questo è stato ipotizzato pari al 52,5% (valor medio dell'intervallo tra 40% e 65% indicato nel PRGRU) e non il 40% come in precedenza. La Tabella 27 confronta il fabbisogno impiantistico legato a ciascun rendimento di produzione di FSC con la capacità netta.

Tabella 27 - Fabbisogno e capacità impiantistica per il trattamento meccanico [t/a].

Impianti TM	%η prod. FSC	Fabbisogno [t/y]	Capacità reale	Capacità netta	Surplus/ Decifit
<b>Minimo</b>	40,0%	549.004	639.260	543.371	-5.633
<b>Medio</b>	<b>52,5%</b>	<b>665.681</b>	<b>639.260</b>	<b>543.371</b>	<b>-122.310</b>
<b>Massimo</b>	65,0%	782.357	639.260	543.371	-238.987

Un rendimento di produzione di FSC maggiore comporta un inevitabile aumento del deficit impiantistico. Nelle nostre analisi è stato preso come riferimento il valore medio. Per come è pensato lo scenario transitorio, il fabbisogno impiantistico sarà variabile nel tempo: vi sarà una diminuzione del RUR prodotto a causa dell'aumento della raccolta differenziata, ma crescerà il quantitativo che confluirà agli impianti senza subire le perdite di processo del trattamento biologico. Questo è da valutare insieme al tempo necessario agli impianti per raggiungere i rendimenti definiti nel Piano. Inizialmente il RUR trattato negli impianti tal quale è pari a 175.639 t/a, che, insieme all'output dei TMB, comporta un deficit di capacità di trattamento pari a circa 122.000 t/a.



Infine, è da valutare il parco impiantistico pugliese per recupero energetico (R1) del CSS, output del trattamento meccanico. In Tabella 28 è riportata la capacità totale degli impianti presente e futura: la prima è la somma degli impianti già in funzione, mentre la seconda ha in aggiunta la seconda linea di Massafra (100.000 t/a) e l'impianto Newo spa (88.000 t/a), già approvati e in costruzione, quindi disponibili in un periodo relativamente breve.

Tabella 28 - Capacità impiantistiche per il recupero energetico del CSS [t/a].

	Capacità piano	Capacità reale	capacità netta
<b>ETA Manfredonia</b>	135.000	147.000	124.950
<b>Appia Massafra</b>	100.000	100.000	85.000
<b>Buzzi</b>	65.000	65.000	55.250
<b>TOT</b>	<b>300.000</b>	<b>312.000</b>	<b>265.200</b>
<b>Appia Massafra 2</b>	100.000	100.000	85.000
<b>Newo</b>	88.000	88.000	74.800
<b>TOT futuro</b>	<b>488.000</b>	<b>500.000</b>	<b>425.000</b>

Nel conteggio degli impianti di incenerimento o co-incenerimento non è inserito il cementificio Cementir (35.000 t/y), in Provincia di Taranto, perché ormai fermo da anni e senza prospettive di riattivazione. Nei calcoli effettuati nel PRGRU è presente un errore nella quantificazione della capacità dell'impianto di Manfredonia E.T.A., che presenta una capacità di 130.000 t/a, corrispondente alla prima autorizzazione, modificata con DD n. 2334 del 23/12/2016 a 147.000 t/a.

Tabella 29 - Fabbisogni e capacità impiantistiche per il recupero energetico R1, [t/a].

Impianti R1	% $\eta$ prod. FSC	Fabbisogno	Capacità netta	Cap. netta futura	Deficit	Deficit futuro
<b>Minimo</b>	40,0%	472.144	265.200	543.371	-206.944	71.227
<b>Medio</b>	<b>52,5%</b>	<b>572.486</b>	265.200	543.371	<b>-307.286</b>	<b>-29.115</b>
<b>Massimo</b>	65,0%	672.827	265.200	543.371	-407.627	-129.457

Anche per il recupero energetico il fabbisogno è influenzato dal rendimento di produzione di FSC, che determina il quantitativo di combustibile prodotto destinato all'incenerimento. In Tabella 29 sono riportati i valori massimi e minimi previsti nel Piano, utilizzando nelle analisi sempre il valore medio, da cui risulta come ci sia un deficit di capacità impiantistica molto ampio, non totalmente risolto con il futuro ingresso in funzione di Newo s.p.a. e Appia Massafra 2. Il surplus/deficit è sempre stato calcolato come differenza tra la capacità netta degli impianti e il fabbisogno, cioè il CSS prodotto. Il deficit di circa 29.000 per il futuro risulta però sottostimato: la capacità del cementificio Buzzi (60.000 t/a) è stata considerata totalmente, sebbene funzioni da vari anni sotto regime, smaltendo anche meno della metà del CSS possibile autorizzato. Oltretutto è solito ricevere CSS prodotto da plasmix, quindi non da rifiuto urbano residuo ma da scarti del riciclo della plastica, rendendo il suo contributo completamente nullo ai fini dei nostri calcoli. In generale, auspicando che gli impianti TMB raggiungano i rendimenti migliori possibili, risulta un deficit impiantistico notevole.

## 6.2 Scenari a regime

Nel PRGRU sono definiti anche due scenari futuri di gestione del rifiuto urbano, da attuare al raggiungimento del 65% di raccolta differenziata media nella Regione. Questo coincide con il termine della fase transitoria, previsto per l'anno 2025.

### 6.2.1 Scenario 1: CSS End of Waste

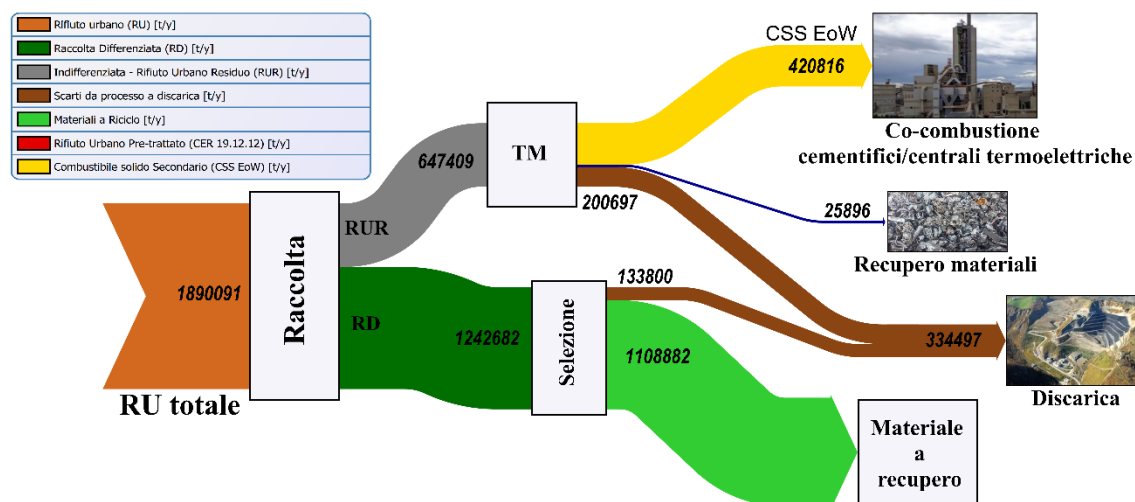


Figura 23 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 1: CSS End of Waste, [t/a].

La Figura 23 rappresenta i flussi relativi allo scenario 1 presentato nel PRGRU, in cui si ipotizza un trattamento meccanico del RUR per la produzione di CSS End of Waste (EoW). Il raggiungimento del 65% di raccolta differenziata fa ritenere inutile trattare biologicamente il rifiuto urbano indifferenziato. La gestione di quest'ultimo è, a differenza della situazione attuale, orientata verso la produzione di CSS End of Waste (regolato da DM n°22 del 14 febbraio 2013), combustibile che cessa di essere classificato come rifiuto, a condizione di essere utilizzato in co-combustione in cementifici o centrali termoelettriche. Gli impianti TM sono considerati quindi di recupero (R3) e le caratteristiche del prodotto sono regolate dalla direttiva quadro 2008/98/CE del 19 novembre 2008 dell'Unione Europea e dal Decreto Legislativo 3 dicembre 2010, n. 205.

Nel Piano i flussi da raccolta differenziata sono analizzati in maniera molto simile a come è stato fatto per gli anni 2016 e 2017: sono stati accorpati e rappresentati come un unico flusso, da cui si distinguono una frazione di scarto destinata alla discarica e una effettiva a recupero. Il piano non indica se la frazione purificata dagli scarti sia interamente destinata al recupero di materia o anche parzialmente al recupero energetico. È infatti improbabile che, con delle percentuali di scarti così basse, una parte del "flusso puro", in particolare proveniente dalla selezione della plastica, possa prevedere uno smaltimento alternativo all'incenerimento con recupero energetico. Le previsioni degli scarti sono riportate nel Piano, e corrispondono al 10% per le frazioni secche di RD (carta, plastica, vetro, metalli) e un intervallo compreso tra il 10 e il 15% per l'organico, di cui, nelle analisi e nelle rappresentazioni grafiche, è stato assunto un valore medio. Il quantitativo totale di scarti inviati in discarica è quindi di 133.800 t/a. La produzione totale di rifiuto urbano in ingresso alla filiera è stata tenuta cautelativamente uguale a quella relativa all'anno 2017, cioè pari a 1.890.091 t/a. Per

il calcolo della frazione di raccolta differenziata è stata calcolata una media pesata per ogni comune, ipotizzando un valore del 65% per quelli ad oggi al di sotto dell'obiettivo previsto, e mantenendo invariato il valore per quelli attualmente già oltre, con un risultato finale pari al 65,7%.

Il RUR viene trattato tal quale negli impianti di trattamento meccanico, che devono essere progettati per conferire al flusso di combustibile in uscita le caratteristiche necessarie perché sia classificato come CSS End of Waste. In Tabella 30 sono riportati i valori previsti di rendimento degli impianti assunti nel Piano che, come risulta, non presentano perdite di processo. Come in precedenza, nelle analisi sono stati considerati i valori medi. Oltre ai quantitativi destinati alla discarica e alla produzione di CSS EoW, non vi sono indicazioni sull'entità del rimanente 4% del flusso in uscita, che è stato assunto materiale separato ed inviato a recupero.

Tabella 30 - Rendimenti impianti TM per produzione CSS EoW.

Rendimento TM	Max [%]	Min [%]	Medio [%]	[t/a]
<b>Produzione CSS EoW</b>	70	60	<b>65</b>	<b>420.816</b>
<b>Discarica</b>	36	26	<b>31</b>	<b>200.697</b>
<b>Recupero materia</b>	---	---	<b>4</b>	<b>25.896</b>
		<b>TOT</b>	<b>100</b>	<b>647.409</b>

La principale differenza di questo scenario rispetto alla situazione attuale è la grossa diminuzione del RUR prodotto, dato inevitabilmente legato all'aumento della percentuale di raccolta differenziata. Sebbene non più preponderante, la gestione del rifiuto indifferenziato risulta ancora complessa e non trascurabile. Però la scelta proposta di orientarsi verso la produzione di CSS EoW risulta critica, poiché questo prodotto ha una difficile collocazione all'interno del sistema industriale pugliese. Ai sensi del DM n°22 del 14 febbraio 2013, questo materiale può essere esclusivamente trattato in cementifici, ad oggi quasi inattivi in Puglia, e centrali termoelettriche a carbone, non sempre disposte ad utilizzarlo. Affinché mantenga la classificazione come prodotto e non rifiuto, il CSS EoW deve rispettare i vincoli definiti nella direttiva 2008/98/CE all'articolo 6 che prevede: l'utilizzo per scopi specifici del prodotto, un suo reale mercato con domanda ed offerta, caratteristiche tecniche che rispettino la legislatura vigente e l'assenza di danni alla salute umana per il suo utilizzo. In particolare, l'obbligo dell'esistenza di un mercato necessita, come espresso nella direttiva "l'esistenza di contratti a lungo termine tra il detentore del materiale e gli utilizzatori successivi può indicare che il materiale oggetto del contratto sarà utilizzato e che quindi vi è certezza del riutilizzo", rendendo burocraticamente più difficile lo smaltimento del CSS EoW. La produzione di CSS EoW a discapito di normale CSS, va quindi a complicarne le procedure, senza un particolare giovamento dal punto di vista impiantistico o di rese, avendo i due caratteristiche qualitative molto simili. Inoltre il Piano non riporta alcun possibile utilizzatore, né spiega come dovrebbe essere gestita ed organizzata la filiera, non garantendo quindi alcun beneficio della scelta effettuata.

Per valutare la validità della proposta di scenario è opportuno confrontarlo anche con gli obiettivi proposti dal Piano stesso. Tra questi il più verificabile è il conferimento in discarica complessivo, per cui è previsto un valore massimo pari al 20% del rifiuto urbano totale. In questo scenario il conferimento in discarica rappresenta il 31% del RUR in ingresso agli impianti TM di produzione di CSS EoW, mentre, se riferito al

rifiuto urbano totale, è pari al 18%. Questo flusso è costituito dagli scarti dei TM e da quelli provenienti dalla raccolta differenziata. Teoricamente il vincolo imposto nel piano del 20% risulta rispettato, ma, come evidenziato nel capitolo 5, le impurezze nella raccolta differenziata risultano sottostimate. Queste sono attualmente un quinto del flusso di RD, valore che è improbabile diminuisca con il sostanziale aumento della differenziata (dal 36% al 65% previsto), e che, invece, è facilmente destinato ad aumentare<sup>7,8</sup>. Per questi motivi il conferimento in discarica previsto risulta poco cautelativo e certamente sottostimato.

## 6.2.2 Scenario 2: ReMat

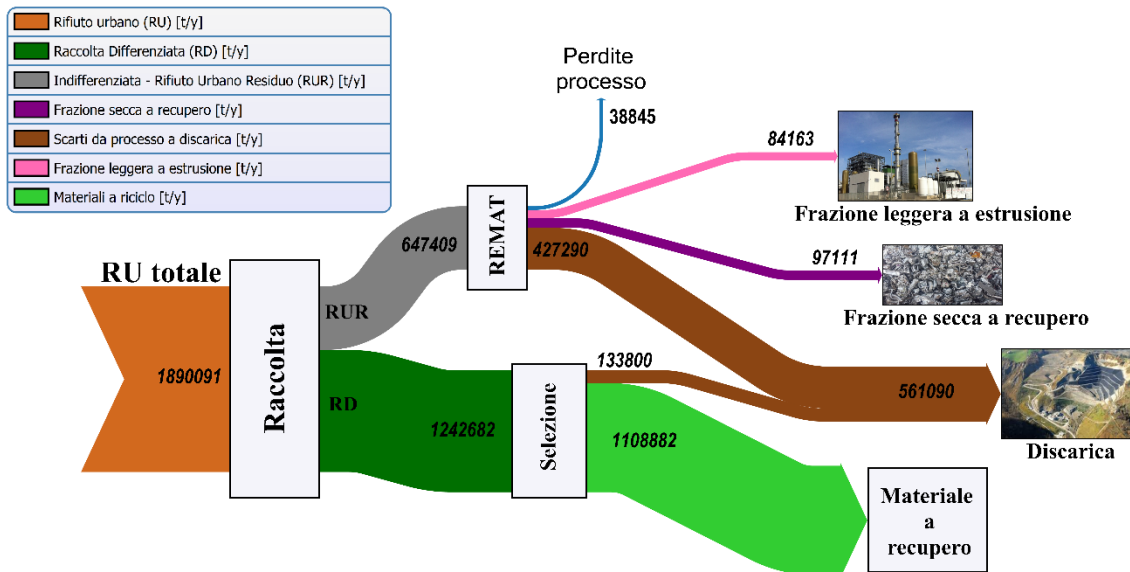


Figura 24 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 2: ReMat, [t/a].

Lo scenario 2 “ReMat” (Figura 24) presenta una filiera di trattamento molto differente rispetto al primo scenario, avendo come obiettivo solo un recupero di materia molto spinto, piuttosto che il recupero energetico del rifiuto urbano residuo. La principale differenza è la tipologia di impianti che trattano il flusso di RUR, non più destinati alla produzione di CSS, bensì al recupero di materiale, generalmente chiamati MRF (Material Recovery Facilities). Questi sono preposti alla separazione di tutte quelle tipologie di rifiuto che sarebbero poi in grado di essere recuperate e riciclate, andando a penalizzare la produzione di CSS, completamente assente.

Per il quantitativo di rifiuto urbano in ingresso sono state fatte le stesse ipotesi dello scenario 1, così come per tutti i flussi relativi alla raccolta differenziata, che presentano le stesse percentuali e valori assoluti di materiale a recupero e scarti. I rendimenti medi degli impianti MRF sono indicati nel Piano e, a differenza degli altri scenari, non presentano massimi e minimi che definiscono un possibile intervallo, ma valori puntuali, che suddividono l’output degli impianti nelle varie frazioni. Si riportano i valori in Tabella 31.

Tabella 31 - Rendimenti impianti MRF nello scenario 2: ReMat

Rendimenti MRF	[%]	[t/a]	Destino
<b>Frazione secca</b>	15	97.111	Recupero materia
<b>Frazione leggera</b>	13	84.163	Recupero energetico
<b>Sovvallo</b>	37	239.541	Discarica
<b>Biostabilizzato</b>	29	187.749	Discarica
<b>Perdite di processo</b>	6	38.845	---
<b>TOT</b>	100	647.409	

Di tutti i flussi uscenti, solo la frazione secca è destinata al recupero di materia, composta da carta, plastica, metalli ferrosi e non ferrosi; mentre la frazione leggera ad estrusione, principalmente una miscelanea di plastiche non riciclabili, viene smaltita attraverso recupero energetico o, alle volte, discarica. La frazione biostabilizzata può solo essere conferita in discarica, così come il sovvallo, residuo della separazione delle frazioni secche e leggere. Le perdite di processo derivano dal trattamento biologico della frazione di sottovaglio, separata a monte dell'impianto per rendere efficiente la successiva estrazione di materiale idoneo al riciclo.

Lo scenario 2 si presenta come la soluzione con il livello di recupero di materia più elevato, costituito dal 15% di frazione secca, che è quasi quattro volte la quantità prevista nello scenario 1, che si ferma al 4%. A discapito di ciò sono presenti numerose criticità in ampio contrasto con gli stessi obiettivi imposti dal Piano. La problematica principale è legata all'ampio utilizzo della discarica come soluzione di smaltimento finale del rifiuto. Gli impianti MRF hanno una produzione di scarti molto elevata, circa il 66% del RUR in ingresso, con caratteristiche qualitative molto basse, essendo stati separati da tutte le frazioni più di valore. Questi sono composti dal sottovaglio bio-stabilizzato, unica frazione sottoposta a trattamento biologico, e dal sovvallo privato delle frazioni mandate a recupero, che sono rispettivamente il 29% e il 37% del materiale in ingresso. Il conferimento in discarica in uscita dai MRF è previsto essere di 427.290 t/a, circa il 66% del RUR in ingresso, più del doppio rispetto al 31% ipotizzato nello scenario precedente (200.697 t/a). Se si considerano anche gli scarti della raccolta differenziata, quantificati con le stesse assunzioni dello scenario 1 e quindi sottostimati<sup>7,8</sup>, risulta un ricorso alla discarica come destino finale per 561.090 t/a, che corrispondono al 30% del rifiuto urbano totale. Questo valore risulta essere nettamente superiore all'obiettivo posto dal Piano, che stabilisce un valore di conferimento in discarica massimo degli scarti derivanti dal trattamento del rifiuto urbano pari al 20% in peso. Risulta critica anche la gestione della frazione leggera ad estrusione, per cui non sono state indicate soluzioni di smaltimento. La migliore ipotesi risulta essere il recupero energetico, scelta comunque di difficile applicazione per l'estrema saturazione del mercato degli scarti plastici da inviare ad incenerimento. Infatti, tutta la filiera del riciclo della plastica si trova già nella difficoltà di gestire una forte eccedenza di plasmix (insieme di plastiche non riciclabili separata dalla frazione idonea al recupero di materiale) che non trova sbocco in un mercato assolutamente insufficiente. Questa difficoltà di gestione fa immaginare un probabile smaltimento in discarica anche della frazione leggera, andando a peggiorare uno scenario già notevolmente critico. Infine, risulta contraddittorio che in questo scenario sia stata considerata una quantità di frazione organica sufficiente per ipotizzare un trattamento biologico, mentre nello scenario precedente, in cui si ha produzione di CSS EoW, sia

stato valutato trascurabile, pur avendo in ingresso lo stesso rifiuto con la stessa composizione.

### **6.2.3 Situazione impiantistica scenari 1 e 2**

Entrambi gli scenari propongono lo sviluppo di trattamenti attualmente non presenti in nessun impianto della Regione. Questo comporterebbe la necessità di procedere con un profondo rinnovamento del parco impiantistico. In realtà, come evidenziato anche dal Piano, in entrambi i casi sarebbe possibile sfruttare il parco impiantistico già presente sul territorio, predisponendovi le dovute modifiche.

Lo scenario 1 prevede il trattamento di 647.409 t/a di rifiuto urbano residuo in impianti adibiti alla produzione di CSS EoW. Non è presente nessun impianto con queste caratteristiche, mancanza a cui si può sopperire adattando i TM già presenti, le cui capacità (Tabella 17) non sono però sufficienti. A questi si possono aggiungere alcuni impianti TMB, che dovranno anche loro essere modificati e adattati, per rispondere alle necessità di trattamento.

Già nel paragrafo 6.2.1 sono state spiegate le grosse difficoltà legate all'utilizzo del CSS EoW prodotto a partire dal RUR, la cui soluzione non è rappresentata nemmeno dalla costruzione di impianti di termovalorizzazione, perché non autorizzati a smaltirlo.

Lo scenario 2 prevede il trattamento del rifiuto urbano residuo solo attraverso impianti MRF, completamente assenti in Puglia. Questi sono una tipologia particolare di impianti TMB, da cui differiscono solo per alcuni processi, più incentrati sulla separazione del rifiuto nelle sue componenti. Per questo motivo si può assumere che il parco impianti sia soddisfatto dalla conversione dei TMB già presenti, le cui capacità di trattamento sono indicate in Tabella 16.

La possibilità di smaltire la frazione leggera attraverso recupero energetico (R1) dipende dalle caratteristiche del materiale stesso e dalla sua applicabilità alle tecnologie degli impianti presenti. Se lo smaltimento in termovalorizzatori con combustore a letto fluido è fattibile, il fabbisogno è ampiamente soddisfatto, altrimenti la capacità di smaltimento della Regione è nulla.

## **6.3 Proposte di scenario migliorative**

L'analisi delle criticità degli scenari presentati nel PRGRU ha condotto alla definizione di una proposta alternativa, che tenesse conto degli obiettivi imposti dal Piano stesso e delle numerose infrastrutture già presenti in Puglia. Per definire la filiera di trattamento del rifiuto urbano più idonea, si è anche tenuto conto delle proiezioni della composizione merceologica del rifiuto al 2025, illustrate nel Capitolo 5, necessarie per stabilire la necessità o meno di effettuare anche un trattamento biologico al rifiuto urbano residuo. Le previsioni di rendimento degli impianti sono le stesse ipotizzate nel Piano, perché si ritiene che, se inserite nel quadro programmatico proposto dalla Regione, siano verosimilmente raggiungibili.

### 6.3.1 Scenario 0 a regime

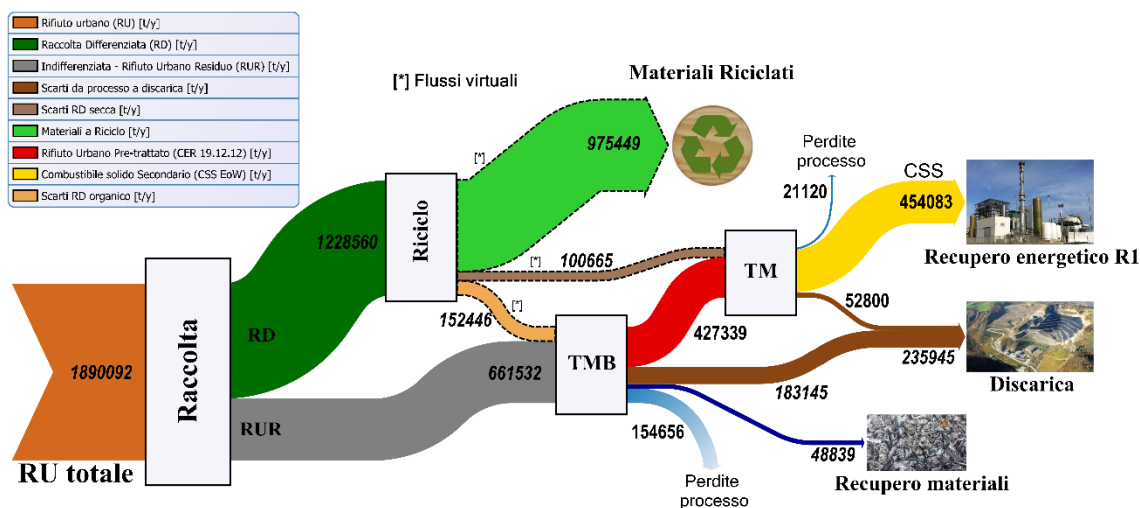


Figura 25 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 0, [t/a].

La Figura 25 è la rappresentazione grafica dei flussi prodotti dalla gestione del rifiuto urbano ipotizzati nello “scenario 0”, proposta migliorativa rispetto a quanto indicato nel PRGRU.

La filiera di trattamento del rifiuto non si discosta molto dalla attuale gestione, da cui si differenzia principalmente per due punti:

- i rendimenti di trattamento, principalmente degli impianti TMB, sono considerati molto più elevati e in nessun caso i prodotti di un impianto sono interamente conferiti in discarica;
- gli scarti da raccolta differenziata sono gestiti diversamente a seconda dell'origine: quelli provenienti dalla frazione organica vengono conferiti agli impianti TMB, mentre quelli delle frazioni secche sono uniti alla FSC ed inviati al solo trattamento meccanico.

Le proiezioni della composizione merceologica del rifiuto al 2025 suggeriscono come sia necessario mantenere il trattamento biologico del RUR, a cui deve seguire anche un trattamento meccanico di raffinazione. Infatti, anche se gli obiettivi del Piano prevedono valori di raccolta differenziata della FORSU molto alti, il quantitativo di materia organica (domestica e verde) presente nel RUR non giustifica l'eliminazione del trattamento biologico, sebbene questo possa essere applicato in maniera più blanda. Gli impianti TM producono CSS ordinario, scelta preferibile rispetto alla produzione di CSS End of Waste per la sua minor difficoltà a trovare spazio nell'attuale mercato dei combustibili da rifiuto, come spiegato nel Paragrafo 6.2.1. Viene mantenuto il recupero di materia, per separare dal rifiuto tutte le frazioni che riducono la qualità del CSS ma che presentano valide possibilità di riciclo. Infine, la discarica continua ad essere l'unica alternativa per lo smaltimento degli scarti dei vari processi di trattamento del rifiuto, sia degli impianti TMB che TM.

La produzione di rifiuto urbano è stata ipotizzata pari a quella del 2017 (1.890.092 t/a), assunzione cautelativa prevista anche negli scenari proposti nel PRGRU. Questa è stata suddivisa nelle due frazioni di rifiuto: la raccolta differenziata, pari a complessivamente il 65%, e il rifiuto urbano residuo. Per il calcolo della quantità di scarti prodotti dalla selezione della RD, sono state utilizzate le stesse percentuali assunte per il 2016 e 2017, mostrate in Tabella 8, ma applicate al quantitativo di rifiuto

separato con differenziata previsto nella fase a regime. Nel Capitolo 5 è riportata l'analisi della loro composizione, che ha definito la scelta di trattamento. Gli scarti della FORSU, quantificati in 152.449 t/a, sono destinati al trattamento di impianti TMB prima e TM poi; gli scarti da tutte le altre frazioni secche sono da destinarsi invece al solo trattamento meccanico, con un contributo di 100.665 t/a.

I rendimenti di trattamento degli impianti TMB e TM sono stati assunti pari a quelli previsti nello scenario transitorio proposto nel Piano. Le Tabelle 33 e 33-bis ne riportano i valori, insieme ai valori assoluti dei flussi in uscita dagli impianti.

Tabella 33 - Rendimento trattamenti impianti TMB, scenario 0.

Rendimento TMB	[%]	[t/a]
Produzione 19.12.12	52,5%	427.339
Perdite di processo	19,0%	154.656
Recupero materiali	6,0%	48.839
Flusso a discarica	22,5%	183.145
<b>TOTALE</b>	<b>100,0%</b>	<b>813.978</b>

Tabella 33 bis - Rendimento trattamenti impianti TM, scenario 0.

Rendimento TM	[%]	[t/a]
produzione 19.12.10	86,0%	454.083
Perdite di processo	4,0%	21.120
Recupero materiali	0,0%	0
Flusso a discarica	10,0%	52.800
<b>TOTALE</b>	<b>100,0%</b>	<b>528.003</b>

Il rifiuto in ingresso agli impianti TMB risulta pari a 813.978 t/a, somma del rifiuto urbano residuo (661.532 t/a) e degli scarti da raccolta differenziata della FORSU (152.446 t/a). Al trattamento meccanico confluisce le 427.339 t/a di FSC prodotta (CER 19.12.12) insieme agli scarti delle frazioni secche di raccolta differenziata (100.665 t/a), per un complessivo di 528.003 t/a.

Una delle differenze rispetto allo scenario transitorio riguarda i rendimenti degli impianti TM, per cui è stata assunta nulla la separazione di materiale da avviare a recupero, ipotizzando che venga già totalmente effettuata negli impianti TMB. Per chiusura di bilancio, sono state indicate perdite di processo pari al 4%, attribuibili ad una possibile evaporazione durante i trattamenti. A differenza dello scenario transitorio, i valori di rendimento dei TM sono più ragionevoli, perché in ingresso si ha rifiuto già trattato (FSC). Nello scenario transitorio, invece, si ipotizzano gli stessi rendimenti, ma con una frazione di rifiuto tal quale in ingresso non trascurabile.

Se si analizzano i flussi finali della filiera, risulta un complessivo miglioramento rispetto agli scenari proposti nel PRGRU. La produzione di CSS è maggiore che nello scenario 1, senza che vi siano penalizzazioni dal punto di vista qualitativo del prodotto. Non trattandosi di CSS EoW è possibile sfruttare le infrastrutture già presenti e funzionanti sul territorio regionale, garantendo un adeguato smaltimento. L'aumento di produzione di CSS comporta anche una minor produzione di scarti da inviare in discarica, il cui conferimento complessivo risulta diminuito rispetto ad entrambi gli scenari. Il ricorso totale alla discarica risulta quindi del 12.5% in peso del rifiuto urbano totale, garantendo, a differenza delle altre proposte, il rispetto del vincolo imposto dal Piano di un massimo del 20%. La bontà del risultato è ulteriormente rafforzata dal calcolo degli scarti da raccolta differenziata, effettuato con ipotesi che ne prevedono un quantitativo stimato maggiore, quindi più cautelativo. La frazione purificata dagli scarti è quella effettivamente inviata a recupero di materiale, senza che sia compresa una parte destinata al recupero energetico.

Per un'analisi completa del fabbisogno impiantistico relativo al rifiuto urbano indifferenziato trattato nello scenario 0 è necessario valutare la capacità di impianti TMB, TM e termovalorizzatori. Si possono mantenere valide le considerazioni e



valutazioni effettuate riguardo allo scenario transitorio, in cui la capacità di ogni impianto è stata analizzata e corretta, eliminando gli errori presenti nel PRGRU ed applicando un opportuno fattore di sicurezza. I risultati sono riportati in Tabella 34.

Tabella 34 - Valutazioni fabbisogno e capacità impiantistica per lo scenario 0, [t/a]

Impianti	[%] FSC	Fabbisogno	Capacità netta	Surplus/ deficit
<b>TMB</b>	---	<b>813.978</b>	<b>1.124.185</b>	<b>310.206</b>
<b>TM</b>				
Minimo	40,0%	426.256	543.371	117.115
<b>Medio</b>	<b>52,5%</b>	<b>528.003</b>	<b>543.371</b>	<b>15.367</b>
Massimo	65,0%	629.751	543.371	-86.380
<b>WtE</b>				
Minimo	40,0%	366.580	414.800	48.220
<b>Medio</b>	<b>52,5%</b>	<b>454.083</b>	<b>414.800</b>	<b>-39.283</b>
Massimo	65,0%	541.586	414.800	-126.786

Per il trattamento meccanico-biologico vi è un notevole surplus, poiché la capacità totale degli impianti è progettata per l'attuale produzione di rifiuto urbano residuo, molto maggiore rispetto a quella prevista con una raccolta differenziata al 65%. Il fabbisogno impiantistico di impianti TM e termovalorizzatori (WtE) è influenzato dall'efficienza di produzione di FSC, che influenza il quantitativo totale inviato a trattamento meccanico e la conseguente produzione di CSS. Per gli impianti TM, la capacità netta totale risulta adeguata, a meno che la produzione di FSC non si assesti su valori vicini al massimo ipotizzato. Al contrario, la capacità di incenerimento di CSS è leggermente deficitaria anche per lo scenario medio, generalmente adottato come di riferimento. Si ricorda che gli impianti di termovalorizzazione Newo s.p.a. e Appia Massafra 2 sono stati già considerati in funzione e la capacità del cementificio Buzzi è stata considerata per intero, sebbene sia un'assunzione poco cautelativa. È quindi probabile la necessità di un nuovo impianto o il potenziamento di quelli esistenti.

### 6.3.2 Scenario 0 di transizione

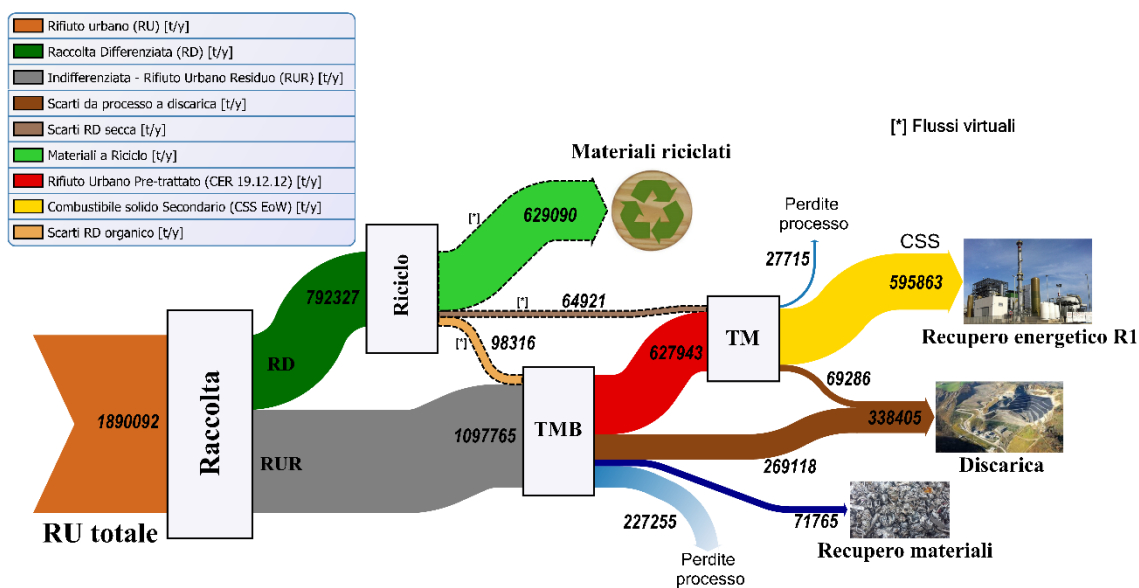


Figura 26 - Schema dei flussi del rifiuto urbano previsto nello scenario 0 di transizione, [t/a].

La Figura 26 è la rappresentazione grafica dello scenario 0 in fase transitoria, cioè che intercorre tra il presente e il raggiungimento del 65% di raccolta differenziata. Le ipotesi ed assunzioni fatte per la definizione dello scenario 0 a regime sono state interamente riportate, variando esclusivamente la percentuale di raccolta differenziata, assunta pari al 36,5% (valore del 2017). Il valore dei flussi espresso nello schema varierà ogni anno, allineandosi sempre di più allo scenario 0, per il prevedibile aumento di raccolta differenziata che si registrerà. La produzione di rifiuti urbani è sempre assunta pari a quella del 2017.

Rispetto allo scenario 0 è prevista una più consistente produzione di CSS, contestualmente ad un maggiore conferimento in discarica, dovuti ad un più grande flusso di RUR in ingresso agli impianti TMB. Un maggior quantitativo di RUR corrisponde ad una percentuale di raccolta differenziata minore, che produce un flusso destinato al recupero di materia più ridotto.

In Tabella 35 si riportano i valori di fabbisogno e capacità impiantistica dello scenario 0 transitorio.

Tabella 35 - Valutazioni fabbisogno e capacità impiantistica per lo scenario 0 di transizione, [t/a].

Impianti	[%] FSC	Fabbisogno	Capacità netta	Surplus/ deficit
<b>TMB</b>	---	<b>1.196.081</b>	<b>1.124.185</b>	<b>-71.897</b>
<b>TM</b>				
Minimo	40,0%	543.354	543.371	17
<b>Medio</b>	<b>52,5%</b>	<b>692.864</b>	<b>543.371</b>	<b>-149.493</b>
Massimo	65,0%	842.374	543.371	-299.003
<b>WtE</b>				
Minimo	40,0%	467.284	255.000	-212.284
<b>Medio</b>	<b>52,5%</b>	<b>595.863</b>	<b>255.000</b>	<b>-340.863</b>
Massimo	65,0%	724.442	255.000	-469.442
<b>WtE futuro</b>				
Minimo	40,0%	467.284	414.800	-52.484
<b>Medio</b>	<b>52,5%</b>	<b>595.863</b>	<b>414.800</b>	<b>-181.063</b>
Massimo	65,0%	724.442	414.800	-309.642

I risultati sono riferiti ai valori assunti per la rappresentazione di Figura 26, quindi relativi ad un immediato presente. Risulta un deficit impiantistico per ogni componente della filiera di trattamento: impianti TMB, TM e termovalorizzatori. Il deficit dei primi due non è molto ampio, e la relativa velocità con cui dovrebbe diminuire non rende necessaria la costruzione di altri impianti. Inoltre, le analisi effettuate per la fase a regime nello scenario precedente mostrano come la capacità attuale risulterà sufficiente al raggiungimento del 65% di RD. Per i termovalorizzatori sono state indicate sia le capacità attuali che quelle future, con l'entrata in funzione dei due nuovi impianti. Anche se la produzione di CSS è destinata a diminuire, il deficit, enorme nel futuro più prossimo, persiste anche nella fase a regime, rendendo necessario un ampliamento della capacità di incenerimento della Regione.

## **7 Analisi ambientale della gestione del rifiuto urbano residuo**

### **7.1 Materiali e metodi**

#### **7.1.1 Confini dell'analisi**

Il punto di partenza dell'analisi ambientale è stata la definizione dei confini entro i quali valutare e conteggiare gli impatti della filiera di trattamento del rifiuto. Si è deciso di iniziare l'analisi della gestione del RUR dal momento del suo ingresso negli impianti TMB, escludendo così tutta la fase di raccolta, sia a livello comunale, che di conferimento ai diversi impianti. Tale scelta è giustificata dall'interesse dello studio, principalmente rivolto agli impianti di trattamento del rifiuto urbano residuo e del suo smaltimento finale, la cui analisi è influenzata solo in minima parte dal sistema di raccolta posto a monte. Inoltre, la definizione di scenari futuri con una gestione del RUR differente rispetto a quella attuale, potrebbero modificare la filiera di raccolta del rifiuto, ma il cambiamento degli impatti prodotti sarebbe trascurabile rispetto al conteggio totale.

In seguito al conferimento del rifiuto urbano residuo agli impianti TMB di primo destino, la rendicontazione degli impatti segue tutta la filiera di trattamento, fino allo smaltimento finale, analizzando tutti i flussi in uscita, sia quello principale che i sottoprodotti o frazioni di scarto. Nel conteggio totale degli impatti è stato trascurato il contributo del recupero di materiale, principalmente metalli ferrosi e non ferrosi, in uscita dagli impianti TMB e TM. Questo comprende sia i benefici degli impatti negativi legati al recupero di materiale, che sostituisce la produzione di materiale vergine, che la produzione di ulteriori impatti, legato al loro trasporto in impianti adibiti al loro trattamento. Gli unici altri impatti trascurati sono lo smaltimento o recupero delle ceneri prodotte dai termovalorizzatori, sia il recupero della frazione metallica contenuta in esse, che lo smaltimento della componente principale inerte. Gli impatti da recupero di metalli, sia da impianti TMB e TM che dalle ceneri dei termovalorizzatori, sono di piccola entità, quindi considerati trascurabili; gli effetti delle ceneri da combustione di CSS sono stati esclusi dall'analisi per la loro natura inerte, poiché avrebbe influenzato minimamente il conteggio finale delle categorie di impatto scelte.

#### **7.1.2 Categorie d'impatto e sorgenti analizzate**

L'analisi ambientale si è concentrata sulle emissioni in atmosfera dei processi della filiera di trattamento del RUR. In particolare, sono state quantificate le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente, NO<sub>x</sub> e particolato. La CO<sub>2</sub> equivalente è stata calcolata utilizzando il Global Warming Potential (GWP)<sup>9</sup>, assumendo il valore di ciascun gas serra riferito ad un orizzonte temporale di 100 anni. Nel calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> si è contabilizzata separatamente quella di origine biogenica e quella di origine fossile; successivamente per il calcolo della CO<sub>2</sub> equivalente ciascuna è stata moltiplicata per il corrispondente GWP. Per la CO<sub>2</sub> biogenica è pari a 0, poiché si considera la sua emissione neutralizzata dall'assorbimento della CO<sub>2</sub> avvenuta durante la formazione della biomassa. Al contrario, la CO<sub>2</sub> di origine fossile viene conteggiata con un GWP pari a 1.

Le sorgenti delle emissioni sono strettamente associate alle operazioni svolte negli impianti di trattamento dei rifiuti, che contribuiscono sia in maniera diretta che indiretta. Esse sono originate quindi dagli impianti TMB, TM, discariche e termovalorizzatori. Partendo dall'inizio della filiera, i TMB e i TM contribuiscono con i loro consumi di energia elettrica, prelevata dalla rete nazionale, e di gasolio. La prima si può considerare la più importante sorgente di emissioni indirette, che sono legate alla produzione e distribuzione dell'energia elettrica stessa, utilizzata dai macchinari di trattamento e raffinazione del rifiuto. Il consumo di gasolio è, invece, un'emissione diretta, dovuto alla movimentazione dei mezzi. Per il particolato sono considerate anche le emissioni dirette degli impianti.

I termovalorizzatori hanno emissioni dirette di CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM dal camino, dovute alla combustione del CSS e del combustibile ausiliario, anche in questo caso gasolio. La CO<sub>2</sub> totale emessa ha sia una quota fossile che una biogenica, a seconda della composizione del CSS. La produzione di elettricità immessa in rete dagli impianti stessi, al netto degli autoconsumi, viene considerata come impatto negativo, in termini di emissioni evitate.

Le discariche, infine, presentano emissioni legate ai consumi di energia elettrica e gasolio per il funzionamento dell'impianto (analogamente a TMB e TM), ed alla produzione di biogas. Questo presenta un contributo positivo dovuto alla quota non captata e quindi rilasciata direttamente in atmosfera, principalmente composta da CO<sub>2</sub> biogenica e metano, oltre alle emissioni dovute alla combustione del biogas captato e utilizzato in motori per la produzione di energia elettrica.

Vista la particolare organizzazione del sistema di trattamento, si sono considerate anche le emissioni originate dal trasporto dei materiali tra le varie fasi di trattamento. Sono stati considerati sia i trasporti tra i vari impianti TMB e TM, sia verso gli impianti di trattamento/smaltimento finale, che si trattasse delle discariche per gli scarti o dei termovalorizzatori per il CSS.

### **7.1.3 Dati utilizzati e ipotesi effettuate**

Si descrivono nel seguito i dati utilizzati nello studio, analizzando una ad una le varie componenti del sistema. Insieme ai dati sono riportate tutte le ipotesi che sono state necessarie per rendere completo il quadro ambientale, integrando le informazioni non direttamente disponibili. Si ricorda che sono stati considerati i trasporti, gli impianti TMB e TM, i termovalorizzatori e le discariche.

#### **7.1.3.1 Trasporti**

È ragionevole attendersi che il trasporto rivesta un ruolo non trascurabile nelle emissioni del sistema, principalmente a causa dell'organizzazione territoriale degli impianti. Essi, che siano di trattamento o smaltimento finale del rifiuto, sono dislocati su tutta l'area regionale, ma senza una precisa pianificazione che permetta di minimizzare gli spostamenti. Sono presenti situazioni logistiche che obbligano il trasporto del rifiuto tra impianti anche ai due estremi della Regione, con un inevitabile ampio utilizzo di autoarticolati per i trasferimenti. La filiera di produzione di CSS è organizzata in modo da rendere imprescindibile il passaggio per almeno due impianti (TM e TMB), con situazioni in cui è presente anche una terza fase per un'ulteriore raffinazione. Vi è infatti un unico sito (Conversano, BA) progettato per la diretta produzione di CSS da RUR tal quale, cosa che elimina di fatto il trasferimento

intermedio tra impianto TMB e TM. Inoltre i flussi in uscita dagli impianti TM, che siano di scarto o CSS, devono essere conferiti in discarica o in un termovalorizzatore, così come gli scarti della produzione di FSC.

Per il calcolo delle emissioni è stata definita la percorrenza media del rifiuto, espressa in km/t, in ciascun passaggio compiuto dal RUR nella filiera di trattamento. Il calcolo è stato svolto attraverso una media pesata di ciascun flusso per il suo numero di km percorsi. Si è così giunti ad un valore medio di trasporto in km per la FSC (CER 19.12.12) da TMB a TM, per il CSS da TM a termovalorizzatore e dei flussi a discarica da TMB e TM. Di seguito si riportano i valori per gli anni 2016 e 2017.

Tabella 36 - Calcoli per definizione trasporto medio, anno 2016.

IMPIANTO	TRASPORTO OUTPUT		TRASPORTO A DISCARICA	
<b>TMB</b>	TOT FSC a raffinazione [t]	176.784	TOT a discarica [t]	784.906
	km/t medio	<b>50,0</b>	km/t medio	<b>40,7</b>
	Numero viaggi (A/R)	11786	Numero viaggi (A/R)	52327
<b>TM</b>	TOT CSS a incenerim. [t]	164.909	TOT a discarica [t]	11.850
	km/t medio	<b>139,8</b>	km/t medio	<b>59,3</b>
	Numero viaggi (A/R)	10994	Numero viaggi (A/R)	790

Tabella 37 - Calcoli per definizione trasporto medio, anno 2017.

IMPIANTO	TRASPORTO OUTPUT		TRASPORTO A DISCARICA	
<b>TMB</b>	TOT FSC a raffinazione [t]	242.579	TOT a discarica [t]	714.268
	km/t medio	<b>53,1</b>	km/t medio	<b>40,7</b>
	Numero viaggi (A/R)	16172	Numero viaggi (A/R)	47618
<b>TM</b>	TOT CSS a incenerim. [t]	183.580	TOT a discarica [t]	37.397
	km/t medio	<b>89,3</b>	km/t medio	<b>59,3</b>
	Numero viaggi (A/R)	12239	Numero viaggi (A/R)	2493

Il calcolo del valore medio di percorrenza di ciascuna tipologia di impianto è stato fatto basandosi sull'analisi impiantistica del Capitolo 4, in cui si era definito l'origine e il destino di ogni flusso. Una volta acquisiti tutti i dati di percorrenza di ciascun flusso, si è fatta la media pesata sulle quantità. Il trasporto di CSS in uscita da TM destinato ad ulteriore raffinazione è stato incluso in maniera fittizia nel trasporto tra TMB e TM, risultando quindi nella FSC totale a raffinazione. Il numero di viaggi è stato calcolato in base alla portata degli automezzi utilizzati, assunta di 30 tonnellate, considerando che per il trasporto sia necessario un viaggio di andata e uno di ritorno. Per l'anno 2016 si disponeva di tutti i dati riguardanti le destinazioni dei flussi in uscita da ciascun impianto, ad eccezione di alcuni flussi a discarica, corrispondenti a circa il 20% del totale. Per questi è stato assunto lo smaltimento nella discarica più vicina, tra quelle di cui non si aveva a disposizione il quadro completo dell'origine dei rifiuti conferiti. Riguardo all'anno 2017, non vi erano dati relativi all'impianto di destino finale degli scarti, per cui, per i flussi in uscita da impianti TMB e TM verso le discariche, è stata assunta la stessa distanza media calcolata per il 2016.

Il flusso principale è, per entrambi gli anni, quello destinato a discarica in uscita dai TMB, che produce quindi i maggiori impatti a causa del maggiore numero di viaggi. La quantità di CSS conferita dai TM ai termovalorizzatori è invece molto minore, ma

caratterizzata da una notevole distanza media, specialmente nel 2016, rendendo l'impatto per tonnellata di rifiuto trasportata molto maggiore. La sensibile diminuzione dal 2016 al 2017 coincide con l'entrata in funzione dell'impianto TM di Manfredonia, che alimenta direttamente l'adiacente termovalorizzatore E.T.A.

I fattori di emissione assunti sono relativi ad autocarri di 35/40 tonnellate, considerando una flotta stradale equivalentemente ripartita tra veicoli appartenenti alle categorie comprese tra Euro III ed Euro VI (veicoli immessi sul mercato dal 2001)<sup>10</sup>. Sono state prese in considerazione le emissioni di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> per valutare la CO<sub>2</sub> equivalente, di NO<sub>x</sub> e particolato, comprensivo sia delle emissioni allo scarico che da usura di freni e pneumatici.

### 7.1.3.2 Impianti TMB e TM

Dall'anno 2016 in Puglia sono stati azzerati i conferimenti di rifiuto in discarica come primo destino, prevedendo il trattamento di tipo biologico e meccanico per tutto il rifiuto urbano residuo prodotto. Il raggiungimento di questo obiettivo è da considerarsi sicuramente migliorativo per il perseguimento di una maggiore sostenibilità del trattamento del RUR. Non conferire rifiuto tal quale direttamente in discarica permette di ridurre il peso, stabilizzare la frazione organica più putrescibile e recuperare alcune frazioni riciclabili. Tutte queste operazioni sono svolte dagli impianti TMB e TM, che però hanno inevitabili consumi elettrici e di combustibile, responsabili di emissioni atmosferiche dirette e indirette.

I dati di consumo elettrico e di gasolio degli impianti sono stati ottenuti dalle relazioni annuali fornite dai gestori. I consumi di ciascun impianto sono stati riferiti ad una tonnellata di materiale in ingresso, esprimendoli in kWh/t per l'energia elettrica e l/t per il gasolio. Per gli impianti che non hanno reso disponibili i loro dati è stato assunto il valore medio, calcolato attraverso la media pesata sul rifiuto trattato da ciascun impianto. La scelta di definire i consumi riferendoli ad una tonnellata di rifiuto trattato ha permesso di semplificare il calcolo dell'utilizzo di energia elettrica annuale di tutti i TMB e TM della regione Puglia, ottenuto con una semplice moltiplicazione per il flusso totale in ingresso agli impianti.

Quando viene consumata energia elettrica bisogna tenere in considerazione le emissioni indirette dovute alla sua produzione, che sono estremamente sensibili ai tipi di combustibili utilizzati nelle centrali termoelettriche e alla penetrazione nella rete delle fonti rinnovabili. I fattori di emissione presi in considerazione per lo studio (Tabella 38), sono stati calcolati sul mix energetico della Puglia, definito con i dati di Terna<sup>11</sup> che ripartiscono la produzione di elettricità secondo le varie fonti energetiche, e i fattori di emissione di ciascun combustibile, pubblicati sul rapporto ISPRA delle emissioni dal settore elettrico<sup>12</sup>.

Tabella 38 - Fattori di emissione mix energetico Puglia, 2016.

Combustibile	GWh	tCO <sub>2</sub> eq./GWh	t CO <sub>2</sub> eq.
<b>Solidi</b>	8.962	895,7	8.026.995
<b>gas naturale</b>	12.815	367,5	4.709.366
<b>gas derivati</b>	2.502	1639,5	4.102.685
<b>prodotti petroliferi</b>	519	548,8	284.882
<b>altri combustibili</b>	2.218	137,6	305.238
<b>Rinnovabili</b>	8.262	0,0	0





(kg/m<sup>3</sup>), anch'essa riferita a condizioni normali. Le emissioni annuali sono state calcolate moltiplicando le concentrazioni dei gas nei fumi ottenute per la portata media oraria dei fumi stessi in uscita dal camino e per le ore di marcia di ciascun impianto. Le emissioni annuali totali dei vari impianti sono state poi divise per il rifiuto smaltito in ingresso, così da riferire i valori ad una tonnellata di CSS e renderli più confrontabili tra loro.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> sono state analizzate più in dettaglio, così da poterle suddividere nelle due componenti: fossile e biogenica. L'appartenenza ad una o all'altra dipende dalla natura del carbonio ossidato durante il processo di combustione: se questo deriva dal combustibile ausiliario (gasolio, nel nostro caso) o dalla componente plastica del CSS, la CO<sub>2</sub> prodotta è fossile, per tutti gli altri materiali biogenica. La quantità di gasolio utilizzato come combustibile ausiliario è riportata nelle schede tecniche fornite dai gestori, rendendo possibile quantificare le emissioni per cui è direttamente responsabile, con un opportuno fattore di conversione, espresso in kgCO<sub>2</sub> emessa/l gasolio<sup>13</sup>. Non essendo disponibili analisi merceologiche ed elementari del CSS conferito ai due impianti, non è stato possibile calcolare la ripartizione del contenuto di carbonio tra fossile e biogenico. Effettuando una ricerca bibliografica di studi scientifici sul tema<sup>14 15</sup>, si riscontra come il carbonio fossile del rifiuto tal quale sia minore rispetto a quello del CSS, in cui si registra un crescita della frazione plastica strettamente legata ad un maggiore PCI del materiale. Gli impianti di Appia ed ETA sono alimentati con CSS caratterizzato da un PCI non particolarmente elevato, compreso tra i 15 e i 16 MJ/kg. È stato convenuto quindi, di effettuare una scelta cautelativa, assumendo una componente biogenica del carbonio pari al 45%. Per calcolare la ripartizione finale della CO<sub>2</sub> tra biogenica e fossile, si è sottratta alla quantità complessiva in uscita dal camino la frazione relativa al combustibile ausiliario, conteggiata come fossile, mentre la restante, prodotta esclusivamente dalla combustione del CSS, è stata suddivisa nelle due frazioni, secondo le percentuali ipotizzate.

La quantificazione delle emissioni evitate fa riferimento alla produzione di energia elettrica, i cui dati sono indicati nella scheda tecnica di ciascun impianto. Viene riportato sia il quantitativo di energia elettrica lorda generata dalla turbina sia l'immissione netta in rete, cioè quella lorda privata degli autoconsumi necessari al funzionamento dell'impianto. L'elettricità immessa in rete sostituisce una parte del fabbisogno generativo della Regione. Le emissioni evitate per la diminuzione della produzione necessaria di elettricità sono da pertanto da sottrarre a quelle emesse direttamente dai termovalorizzatori. Queste dipendono dal mix energetico regionale, per cui è calcolato un fattore di emissione per kWh prodotto. Si è fatta l'ipotesi che l'energia elettrica prodotta dai termovalorizzatori sostituisca quella generata da centrali termoelettriche, in quanto nell'ottica di una sempre maggiore decarbonizzazione del settore elettrico è improbabile che, in caso di surplus energetico, vengano fermate le fonti rinnovabili. Di conseguenza, le emissioni evitate per l'energia elettrica immessa in rete sono calcolate con il fattore relativo alla sola componente termoelettrica della regione Puglia, che è riportato in Tabella 30. Queste assunzioni sono state fatte solo per le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente, unica componente di cui erano disponibili dati riferiti alla Puglia. Per le emissioni di NO<sub>x</sub> e particolato sono stati considerati i valori medi nazionali, sempre riferiti all'anno 2016 e riportati in Figura 23. Dopo aver definito le emissioni per tonnellata di CSS di ciascun impianto

si è fatta una media pesata sul CSS in ingresso tra i valori di Appia ed ETA, determinando un fattore di emissione per il 2016 e per il 2017 (Tabella 39).

Tabella 39 - Emissioni Termovalorizzatori, riferite a tonnellata di CSS in ingresso, anni 2016 e 2017

2016		2017	
<b>Emissioni dirette</b>		<b>Emissioni dirette</b>	
<b>CO2 eq. [kg/tCSS]</b>	<b>684,7</b>	<b>CO2 eq. [kg/tCSS]</b>	<b>705,1</b>
CO2 bio [kg/tCSS]	551,3	CO2 bio [kg/tCSS]	567,0
CO2 fos [kg/tCSS]	684,7	CO2 fos [kg/tCSS]	705,1
CO2 tot [kg/tCSS]	1236,1	CO2 tot [kg/tCSS]	1272,1
<b>NOx [g/tCSS]</b>	<b>729,2</b>	<b>NOx [g/tCSS]</b>	<b>861,5</b>
<b>PM [g/tCSS]</b>	<b>5,0</b>	<b>PM [g/tCSS]</b>	<b>1,9</b>
<b>Emissioni evitate</b>		<b>Emissioni evitate</b>	
<b>CO2 eq. [kg/tCSS]</b>	<b>468,0</b>	<b>CO2 eq. [kg/tCSS]</b>	<b>499,8</b>
CO2 bio [kg/tCSS]	0,0	CO2 bio [kg/tCSS]	0,0
CO2 fos [kg/tCSS]	468,0	CO2 fos [kg/tCSS]	499,8
CO2 tot [kg/tCSS]	468,0	CO2 tot [kg/tCSS]	499,8
<b>NOx [g/tCSS]</b>	<b>172,4</b>	<b>NOx [g/tCSS]</b>	<b>184,1</b>
<b>PM [g/tCSS]</b>	<b>4,1</b>	<b>PM [g/tCSS]</b>	<b>4,4</b>
<b>Emissioni nette</b>		<b>Emissioni nette</b>	
<b>CO2 eq. [kg/tCSS]</b>	<b>216,7</b>	<b>CO2 eq. [kg/tCSS]</b>	<b>205,3</b>
CO2 bio [kg/tCSS]	551,3	CO2 bio [kg/tCSS]	567,0
CO2 fos [kg/tCSS]	216,7	CO2 fos [kg/tCSS]	205,3
CO2 tot [kg/tCSS]	768,0	CO2 tot [kg/tCSS]	772,3
<b>NOx [g/tCSS]</b>	<b>556,9</b>	<b>NOx [g/tCSS]</b>	<b>677,5</b>
<b>PM [g/tCSS]</b>	<b>0,8</b>	<b>PM [g/tCSS]</b>	<b>-2,5</b>

I fattori di emissione dei due anni sono molto simili, con un leggero miglioramento dei valori di CO2 equivalente e particolato relativo al 2017. Questo è dovuto ad un funzionamento più costante dell'impianto di Appia, che nell'anno 2016 ha registrato numerose fermate impreviste per guasti, rendendo in alcuni periodi necessaria l'acquisizione di energia elettrica dalla rete. Ciò ha determinato una produzione netta di elettricità inferiore alle previsioni, con un conseguente abbassamento delle emissioni evitate. I valori di NOx emessi sono invece sensibilmente maggiori nel 2017. La concentrazione di NOx è fortemente influenzata dalle tecnologie di abbattimento installate nel singolo impianto, che possono avere efficienze notevolmente diverse. L'impianto di Appia, essendo più vecchio, non dispone degli stessi sistemi installati nell'impianto di ETA (SCR), che garantiscono rimozioni sensibilmente maggiori, con concentrazioni di NOx in uscita più che dimezzate. Nel 2017 la percentuale di CSS smaltito da Appia sul totale è stata maggiore rispetto all'anno precedente, determinando quindi un fattore di emissione medio nei due anni sensibilmente diverso.

#### 7.1.3.4 Discariche

Lo smaltimento in discarica è una consistente fonte di inquinamento per l'emissione di gas ad effetto serra, rappresentate dalla quota di biogas non captato. Il carbonio

presente nel biogas sotto forma di  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  è di origine biogenica, cosa che comporta un contributo in termini di  $\text{CO}_2$  equivalente solo da parte della sua componente di metano, caratterizzato da un  $\text{GWP}_{100}$  molto elevato, pari a  $28 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgCH}_4$  <sup>9</sup>. Il biogas captato viene generalmente bruciato in torcia per convertirlo in  $\text{CO}_2$ , che è sempre considerata biogenica, o in motore, che permette anche la produzione di energia elettrica.

Le emissioni considerate derivano dai consumi elettrici e di combustibile delle discariche, dal biogas non captato, che è direttamente immesso in atmosfera, e dal biogas smaltito mediante combustione, che è effettuata in motori, con un ricorso alla torcia solo per situazioni di emergenza. Questi contributi positivi sono in parte bilanciati dalle emissioni evitate per l'immissione in rete dell'energia elettrica prodotta dal motore.

Per la quantificazione delle emissioni da energia elettrica e combustibile consumati, sono state fatte le medesime ipotesi relative agli impianti TMB e TM. Con i dati resi disponibili dai gestori si sono definiti i consumi in termini di kWh e litri di gasolio per tonnellata di rifiuto smaltita, moltiplicandoli poi per i fattori di emissione già assunti in precedenza. Energia elettrica e gasolio contribuiscono quindi al conteggio della  $\text{CO}_2$  equivalente, alle emissioni di  $\text{NO}_x$  e di particolato. Sebbene la produzione di biogas avvenga per vari anni, si è assunto che vi siano consumi di carburante ed elettricità per i processi di trattamento solo nell'anno di conferimento.

Poiché la quantità smaltita in torcia risulta  $< 0,01\%$ , per il biogas si assume un completo utilizzo in motore, che si ipotizza abbia un'efficienza di conversione del metano in  $\text{CO}_2$  pari al  $99\%$  <sup>16</sup>. La percentuale di metano incombusta contribuisce al conteggio delle emissioni di  $\text{CO}_2$  equivalente, moltiplicandolo per il suo GWP. Tutta la  $\text{CO}_2$  rilasciata dai motori, sia quella già contenuta nel biogas che quella prodotta dall'ossidazione termica del metano è di origine biogenica, quindi con contributo nullo in termini di  $\text{CO}_2$  equivalente. La combustione del biogas in motore produce anche  $\text{NO}_x$  e particolato, i cui fattori di emissione ( $4000 \text{ mgNO}_x$  e  $770 \text{ mg}$  di particolato per  $\text{m}^3$  di metano bruciato) sono stati assunti da letteratura <sup>17</sup>. Si è ipotizzato che i piccoli consumi di elettricità dell'impianto vengano soddisfatti con energia elettrica prelevata dalla rete, mentre tutta quella prodotta dalla combustione del biogas in motore sia completamente immessa in rete. Per il calcolo del quantitativo di energia elettrica prodotta, il volume di metano captato è stato moltiplicato per il potere calorifico inferiore ( $9,2 \text{ kWh/Nm}^3$ ) e il rendimento medio di motori a biogas da discarica ( $0,35$ ), entrambi recuperati da letteratura <sup>18</sup>.

La quantità di biogas captato è estremamente influenzata dal tipo di copertura depositata sul rifiuto stoccato, che varia a seconda della fase di attività della discarica. Nei periodi di grande conferimento lo strato di suolo che ricopre i rifiuti è sottile e permeabile, garantendo percentuali di captazione minori; nelle fasi di chiusura della discarica si dispongono strati di materiali plastici, notevolmente impermeabili, che garantiscono rilascio di biogas in atmosfera fino ad un minimo del  $2\%$  del totale. Con i dati relativi a varie coperture <sup>19</sup> è stata fatta una media, pari al  $77\%$ , applicata alla totalità del biogas. La frazione non captata è responsabile di emissioni di  $\text{CO}_2$ , sempre biogenica, e metano che, analogamente alla frazione incombusta in uscita dal motore, viene espresso in  $\text{CO}_2$  equivalente.

La composizione del biogas varia nel corso del tempo, rendendo difficile definirne una ripartizione fissa. Nelle schede tecniche degli impianti è indicato un intervallo, entro il quale la composizione di ciascun gas è compresa, che, opportunamente

mediato, è stato assunto come dato per le analisi. In termini volumetrici, il metano risulta pari al 42.5%, la CO<sub>2</sub> al 33%, mentre la rimanente parte è principalmente composta da azoto e altri gas minori.

Le schede delle discariche disponibili riportano i valori di biogas captato e bruciato in un anno, da cui, una volta definito un valore medio di captazione, è facilmente deducibile il volume di biogas emesso direttamente in atmosfera. La produzione di biogas di una discarica è però molto diluita nel tempo, con valori variabili negli anni e che continua anche per molto tempo dopo la chiusura dell'impianto. Questo comporta che, per fare un'analisi accurata, è necessario calcolare il biogas totale prodotto da una tonnellata di rifiuto stoccata in discarica, che non potrà essere assunto dai valori annuali di produzione della discarica. Questo dato sarebbe un confronto impreciso con i valori delle emissioni delle altre sorgenti, come gli impianti di termovalorizzazione, in cui le emissioni di una tonnellata di rifiuto sono puntuali, totalmente emesse nel momento della sua combustione. Per questo motivo si è cercato di definire, attraverso un modello, il quantitativo totale di biogas prodotto per cui è responsabile ciascuna tonnellata di rifiuto conferito in discarica. Il modello scelto è LandGEM, formulato dall'EPA (Environmental Protection Agency of the United States), che calcola la produzione di biogas emesso da una discarica, suddivisa per ogni anno. Per rendere più accurato possibile il calcolo è necessario inserire nel modello alcuni parametri di caratterizzazione del rifiuto, che devono rappresentarne il più realisticamente possibile le proprietà. Si riporta in Figura 28 la formula della cinetica di produzione del metano da parte del rifiuto utilizzata nel modello, i cui parametri da inserire sono: Lo, cioè la capacità di generazione di metano potenziale, k, la costante di generazione del metano, la percentuale di metano nel biogas e l'anno di conferimento del rifiuto in discarica.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

$Q_{CH_4}$  = annual methane generation in the year of the calculation (m<sup>3</sup>/year)  
 $i$  = 1 year time increment  
 $n$  = (year of the calculation) - (initial year of waste acceptance)  
 $j$  = 0.1 year time increment  
 $k$  = methane generation rate (year<sup>-1</sup>)  
 $L_o$  = potential methane generation capacity (m<sup>3</sup>/Mg)  
 $M_i$  = mass of waste accepted in the  $i^{th}$  year (Mg)  
 $t_{ij}$  = age of the  $j^{th}$  section of waste mass  $M_i$  accepted in the  $i^{th}$  year

Figura 28 – Formula utilizzata nel modello LandGEM per la produzione di metano.

Il modello è costruito per calcolare le emissioni totali di una discarica, per cui richiede di inserire i dati di rifiuto conferito per ciascun anno, restituendo la quantità complessiva di biogas prodotto. Per calcolare la produzione totale di biogas di una tonnellata di rifiuto, si è ipotizzata una discarica con una capacità totale pari ad una tonnellata, conferita il primo anno di funzionamento.

La definizione di Lo e k è stata effettuata confrontando vari studi scientifici<sup>20 21 22</sup> con la caratterizzazione del rifiuto pugliese. Il valore di Lo è strettamente legato alla

composizione merceologica del rifiuto, in particolare alla concentrazione di materia biodegradabile. Gli studi effettuati per la modellizzazione di  $Lo^{22}$  ne suggeriscono un valore pari a  $160 \text{ m}^3/\text{t}$  per la frazione molto biodegradabile come rifiuto organico sfalci e fanghi,  $120 \text{ m}^3/\text{t}$  per quella moderatamente biodegradabile (carta, legno, tessili) e  $20 \text{ m}^3/\text{t}$  per la frazione inerte, principalmente metalli, vetro e plastica.

Con l'obiettivo di ipotizzare una stima di  $Lo$  più accurata possibile, si è cercato di definire la composizione degli scarti inviati a discarica da tutta la filiera di trattamento del rifiuto urbano residuo. Si è innanzitutto suddiviso gli impianti TMB in quelli che producono FSC da inviare ad ulteriore trattamento ed i restanti, i cui output sono completamente conferiti in discarica. I primi hanno una configurazione a flusso unico, in cui tutto il rifiuto viene sottoposto a trattamento biologico, mentre i secondi, con rendimenti molto minori, attuano una vagliatura iniziale ed effettuano il trattamento biologico solo al sottovaglio. Per ciascuna tipologia sono state definite le tecnologie operanti, analizzando le schede tecniche degli impianti, che forniscono la completa configurazione delle unità operative. Per gli impianti TMB si sono aggiunti anche i trattamenti della FSC effettuati nei successivi impianti TM, così da poter caratterizzare tutti gli scarti della filiera ipotizzando che siano fittiziamente un solo impianto. Una volta definito nello specifico il percorso di trattamento del rifiuto, si è costruito un modello che permette di caratterizzare l'efficienza di separazione delle varie tecnologie, per ciascuna categoria merceologica, sia in termini di umidità che di materia secca.

Gli impianti TMB con produzione di CSS hanno una configurazione che prevede la triturazione e la separazione magnetica del rifiuto tal quale prima del trattamento biologico, a cui è seguita una separazione per vagliatura. Al sopravaglio, ormai considerabile FSC, si applica un'ulteriore trattamento magnetico e amagnetico per eliminare tutti i metalli rimasti, seguita dalla separazione delle ultime frazioni pesanti con basso PCI, ad opera del classificatore ad aria, il cui output è il CSS finito. L'unico trattamento non modellabile è il biologico, principale responsabile della diminuzione di umidità e della putrescibilità della frazione organica, perché notevolmente dipendente dai parametri di processo scelti nei singoli impianti. Di esso sono note la durata del processo, 7 giorni, e le perdite per evaporazione e percolato di cui è responsabile. Il dato di perdite dovute al trattamento biologico preso come riferimento è la media pesata dei valori di ciascun impianto, riportato nei rapporti annuali forniti dai gestori. Le perdite di processo sono dovute a parte della frazione volatile del carbonio organico, che subisce ossidazione biologica ed è trasformato in  $\text{CO}_2$ , e all'evaporazione dell'umidità contenuta dal rifiuto, ad opera del calore rilasciato dalla reazione di ossidazione del carbonio. Si è assunta una efficienza di trasmissione del calore al rifiuto pari al 55%, con la restante parte dissipata in ambiente. In Tabella 40 sono riassunti i dati utilizzati e i risultati ottenuti per gli anni 2016 e 2017, sia per impianti a produzione di CSS che per quelli con solo conferimento in discarica.

Tabella 40 - Dati e risultati modellizzazione trattamento biologico.

Dati trattamento biologico impianti TMB	2016		2017	
	CSS	Discarica	CSS	Discarica
Calore rilasciato da ossidazione C [kJ/kgC]	-32650	-32650	-32650	-32650
Calore latente evaporazione H <sub>2</sub> O a 55°C [kJ/kg]	2400	2400	2400	2400
Efficienza trasmissione calore [%]	55,0%	45,0%	55,0%	45,0%
Perdite di Processo [%]	27,8%	13,4%	28,5%	14,5%
Durata trattamento [giorni]	7	7	7	7
Costante cinetica k [1/giorni]	0,138	0,030	0,144	0,034

L'unica variabile calcolata è la costante k, di una cinetica di ordine 1, assunta per l'ossidazione del carbonio organico. Questa è stata calcolata in modo tale che, nella durata del processo, si ossidi la quantità di carbonio necessaria a produrre le perdite di processo stabilite, costituite sia dal contributo del carbonio stesso perso, che dall'evaporazione dovuta al rilascio di calore della reazione.

Dopo aver modellizzato tutti i trattamenti degli impianti, è stata inserita la composizione merceologica del RUR attuale, così da rendere possibile la quantificazione e caratterizzazione dei vari flussi. Gli scarti da inviare in discarica sono le frazioni separate dalla vagliatura e dalla classificazione aerea, perché si ipotizza che i flussi in uscita dai separatori magnetici e amagnetici vengano inviati a recupero tal quale, e che il trituratore, ad esclusione di umidità sotto forma di percolato, non produca flussi di scarto. Applicando una media pesata alle composizioni dei due diversi scarti, si ottiene l'analisi merceologica del rifiuto da avviare in discarica, da cui è possibile calcolare un valore di  $L_0$  molto accurato. Si è assunto un valore di  $L_0$  pari a 160 m<sup>3</sup>/t per la frazione di organico, 120 m<sup>3</sup>/t per le componenti di legno, sottovaglio e carta, mentre a vetro ed inerti, plastica e metalli di 20 m<sup>3</sup>/t, che, sempre con una media pesata, determinano il valore totale di  $L_0$ .

Lo stesso tipo di procedimento è effettuato con i TMB che conferiscono solo in discarica, che presentano una configurazione d'impianto a flussi separati. Le unità operative funzionanti sono, partendo dall'ingresso all'impianto del RUR, il trituratore, un separatore magnetico e amagnetico, un vaglio, e il trattamento biologico. Il vaglio è considerato meno fine rispetto agli altri TMB, che quindi produrrà un sottovaglio maggiore, a cui viene applicato il trattamento biologico. Anche se sono presenti altri trattamenti successivi a quello biologico, vengono trascurati, perché i flussi prodotti in uscita dall'impianto, ad esclusione dei metalli recuperati, sono comunque mandati in discarica. Per questo motivo il calcolo di  $L_0$  avviene con la composizione risultante in uscita dal trattamento biologico.

Per avere le caratteristiche complessive di tutto il flusso avviato in discarica annualmente, si calcola il valore medio complessivo di  $L_0$ , pesando i valori ottenuti dalle due tipologie di impianti con i rispettivi quantitativi a discarica. Per quest'ultimi risulta un valore di 87 m<sup>3</sup>/t. mentre per i primi di 108 m<sup>3</sup>/t, con un valore medio finale pari a 92 m<sup>3</sup>/t. I dati del 2016 e 2017 danno gli stessi risultati.

Le ipotesi per l'assunzione della costante k di generazione di metano [anni<sup>-1</sup>] sono dipendenti sempre dalla degradazione del rifiuto e dalla piovosità della zona in cui sorge la discarica<sup>22</sup>. Per ciascun intervallo di precipitazioni medie, sono forniti i valori relativi alla presenza di rifiuto molto degradabile, mediamente degradabile e relativamente degradabile. Considerando la composizione del rifiuto in uscita dagli

impianti TMB, si è assunto il valore relativo a media degradabilità, ovviamente riferito alla piovosità media pugliese, che risulta pari a  $0.04 \text{ anni}^{-1}$ .

Una volta inseriti tutti i parametri nel modello di LandGEM, è stato possibile calcolare il volume di biogas prodotto da una tonnellata di rifiuto, che il programma restituisce suddiviso nella effettiva emissione di ogni anno (Figura 29).

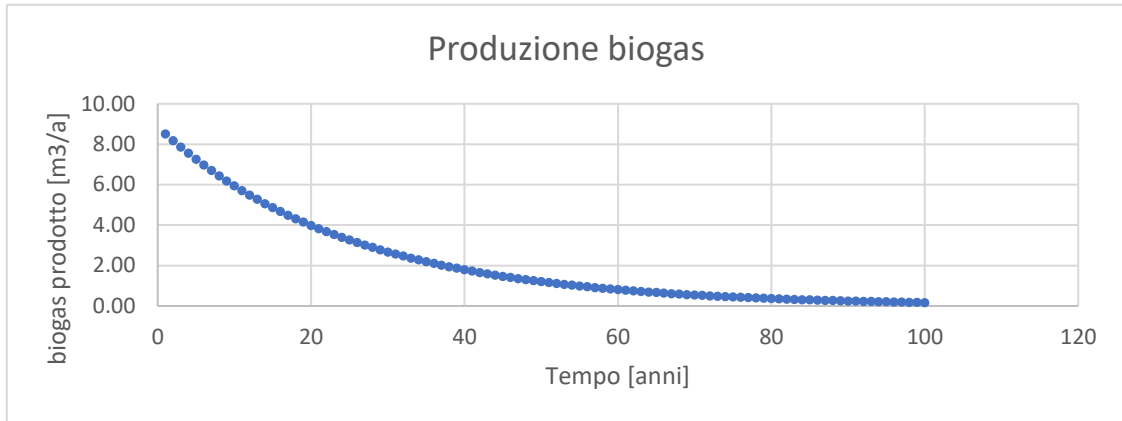


Figura 29 - Produzione biogas da discarica per tonnellata di rifiuto

L'orizzonte temporale scelto è di 100 anni, trascurando le minime quantità di biogas prodotto oltre questo periodo di tempo. Il global warming potential del metano emesso non è stato semplicemente assunto uguale ad un valore puntuale, ma, con un orizzonte temporale di analisi di 100 anni, si è calcolato il GWP relativo al tempo di residenza effettivo del metano emesso ciascun anno. Le emissioni del primo anno sono moltiplicate per il GWP relativo a 100 anni, mentre quelli emessi il centesimo anno per il GWP riferito ad un anno. Il calcolo del GWP annuale è stato fatto interpolando i dati relativi al  $GWP_{20}$ ,  $GWP_{100}$  e  $GWP_{500}$ <sup>9</sup> ricercando la funzione che restituisse l'errore minore (Figura 22). Questa risulta una funzione potenziale con equazione:  $y = 813,35x^{-0.746}$  (Figura 30).

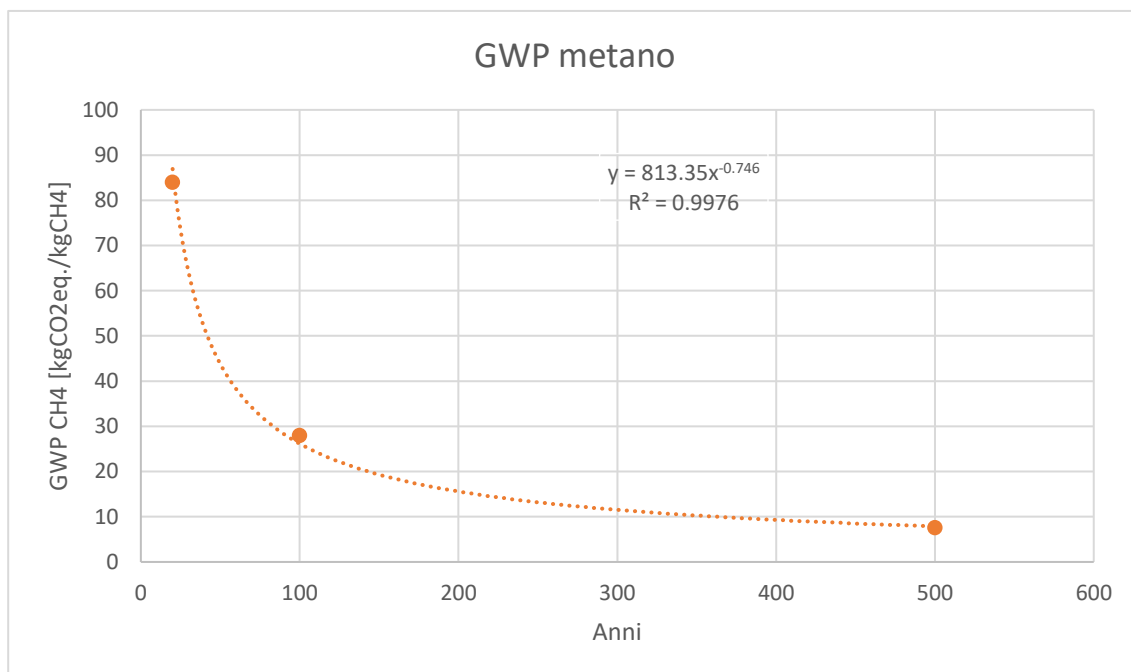


Figura 30 - Equazione GWP metano in relazione all'anno dell'orizzonte temporale.

Le emissioni in atmosfera di metano di ciascun anno (la percentuale incombusta da motore e quello contenuto nel biogas non captato) sono state moltiplicate per il GWP corrispondente e, una volta calcolati tutti i valori annuali, si è effettuata la somma, definendo così le emissioni totali in termini di CO<sub>2</sub> equivalente.

Avendo calcolato il quantitativo di biogas prodotto ogni anno da una tonnellata di rifiuto, è stato possibile quantificare con più accuratezza il totale del biogas captato, e quindi il volume di metano effettivamente smaltito attraverso combustione in motore. Come già spiegato in precedenza, il calcolo della quantità di kWh per tonnellata di rifiuto prodotti è stato fatto con una semplice moltiplicazione del volume di CH<sub>4</sub> totale emesso per il suo PCI e il rendimento elettrico medio di un motore a biogas. Per il calcolo delle emissioni evitate, è stato però necessario effettuare alcune ipotesi. Poiché la produzione di energia elettrica è distribuita su cento anni, l'orizzonte temporale di produzione del biogas assunto, è poco cautelativo moltiplicare i kWh prodotti ogni anno per i fattori di emissione di produzione termoelettrica odierni. In un'ottica di decarbonizzazione del settore, si è assunto che i fattori di emissione di CO<sub>2</sub>eq, NO<sub>x</sub> e particolato, dal valore attuale, si riducano linearmente, fino a risultare nulli fra cento anni. Per ciascuno dei tre inquinanti è stata modellizzata un'equazione lineare ( $y = -6,52x + 651,5$  per la CO<sub>2</sub>,  $y = -2,4x + 240$  per gli NO<sub>x</sub> e  $y = -0,058x + 5,75$  per il particolato) per calcolare il fattore di emissione di ogni anno, così così che potesse essere moltiplicato per i kWh prodotti relativi. Le emissioni evitate totali di ciascun inquinante risultano come la somma dei kWh prodotti ogni anno moltiplicati per il relativo fattore di emissione.

Dopo aver calcolato il contributo di tutte le emissioni per cui è responsabile il processo di smaltimento in discarica, si sono sommate, così da ottenere un dato numerico di CO<sub>2</sub> equivalente, NO<sub>x</sub> e particolato riferiti ad una tonnellata di rifiuto. I contributi di ogni processo relativi alle emissioni positive, cioè consumo di energia elettrica e gasolio, combustione del biogas captato e il biogas non captato, sono riportati nel grafico di Figura 31. Questi valori sono stati assunti sia per il 2016 che il 2017.



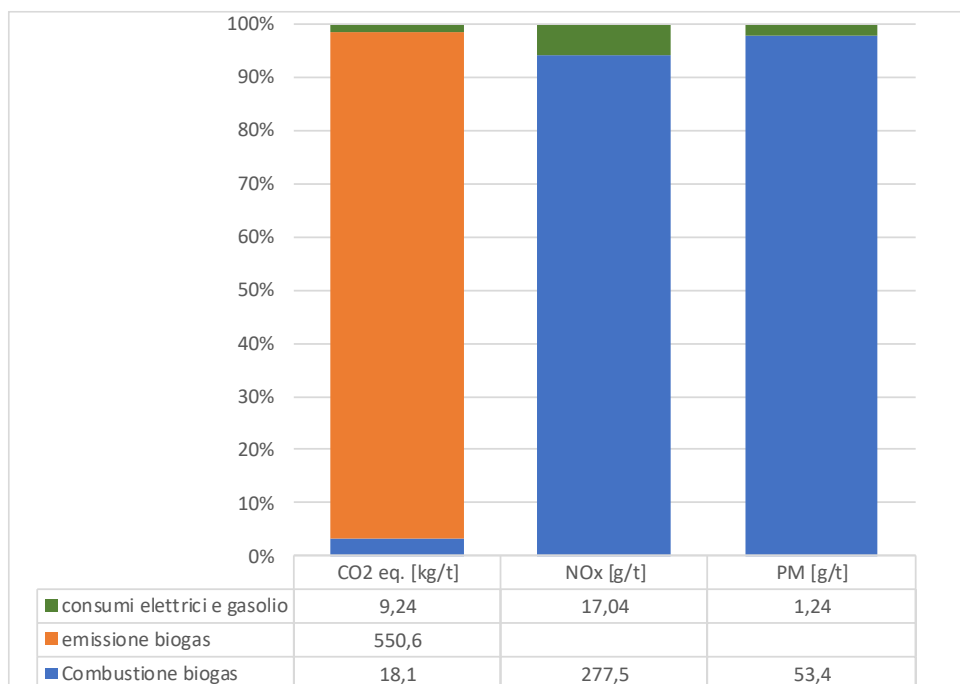


Figura 31 - Emissioni relative al conferimento di una tonnellata di rifiuto pugliese in discarica.

In Tabella 41 si riportano le emissioni dirette, quelle evitate e la risultante netta, riferiti ad una tonnellata di rifiuto smaltito in discarica.

Tabella 41 - Emissioni specifiche per tonnellata di rifiuto smaltito in discarica

2016 e 2017		SCENARIO 0	
<b>Emissioni dirette</b>		<b>Emissioni dirette</b>	
<b>CO2 eq. [kg/t]</b>	<b>577,9</b>	<b>CO2 eq. [kg/t]</b>	<b>590,2</b>
CO2 tot [kg/t]	313,3	CO2 tot [kg/t]	319,9
CO2 bio [kg/t]	304,1	CO2 bio [kg/t]	310,7
CO2 fos [kg/t]	9,2	CO2 fos [kg/t]	9,2
CH4 [kg/t]	15,8	CH4 [kg/t]	13,3
<b>NOx [g/t]</b>	<b>294,6</b>	<b>NOx [g/t]</b>	<b>300,6</b>
<b>PM [g/t]</b>	<b>54,7</b>	<b>PM [g/t]</b>	<b>55,8</b>
<b>Emissioni evitate</b>		<b>Emissioni evitate</b>	
<b>CO2 eq. [kg/t]</b>	<b>110,1</b>	<b>CO2 eq. [kg/t]</b>	<b>112,4</b>
<b>NOx [g/t]</b>	<b>40,5</b>	<b>NOx [g/t]</b>	<b>41,4</b>
<b>PM [g/t]</b>	<b>1,0</b>	<b>PM [g/t]</b>	<b>0,9</b>
<b>Emissioni nette</b>		<b>Emissioni nette</b>	
<b>CO2 eq. [kg/t]</b>	<b>467,8</b>	<b>CO2 eq. [kg/t]</b>	<b>295,5</b>
CO2 tot [kg/t]	313,3	CO2 tot [kg/t]	319,9
CO2 bio [kg/t]	304,1	CO2 bio [kg/t]	310,7
CO2 fos [kg/t]	9,2	CO2 fos [kg/t]	9,2
CH4 [kg/t]	15,8	CH4 [kg/t]	13,3
<b>NOx [g/t]</b>	<b>254,0</b>	<b>NOx [g/t]</b>	<b>259,2</b>
<b>PM [g/t]</b>	<b>53,7</b>	<b>PM [g/t]</b>	<b>54,8</b>

Per lo scenario migliorativo sono stati calcolati fattori di emissione differenti, dovuti al cambiamento della composizione del rifiuto in discarica. Il calcolo della produzione di biogas è stato svolto in maniera identica a come è stato fatto per i TMB con diretta produzione di CSS, ma variando la caratterizzazione del rifiuto e dei processi, per avvicinarli alle previsioni effettuate. La composizione del RUR in ingresso alla filiera di trattamento è stata assunta pari a quella calcolata per il 2025, con le relative differenze, soprattutto in termini di frazione organica. Ad esclusione del trattamento biologico, le varie tecnologie di trattamento sono rimaste invariate, con i coefficienti di separazione inalterati. Per la fase biologica si sono assunte perdite di processo pari al 19%, come da previsione, e una durata del processo di soli 5 giorni. Nella composizione totale degli scarti risulta quindi una importante componente di organico, che determina una stima di  $L_0$  leggermente più alta, pari a 94 m<sup>3</sup>/t. Le emissioni specifiche calcolate sono indicate in Tabella 41, in cui sono espresse le emissioni dirette, quelle evitate ed il bilancio netto.

## 7.2 Risultati

Nei paragrafi successivi sono riportati i risultati della valutazione ambientale della gestione del rifiuto residuo nella Regione Puglia, ottenuti sulla base dei dati e delle ipotesi illustrate nei paragrafi precedenti.

### 7.2.1 Situazione attuale

Le ricostruzioni dei flussi relativi alla gestione attuale del RUR hanno prodotto risultati molto simili per i due anni esaminati. Questo è dovuto alla composizione dei flussi degli anni 2016 e 2017, che presentano minime variazioni, quasi esclusivamente dovute all'entrata in funzione parziale dell'impianto TM di Manfredonia. I valori numerici delle emissioni in atmosfera calcolati sono riportati in Tabella 42, suddivisi per sorgente.

Tabella 42 - Emissioni annuali nette per tonnellata di rifiuto trattata, anni 2016 e 2017.

INQUINANTE	2016	2017	INQUINANTE	2016	2017
<b>TRASPORTI</b>					
<b>CO<sub>2</sub> eq. [kg/t]</b>	12,9	10,8	<b>CO<sub>2</sub> eq. [t/a]</b>	2.699	2.877
CO <sub>2</sub> tot [kg/t]	12,91	10,8	CO <sub>2</sub> tot [t/a]	2.697	2.874
CO <sub>2</sub> bio [kg/t]	0,0	0,0	CO <sub>2</sub> bio [t/a]	0	0
CO <sub>2</sub> fos. [kg/t]	12,9	10,8	CO <sub>2</sub> fos [t/a]	2.697	2.874
CH <sub>4</sub> [g/t]	93	87	CH <sub>4</sub> [kg/a]	0,42	0,35
<b>NO<sub>x</sub> [g/t]</b>	81,4	68,1	<b>NO<sub>x</sub> [kg/a]</b>	17.008	18.126
<b>PM [g/t]</b>	3,4	2,8	<b>PM [kg/a]</b>	710	757
<b>TMB</b>					
<b>CO<sub>2</sub> eq. [kg/t]</b>	18,2	18,2	<b>CO<sub>2</sub> eq. [t/a]</b>	21.865	22.498
CO <sub>2</sub> tot [kg/t]	18,2	18,2	CO <sub>2</sub> tot [t/a]	21.865	22.498
CO <sub>2</sub> bio [kg/t]	0,0	0,0	CO <sub>2</sub> bio [t/a]	0	0
CO <sub>2</sub> fos. [kg/t]	18,2	18,2	CO <sub>2</sub> fos [t/a]	21.865	22.498
CH <sub>4</sub> [g/t]	0	0	CH <sub>4</sub> [kg/a]	0	0
<b>NO<sub>x</sub> [g/t]</b>	16,8	16,8	<b>NO<sub>x</sub> [kg/a]</b>	20.104	20.686

<b>PM [g/t]</b>	0,9	0,9	<b>PM [kg/a]</b>	1.113	1.146
<b>TM</b>					
<b>CO<sub>2</sub> eq. [kg/t]</b>	15,4	15,4	<b>CO<sub>2</sub> eq. [t/a]</b>	3.725	2.735
CO <sub>2</sub> tot [kg/t]	15,4	15,4	CO <sub>2</sub> tot [t/a]	3.725	2.735
CO <sub>2</sub> bio [kg/t]	0,0	0,0	CO <sub>2</sub> bio [t/a]	0	0
CO <sub>2</sub> fos. [kg/t]	15,4	15,4	CO <sub>2</sub> fos [t/a]	3.725	2.735
CH <sub>4</sub> [g/t]	0	0	CH <sub>4</sub> [kg/a]	0	0
<b>NO<sub>x</sub> [g/t]</b>	13,9	13,9	<b>NO<sub>x</sub> [kg/a]</b>	3.369	2.474
<b>PM [g/t]</b>	0,8	0,8	<b>PM [kg/a]</b>	185	136
<b>WTE</b>					
<b>CO<sub>2</sub> eq. [kg/t]</b>	216,7	205,3	<b>CO<sub>2</sub> eq. [t/a]</b>	37.696	38.661
CO <sub>2</sub> tot [kg/t]	768,0	772,3	CO <sub>2</sub> tot [t/a]	141.781	137.025
CO <sub>2</sub> bio [kg/t]	551,3	567,0	CO <sub>2</sub> bio [t/a]	104.085	98.364
CO <sub>2</sub> fos. [kg/t]	216,7	205,3	CO <sub>2</sub> fos [t/a]	37.696	38.661
CH <sub>4</sub> [g/t]	0	0	CH <sub>4</sub> [kg/a]	0	0
<b>NO<sub>x</sub> [g/t]</b>	556,9	677,5	<b>NO<sub>x</sub> [kg/a]</b>	124.372	99.347
<b>PM [g/t]</b>	0,8	-2,5	<b>PM [kg/a]</b>	-461	148
<b>DISCARICA</b>					
<b>CO<sub>2</sub> eq. [kg/t]</b>	467,8	467,8	<b>CO<sub>2</sub> eq. [t/a]</b>	351.653	373.422
CO <sub>2</sub> tot [kg/t]	313,3	313,3	CO <sub>2</sub> tot [t/a]	235.525	250.105
CO <sub>2</sub> bio [kg/t]	304,1	304,1	CO <sub>2</sub> bio [t/a]	228.578	242.728
CO <sub>2</sub> fos. [kg/t]	9,2	9,2	CO <sub>2</sub> fos [t/a]	6.948	7.378
CH <sub>4</sub> [g/t]	15,8	15,8	CH <sub>4</sub> [t/a]	12597	11862
<b>NO<sub>x</sub> [g/t]</b>	254,0	254,0	<b>NO<sub>x</sub> [kg/a]</b>	190.946	202.766
<b>PM [g/t]</b>	53,7	53,7	<b>PM [kg/a]</b>	40.356	42.854

Con riferimento agli anni 2016 e 2017, sono riportate le emissioni nette annuali e le emissioni nette relative al trattamento di una tonnellata di rifiuto di cui è responsabile ciascuna sorgente. Sia gli impianti TMB che TM presentano emissioni specifiche per tonnellata di rifiuto trattato identiche per entrambi gli anni, poiché i calcoli sono stati effettuati sui dati del 2017, unici disponibili, e assunti uguali per il 2016. Coincidono anche le emissioni specifiche relative alla discarica, non per mancanza di dati ma per una composizione del rifiuto sostanzialmente identica, quindi responsabile della stessa quantità di biogas prodotto. Per quanto riguarda le emissioni totali, invece, poiché la quantità di rifiuto trattata annualmente da ogni impianto risulta diversa, non vi sono valori che coincidono.

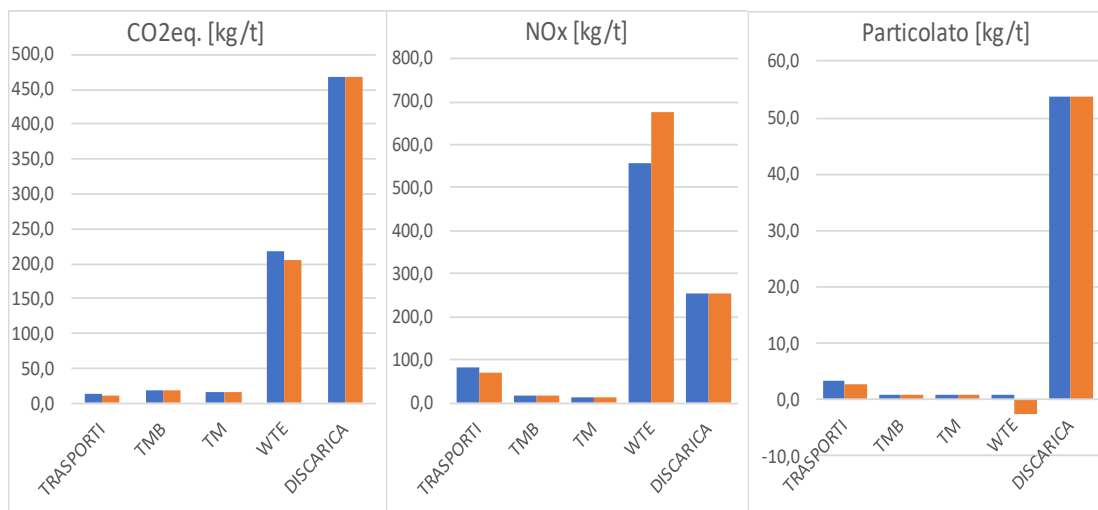


Figura 32 – Emissioni nette per tonnellata di rifiuto trattato, anni 2016 (blu) e 2017 (arancione).

In Figura 32 si confrontano le emissioni di CO<sub>2</sub>eq, NO<sub>x</sub> e particolato relative ad una tonnellata di rifiuto trattato in ciascuno dei processi presi in considerazione. Risulta immediato individuare, per ogni inquinante, il processo con l'intensità emissiva più elevata. In particolare, se la scelta di gestione del rifiuto viene orientata verso un maggiore smaltimento in discarica o recupero energetico, determinerà emissioni totali più consistenti per alcuni inquinanti ma minori per altri.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente totali subiscono una leggera inflessione tra il 2016 e il 2017, dovuta principalmente alla diminuzione dell'apporto per cui è responsabile la discarica (Figura 33).

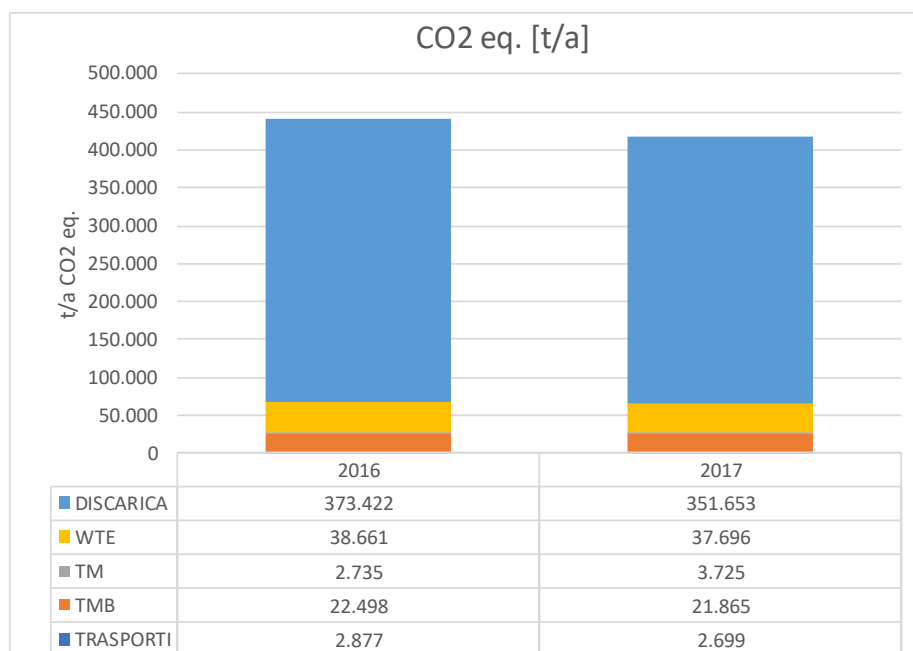


Figura 33 - emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente, anni 2016 e 2017.

La ripartizione tra le varie sorgenti emissive è, nei due anni, molto simile, con il contributo della discarica che risulta sempre il principale. La lieve differenza è imputabile alla minor quantità di rifiuto urbano indifferenziato trattato, risultato di una

percentuale di raccolta differenziata maggiore. Il RUR totale si riduce da 1.234.577 tonnellate nel 2016 a 1.199.820 tonnellate nel 2017 che, oltretutto, presentano una frazione maggiore inviata a recupero energetico. Questo viene confermato dalla diminuzione delle emissioni relative agli impianti TMB, parallelamente ad un aumento di quelle degli impianti TM, causati, in entrambi i casi, dalla variazione del rifiuto trattato rispetto all'anno precedente. L'entrata in funzione dell'impianto TM di Manfredonia e il regolare funzionamento dei due termovalorizzatori (Appia ed ETA) hanno inoltre permesso di diminuire il conferimento in discarica, che, presentando un fattore di emissione per tonnellata di rifiuto trattato molto maggiori rispetto al recupero energetico, ha prodotto un'emissione annuale complessiva minore. Le emissioni del 2017 relative al recupero energetico si sono comunque ridotte, nonostante il maggior quantitativo di CSS smaltito, perché l'impianto di Appia ha funzionato regolarmente, senza essere costretto a prelevare energia elettrica dalla rete, cosa che inevitabilmente riduce le emissioni evitate. La riduzione di emissioni risulta pari a 27.676 tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente, che, tra 2016 e 2017, riducono l'impatto da 440.193 a 417.638 tonnellate annuali.

La CO<sub>2</sub> equivalente netta emessa dai termovalorizzatori è conteggiata come le emissioni effettive, alle quali vengono sottratte quelle evitate per l'immissione dell'energia elettrica in rete. I calcoli sono rappresentati in Figura 34.

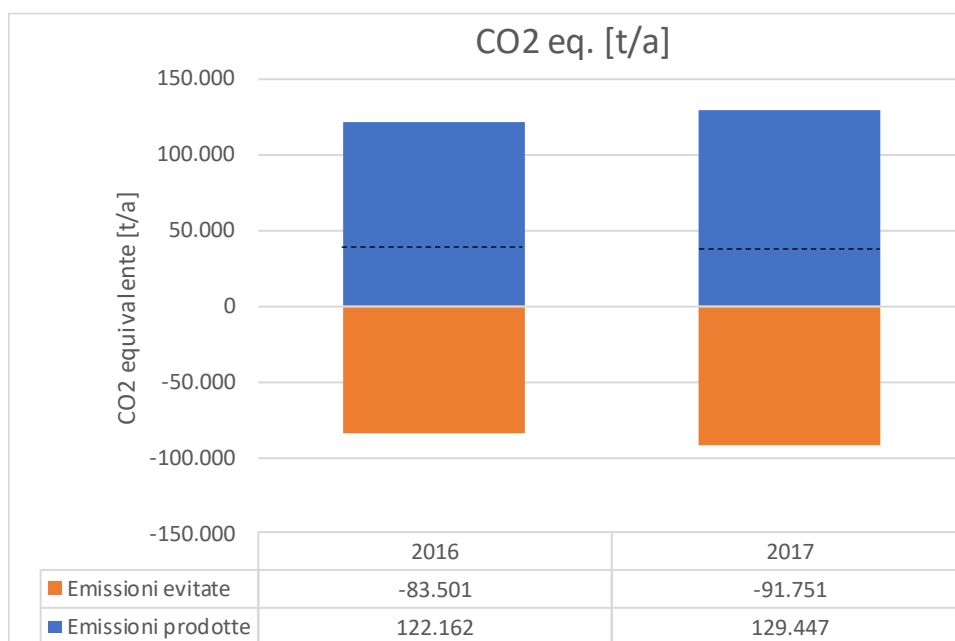


Figura 34 - Bilancio emissioni CO<sub>2</sub> equivalente termovalorizzatori, anni 2016 e 2017

Il bilancio complessivo dei due anni è numericamente simile, ma mostra un leggero miglioramento del rendimento di processo, da cui consegue un aumento delle emissioni specifiche evitate, che passano da 0,47 tCO<sub>2</sub>eq/tCSS nel 2016 a 0,50 tCO<sub>2</sub>eq/tCSS nel 2017. Nel grafico la linea tratteggiata rappresenta il risultato delle emissioni nette, 38.661 t/a nel 2016 e 37.696 t/a nel 2017.

I risultati relativi alle emissioni di NO<sub>x</sub> presentano una tendenza contraria rispetto a quelli della CO<sub>2</sub> equivalente, mostrando come sia stato registrato un incremento, anche se lieve. Come evidenziato in Figura 35, le varie sorgenti analizzate sono state

responsabili nel 2017 di un'emissione di 355.799 kg di NOx, leggermente superiore ai 343.399 kg relativi al 2016.

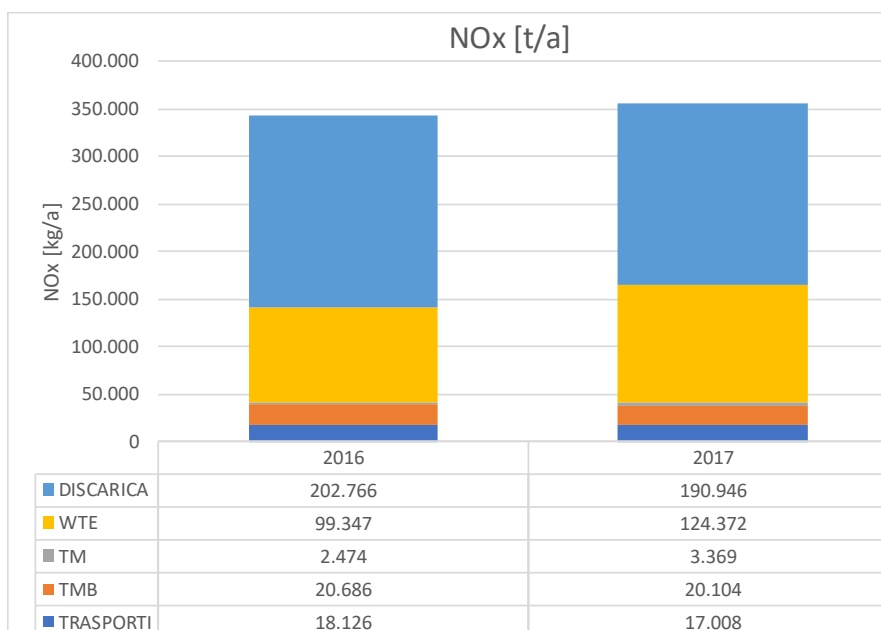


Figura 35 - Emissioni annuali nette di NOx per gli anni 2016 e 2017.

I processi di smaltimento finale del rifiuto, ovvero discarica e recupero energetico, sono i principali responsabili delle emissioni di NOx annuali. Diversamente dalle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente, la frazione di emissioni riconducibile agli impianti di termovalorizzazione risulta più consistente, sebbene, rispetto alla discarica, smaltisca un quantitativo di rifiuto molto minore. Questo, come si evince in Tabella 42, è dovuto al processo termico di incenerimento dei rifiuti, con emissioni di NOx più elevate rispetto alla discarica, date da emissioni specifiche nette per tonnellata di rifiuto più che doppie. Nel 2017, il quantitativo di emissioni per cui è responsabile l'incenerimento ha subito un sensibile incremento, in parte dovuto all'aumento di CSS smaltito, ma principalmente determinato dal peggioramento delle emissioni specifiche per tonnellata di rifiuto bruciato. Questo aumento è stato sufficiente a determinare una crescita delle emissioni totali tra i due anni, sebbene l'apporto dovuto alla discarica si sia ridotto per il minor conferimento di scarti da processi di trattamento. Come per la CO<sub>2</sub> equivalente, le differenze tra i valori relativi a impianti TM e TMB sono esclusivamente proporzionali alla quantità trattata, essendo le emissioni specifiche dei due anni identiche. Il contributo dei trasporti si è ridotto per la minor percorrenza media del rifiuto, dovuta all'entrata in funzione dell'impianto TM di Manfredonia, adiacente al termovalorizzatore e vicino agli impianti TMB che lo riforniscono.

Lo stesso lavoro di analisi è stato fatto per il particolato, per cui sono stati calcolati i contributi di ogni sorgente e si sono confrontati i risultati dei due anni presi in considerazione (Figura 36). I risultati ottenuti mostrano dati molto simili tra 2016 e 2017, caratterizzati da una leggera diminuzione, con valori che si riducono da 45.041 kg per il primo anno a 41.903 kg nel successivo.

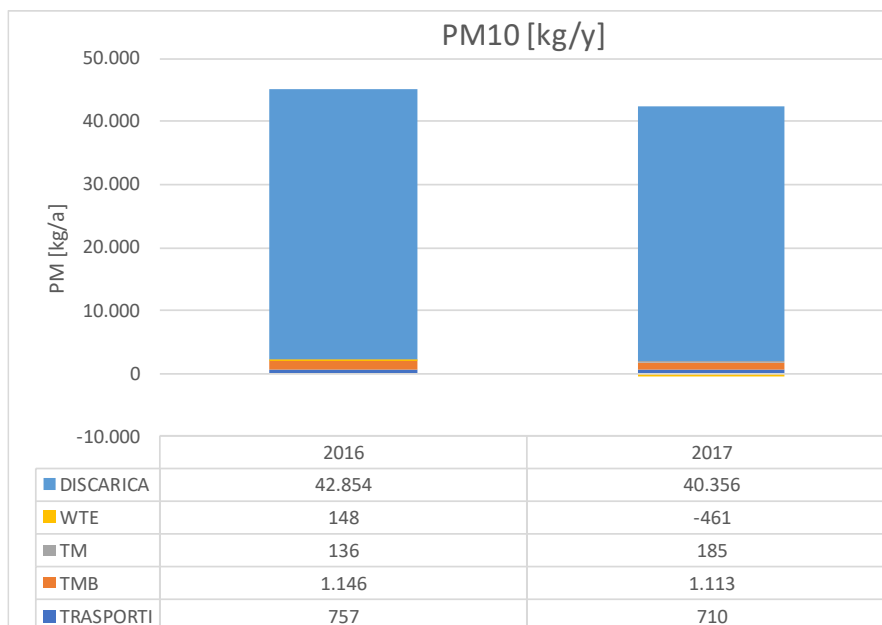


Figura 36 - Emissioni di particolato relative agli anni 2016 e 2017.

L'origine delle emissioni di particolato è quasi esclusivamente riconducibile al processo di smaltimento in discarica del rifiuto che, attraverso la combustione del biogas in motore, ne produce più del 95% della totalità. La riduzione delle emissioni dal 2016 al 2017 è principalmente dovuta alla diminuzione dell'apporto delle discariche e, in parte, dei termovalorizzatori. La variabilità delle emissioni annuali da discarica è originata unicamente dalla diversa quantità di rifiuto smaltito, poiché tra i due anni non ci sono differenze tra i valori numerici dei fattori di emissione riferiti ad una tonnellata di materiale trattato. Parallelamente, anche le emissioni di particolato relative ai termovalorizzatori sono diminuite, per un migliore funzionamento delle tecnologie di abbattimento dai fumi in uscita dal camino. Nel 2017 le emissioni risultano addirittura negative, per il bilancio con le emissioni evitate.

Come per la CO<sub>2</sub> equivalente, le emissioni di particolato e NO<sub>x</sub> prodotte dal processo di recupero energetico del rifiuto sono il bilancio tra emissioni effettive ed emissioni evitate (Figura 37). Le emissioni effettive misurate nei fumi in uscita dal camino di cui è responsabile la combustione sono infatti bilanciate in parte dalle emissioni evitate per la produzione di energia elettrica, calcolate come spiegato nel paragrafo 7.2.3. Il bilancio degli NO<sub>x</sub> risulta 99.347 kg/a per il 2016 e 124.372 t/a per il 2017, mentre per il particolato 148 kg/a e -461 kg/a.

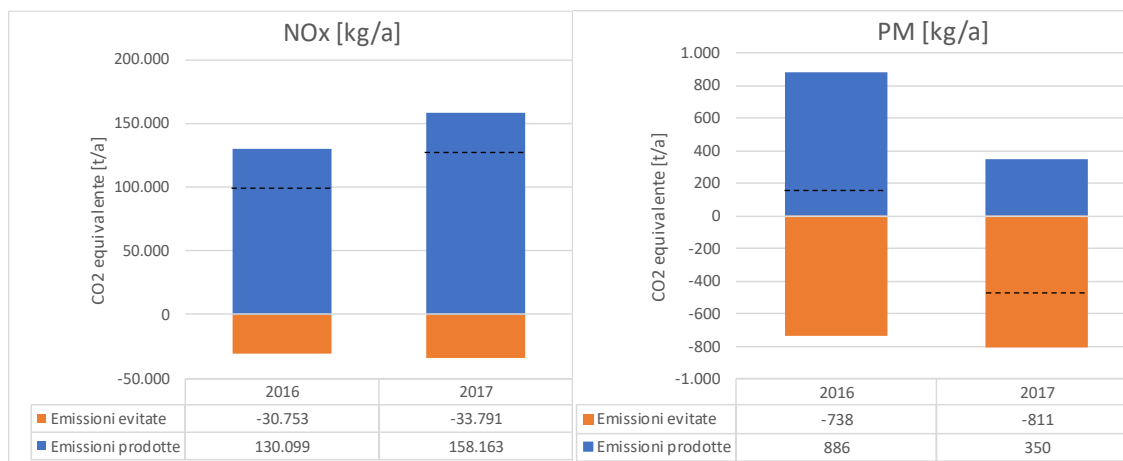


Figura 37 – Bilancio emissioni NOx e particolato dei termovalorizzatori, anni 2016 e 2017.

## 7.2.2 Confronto con lo scenario proposto

Le emissioni relative alla proposta migliorativa ‘scenario 0’ sono state calcolate con i dati previsti per la fase a regime, cioè nel 2025. Rispetto ai bilanci annuali del 2016 e 2017 la quantità di rifiuto urbano residuo trattato è molto minore, perché si prevede una percentuale di raccolta differenziata pari al 65%, ampiamente maggiore rispetto a quella attuale. Le emissioni specifiche di ogni processo relative ad una tonnellata di rifiuto trattato sono state assunte pari a quelle del 2017, perché i più rappresentativi per lo scenario futuro proposto. A questa ipotesi fanno eccezione i calcoli relativi alle emissioni da trattamento e smaltimento in discarica, per cui è stato possibile effettuare una stima che rispecchiasse al meglio le caratteristiche del rifiuto previste per la fase a regime. Si riportano i fattori di emissione utilizzati per le analisi e i quantitativi di rifiuto trattati da ciascun processo in Tabella 43.

Tabella 43 - Fattori di emissioni assunti per lo scenario 0 e quantità di rifiuto trattato.

Emissioni	TMB	TM	WtE	Discarica
CO2 eq. [kg/t]	18,2	15,4	205,3	319,9
NOx [g/t]	16,8	13,9	677,5	300,6
PM [g/t]	0,9	0,8	-2,5	55,8
Rifiuto trattato [t/a]	813.978	528.003	454.083	235.945

Inevitabilmente, le ipotesi fatte per il calcolo delle emissioni dello scenario 0 determinano una forte diminuzione delle emissioni totali annuali, quindi non direttamente confrontabili con quelle prodotte dall’attuale filiera di trattamento dei rifiuti.

La ripartizione delle emissioni per cui è responsabile ogni processo della scenario 0 risulta diversa, diretta conseguenza della differente gestione del ciclo di smaltimento del rifiuto. In Figura 38 è rappresentata la suddivisione percentuale di ogni inquinante considerato nelle varie sorgenti prese in considerazione.



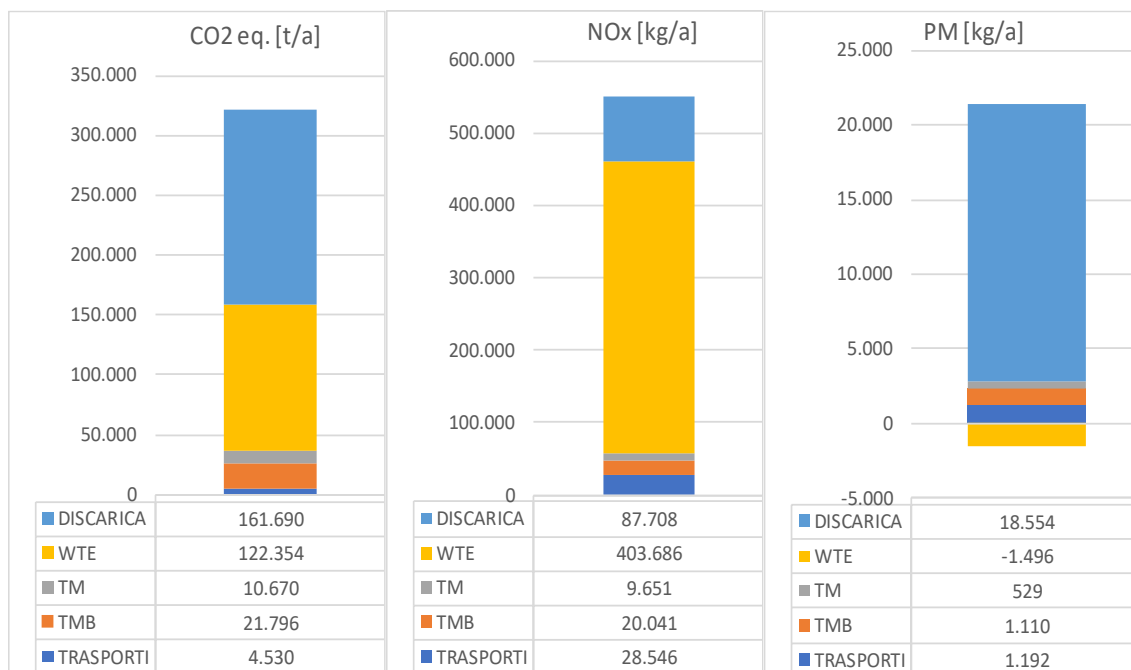
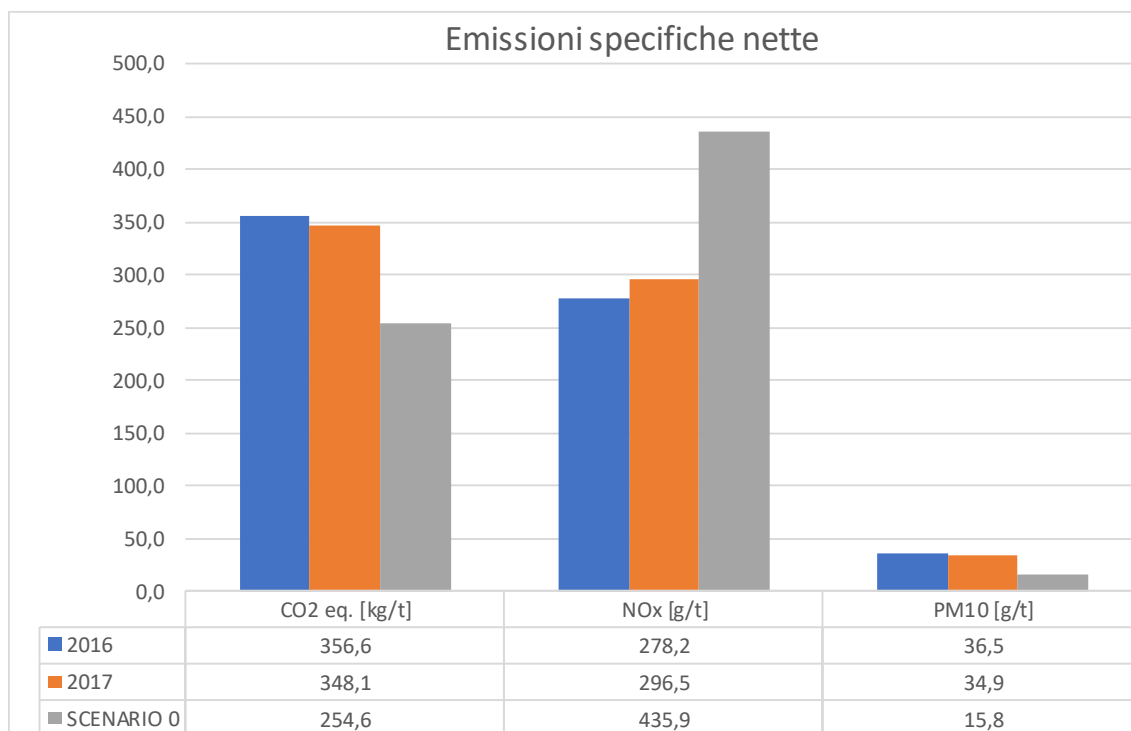


Figura 38 - Emissioni annuali nette e loro ripartizione dello scenario 0

I cambiamenti riscontrati nel calcolo delle emissioni sono riconducibili alla scelta di prediligere il trattamento del rifiuto attraverso recupero energetico rispetto allo smaltimento in discarica. I termovalorizzatori sono la sorgente responsabile di circa un terzo delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente, risultando così molto più incidenti sul valore totale rispetto alla situazione attuale. Per gli NO<sub>x</sub> i contributi si sono invertiti: la discarica, da sorgente principale, è prevista essere più marginale, poiché il recupero energetico, processo con emissione specifica netta e quantitativo di rifiuti in ingresso maggiori, diventa molto più impattante. Il particolato prevede invece una ripartizione analoga ad oggi, in cui, sebbene con una percentuale minore, la discarica risulta il processo con emissioni maggiori.

Dopo aver analizzato la composizione percentuale delle emissioni annuali, si sono elaborati i risultati ottenuti, così da poterli rendere confrontabili. Le emissioni totali calcolate per gli anni 2016, 2017 e per lo scenario 0 sono stati divisi per la quantità di rifiuto urbano residuo in ingresso alla filiera, definendo un fattore di emissione relativo ad una tonnellata di materiale. Il dato calcolato comprende tutte le emissioni per cui è responsabile il rifiuto, provenienti da tutte le fasi del processo di trattamento che subisce ogni sua parte. In Figura 39 sono rappresentati i valori ottenuti.



*Figura 39 – Emissioni specifiche nette per lo scenario attuale e quello previsto*

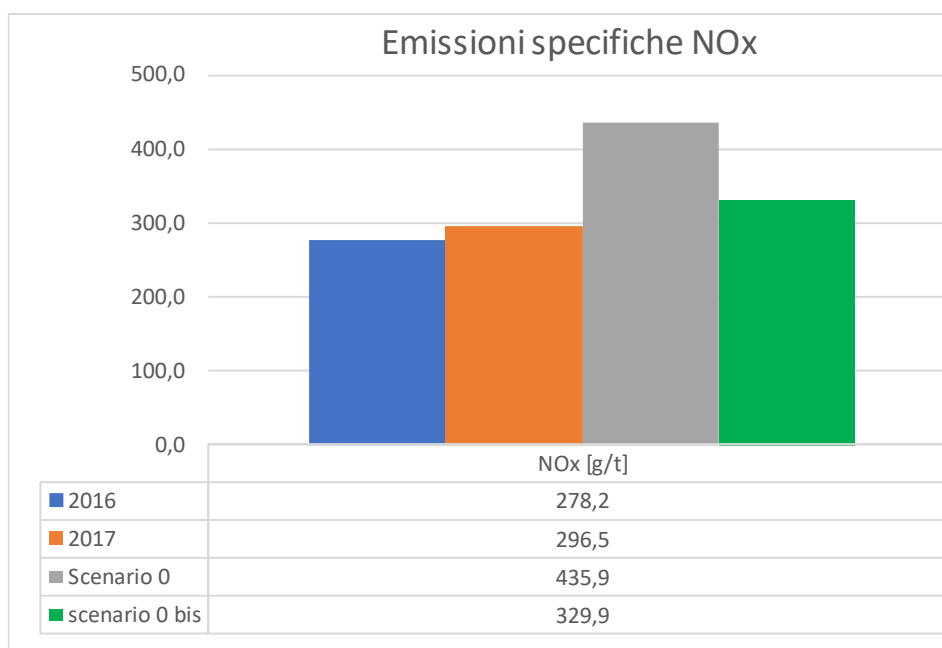
La quantità di rifiuto in ingresso alla filiera di trattamento utilizzata per i calcoli è, nel 2016 e 2017, tutto il rifiuto urbano residuo conferito ai TMB, a cui, nello scenario 0, sono stati sommati anche gli scarti da raccolta differenziata.

I risultati mostrano un netto miglioramento delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente e particolato ma, al contrario, un evidente peggioramento delle emissioni di NO<sub>x</sub>. Il migliore risultato relativo alla CO<sub>2</sub> equivalente è dovuto alla previsione di maggior ricorso alla combustione di CSS come processo di smaltimento del rifiuto. Infatti, come mostrato in Tabella 42, rispetto alla discarica, il recupero energetico ha un'emissione specifica per tonnellata di rifiuto trattato sensibilmente minore. Lo scenario attuale è peggiore a causa della grossa frazione di rifiuto destinata alla discarica, molto più impattante, e che, allo stesso tempo, riduce la frazione di CSS producibile, che sarebbe destinato ad un processo con minori emissioni.

L'emissione specifica del particolato è quella che nello scenario 0 subisce la maggiore variazione, con una riduzione rispetto al 2017 del 55%. Analogamente alla CO<sub>2</sub> equivalente, è il risultato di una contrazione delle emissioni da discarica per il minore quantitativo di rifiuti destinati ad essa, e il parallelo aumento dell'impiego dei termovalorizzatori, le cui emissioni sono addirittura negative.

Le emissioni di NO<sub>x</sub> registrano una netta crescita, sempre riconducibile al maggior smaltimento di rifiuto in impianti di termovalorizzazione, che presentano fattori di emissione molto più elevati rispetto alla discarica. Si osserva tuttavia come le emissioni di NO<sub>x</sub> dai camini dei termovalorizzatori siano strettamente dipendenti dal sistema di abbattimento installato, che è una variabile modificabile indipendentemente dalla gestione complessiva del rifiuto. I due impianti attualmente in funzione (Appia ed ETA) adottano diverse tecnologie di abbattimento, ma ETA, essendo più recente, permette una riduzione della concentrazione di NO<sub>x</sub> nei fumi maggiore per la presenza del SCR. Si può dunque ipotizzare, in uno scenario 0 bis, che tutti gli impianti di termovalorizzazione adottino la tecnologia SCR e che quindi

abbiano emissioni di NOx pari a quelle registrate in media nell'impianto di ETA, determinando così un'emissione specifica netta di tutta la filiera di trattamento minore, come mostrato in Figura 40.



*Figura 40 - Emissioni specifiche nette dei diversi scenari esaminati*

Lo scenario con SCR installato in tutti i termovalorizzatori (scenario 0 bis) prevede ancora emissioni di NOx maggiori rispetto alla situazione attuale, ma notevolmente ridotte, rendendole comparabili a quelle odierne, pur essendoci una frazione di rifiuto incenerito molto maggiore.

Infine, è stata svolta un'analisi di sensibilità dei risultati relativi all'emissione di CO<sub>2</sub> equivalente, variando alcuni parametri rappresentativi dei calcoli. Si sono modificate la percentuale di metano presente nel biogas prodotto dal rifiuto smaltito in discarica e la frazione di CO<sub>2</sub> fossile, prodotta dalla combustione di CSS nei termovalorizzatori. Per valutare se il miglioramento riscontrato nei calcoli fosse sufficientemente consistente e non influenzato da nostre assunzioni, si sono impostati i parametri perché fossero il più cautelativi possibile nel quantificare la riduzione di CO<sub>2</sub> equivalente emessa dello scenario 0. In particolare, la percentuale di CO<sub>2</sub> fossile è stata impostata al 65% invece che il 55%, mentre la frazione di metano nel biogas è stata assunta pari all'estremo minimo dell'intervallo indicato nelle schede annuali, cioè 35% del biogas al posto del 42,5%. La prima modifica aumenta le emissioni per cui sono responsabili i termovalorizzatori, la seconda, al contrario, riduce le emissioni originate dal processo di smaltimento in discarica. Si riportano i risultati ottenuti in Figura 41.

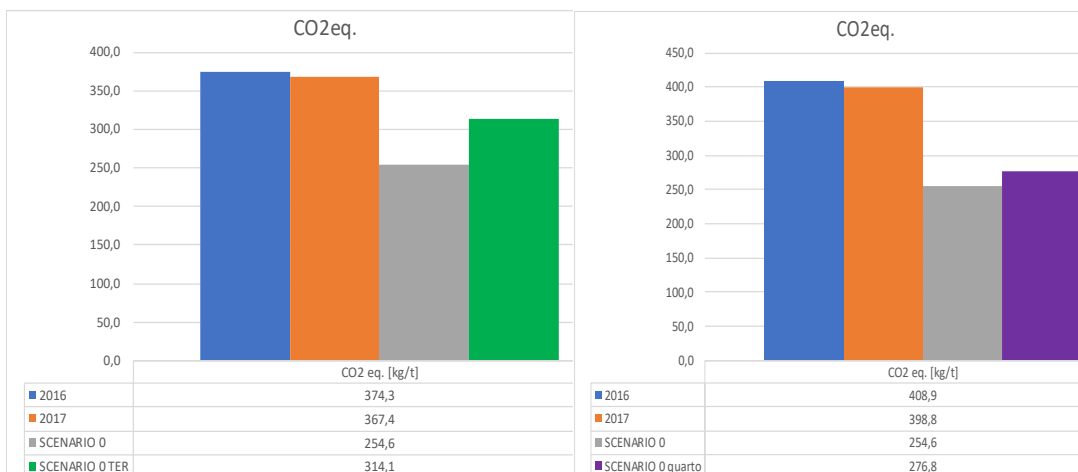


Figura 41 - Variazione emissioni specifiche di CO2 per modifica frazione biogenica CO2 nel CSS (sx.) e percentuale metano nel biogas (dx.).

In entrambi i casi lo scenario proposto continua ad essere quello caratterizzato da fattori di emissione minori, con un maggiore assottigliamento della differenza per la diminuzione di frazione biogenica di CO<sub>2</sub> prodotta dal CSS. In seguito, sono state applicate entrambe le variazioni contemporaneamente, così da verificare ulteriormente la robustezza dello scenario migliorativo (Figura 42). Questo si dimostra essere ancora lo scenario con un'emissione di CO<sub>2</sub> equivalente minore e, inoltre, garantisce la validità dei risultati calcolati in precedenza e delle ipotesi effettuate.

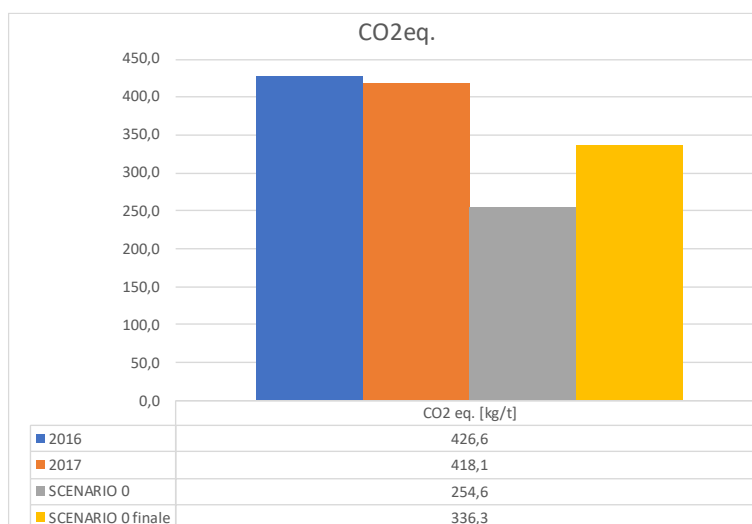
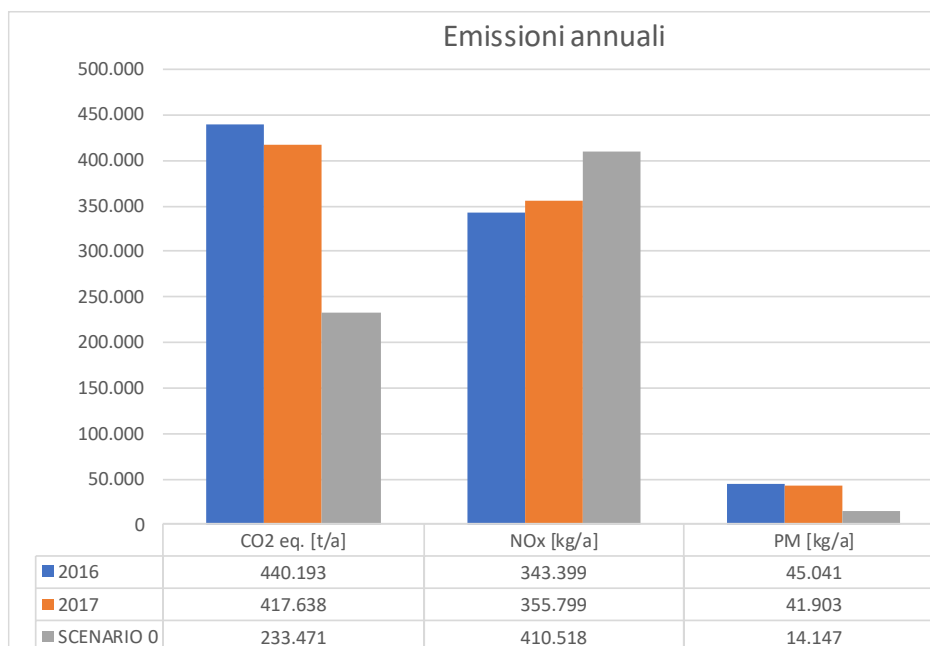


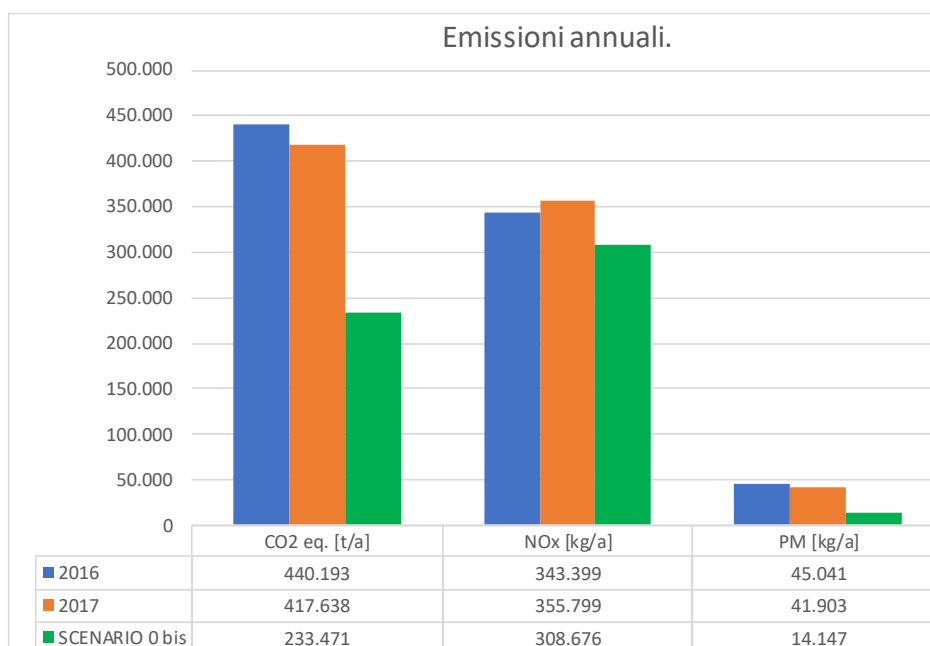
Figura 42 - emissioni CO2eq al variare delle ipotesi relative alla frazione di CO2 biogenica e percentuale di metano nel biogas da scarica

Infine si sono confrontati le emissioni annuali totali degli anni 2016 e 2017 con lo scenario 0 proposto (Figura 43).



*Figura 43 - Emissioni annuali per gli anni 2016 e 2017 e lo scenario proposto*

Il minor quantitativo di rifiuto in ingresso ha influito sui risultati, aumentando ulteriormente la differenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq. e particolato tra la situazione attuale e lo scenario proposto, e riducendo il divario degli NO<sub>x</sub>. Per quest'ultimi si prevedono ancora emissioni totali maggiori rispetto a quelle attuali, a causa del grosso aumento del rifiuto smaltito nei termovalorizzatori, che presentano emissioni specifiche elevatissime. Si è successivamente confrontato le emissioni dello scenario 0 bis, che prevede l'installazione di tecnologie SCR in tutti gli impianti di recupero energetico, con quelle attuali (Figura 44).



*Figura 44 - Emissioni annuali per gli anni 2016 e 2017 e lo scenario proposto 0 bis*

I risultati mostrano come, con la semplice installazione della tecnologia SCR, lo scenario proposto presenta emissioni nette annuali migliori per tutti gli inquinanti esaminati, anche gli NOx, che presentano emissioni specifiche per tonnellata di rifiuto in ingresso alla filiera di trattamento notevolmente superiori rispetto agli anni 2016 e 2017.

## 8 Bibliografia

1. Istituto Superiore per la Ricerca e Protezione Ambientale (ISPRA). *Rapporto Rifiuti Urbani - 272*. (2017).
2. Centro ricerca e studi MatER LEAP (Laboratorio Energia Ambiente Piacenza scarl).
3. Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M. & Kärki, J. Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 1: SRF produced from commercial and industrial waste. *Waste Manag.* **34**, 1398–1407 (2014).
4. Ramos Casado, R. *et al.* Classification and characterisation of SRF produced from different flows of processed MSW in the Navarra region and its co-combustion performance with olive tree pruning residues. *Waste Manag.* **47**, 206–216 (2016).
5. CIC - Consorzio Italiano Compostatori [www.compost.it](http://www.compost.it).
6. Fantozzi, F. *et al.* Analisi termodinamica di micro-turbina alimentata con gas di pirolisi di rsu. 1–10 (2001).
7. Al-Salem, S. M., Lettieri, P. & Baeyens, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Manag.* **29**, 2625–2643 (2009).
8. Cherubini, F., Bargigli, S. & Ulgiati, S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy* **34**, 2116–2123 (2009).
9. Myhre, G. *et al.* IPCC AR5, WG I: Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing Coordinating. *Press* (2013).
10. INEMAR Arpa Lombardia. *Inventario fattori di emissioni medi da traffico*. (2014).
11. Terna S.P.A. & Gruppo Terna. *Statistiche Regionali 2016*. (2016).
12. Istituto Superiore per la Ricerca e Protezione Ambientale (ISPRA). *Fattori di emissione atmosferica di gas ad effetto serra e altri gas nel settore elettrico - 280*. (2018).
13. INNOVHUB Stazioni Sperimentali Per L'Industria. Studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas , GPL , gasolio e pellet. (2017).
14. Mohn, J., Szidat, S., Zeyer, K. & Emmenegger, L. Fossil and biogenic CO<sub>2</sub> from waste incineration based on a yearlong radiocarbon study. *Waste Manag.* **32**, 1516–1520 (2012).
15. Mohn, J., Szidat, S., Fellner, J. & Emmenegger, L. Determination of biogenic and fossil CO<sub>2</sub> emitted by waste incineration. *EMPA Act.* **99**, 80 (2008).
16. EPA, U. S. E. P. A. *AP-42, Vol. I, CH 2.4: Municipal Solid Waste Landfills*. (2009).
17. Beylot, A., Villeneuve, J. & Bellenfant, G. Life Cycle Assessment of landfill biogas management: Sensitivity to diffuse and combustion air emissions. *Waste Manag.* **33**, 401–411 (2013).
18. Biogas, E. D. I. Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente. *Apparecchi per la conversione Energ. di biogas* (2007).
19. Scharff, H. & Jacobs, J. Applying guidance for methane emission estimation for landfills. *Waste Manag.* **26**, 417–429 (2006).
20. De Gioannis, G., Muntoni, A., Cappai, G. & Milia, S. Landfill gas generation after mechanical biological treatment of municipal solid waste. Estimation of gas generation rate constants. *Waste Manag.* **29**, 1026–1034 (2009).
21. Lee, U., Han, J. & Wang, M. Evaluation of landfill gas emissions from municipal solid waste landfills for the life-cycle analysis of waste-to-energy pathways. *J. Clean. Prod.* **166**, 335–342 (2017).
22. Ranson, D. Landfill gas generation assessment procedure guidelines. 1–81 (2009). doi:10.1016/j.pharmthera.2005.05.009

