



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

**Relazione tecnica UNIVPM:  
Analisi ambientale di differenti sistemi di raccolta rifiuti urbani**

**Professore**

Michele Germani

**Assegnisti/Dottorandi**

Marta Rossi

Martina Scafà

Alessandra Papetti

## Sommario

1	Introduzione.....	5
2	Descrizioni dei metodi di raccolta rifiuti.....	6
3	Analisi di sostenibilità ambientale di differenti sistemi di gestione rifiuti urbani.....	8
3.1	Obiettivo dell'analisi .....	8
3.2	Unità funzionale .....	8
3.3	Confini del sistema.....	8
3.4	Categorie di impatto ambientale, modelli e indicatori .....	9
3.5	Fonti .....	10
3.6	Riferimento temporale e geografico.....	10
3.7	Collezionamento dati.....	10
3.8	Modellazione di prodotto .....	13
3.9	Limiti.....	15
3.10	Risultati .....	15
4	Conclusioni.....	20
5	Referenze.....	21

## Indice delle figure

Figura 1. Tipici bidoni per la Raccolta Stradale (bidoni a sinistra, campana a destra) .....	6
Figura 2 Esempio di calendario e di conferimento per il metodo Porta a Porta.....	6
Figura 3. Isola Ecofil.....	7
Figura 4. Confini del sistema .....	9
Figura 5. Quartiere nord analizzato (Comune Porto San Giorgio).....	12
Figura 6. Impatto totale (Climate Change – KgCO <sub>2</sub> eq.) per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale).....	15
Figura 7. Impatto (Climate Change – KgCO <sub>2</sub> eq.) relativo alle fasi di Produzione Isola Ecologica e Uso per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale).....	16
Figura 8. Impatto (Climate Change – KgCO <sub>2</sub> eq.) relativo alle fasi Trasporto Rifiuti e Gestione rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale).....	18
Figura 9. Impatto totale per nucleo (Climate Change – KgCO <sub>2</sub> eq.) per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale) .....	19

## Indice delle Tabelle

Tabella 1. Indicatori Recipe Midpoint (H) .....	10
Tabella 2. Componenti di un'isola ecologica per i tre metodi raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale) .....	10
Tabella 3. Consumo unitario e totale per le isole Ecofil .....	11
Tabella 4. Dati raccolti per la fase di trasporto rifiuti .....	11
Tabella 5. Quantitativo di rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale).....	12
Tabella 6. Percentuali categorie rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale) ....	12
Tabella 7. Percentuali qualità dei rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale) ..	13
Tabella 8. Tipologia di trattamento ipotizzato per ciascuna tipologia di rifiuto per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale) .....	13
Tabella 9. Modellazione per la fase Produzione Isola ecologica .....	13
Tabella 12. Modellazione per la Fase Gestione Rifiuti .....	14

# 1 Introduzione

Negli ultimi decenni l'attenzione alle tematiche della sostenibilità ambientale e dell'inquinamento globale da parte dell'opinione pubblica e delle imprese è in costante aumento. Una tra le principali fonti di inquinamento è costituita dai rifiuti urbani, e di conseguenza, la loro gestione e il loro smaltimento sono diventate una priorità. A tal proposito l'obiettivo di questo lavoro è quello di confrontare diverse metodologie di raccolta di rifiuti urbani per valutarne i rispettivi impatti ambientali. Sono stati presi in considerazione 3 diversi metodi di raccolta dei rifiuti:

- Metodo di raccolta Stradale;
- Metodo di raccolta Porta a porta;
- Metodo di raccolta con isola ecologica informatizzata Ecofil.

L'analisi è relativa ad un quartiere di Porto San Giorgio, un comune di 16000 abitanti nella provincia di Fermo. Il comune selezionato rappresenta un campione significativo, dal momento che presenta caratteristiche territoriali simili a molti altri comuni del territorio costiero marchigiano e poiché nello stesso si sono susseguite negli anni, tutti i metodi di raccolta rifiuti analizzati: Stradale, Porta a porta e Ecofil.

Per svolgere l'analisi è stata utilizzata la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment - Valutazione del Ciclo di Vita*), seguendo la normativa di riferimento ISO 14040-44, che viene utilizzata per permettere di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività. L'analisi è stata svolta attraverso l'utilizzo del software SimaPro, software d'indagine iterativa contenente al suo interno diversi database che comprendono le differenti categorie necessarie alla descrizione di un ciclo di vita e che fornisce la possibilità di creare nuovi processi o materiali o di modificare quelli già esistenti, adattandosi alla necessità del caso studiato.

L'analisi ha preso in considerazione la fase di raccolta dei rifiuti dei tre metodi fino alla consegna all'isola di smaltimento, altresì le diverse tipologie di smaltimento/riciclaggio dei rifiuti. Per completezza dello studio, sono state analizzate anche le fasi di produzione, utilizzo e smaltimento finale dei bidoni e dell'isola ecologica.

I risultati ottenuti dall'analisi ambientale dei tre diversi metodi sono stati messi a confronto al fine di evidenziare quale scenario fosse il migliore dal punto di vista delle performance ambientali.

La presente relazione è articolata come segue: dopo una descrizione dei metodi di raccolta dei rifiuti oggetto di studio (Sezione 2), è presentata l'analisi ambientale (Sezione 3), con descrizione dettagliata di tutte le sue fasi e dei risultati ottenuti, quindi illustrate le conclusioni (Sezione 4).

## 2 Descrizioni dei metodi di raccolta rifiuti

I tre metodi di raccolta rifiuti presi in considerazione sono i seguenti:

- Metodo di raccolta Stradale;
- Metodo di raccolta Porta a porta;
- Metodo di raccolta con isola ecologica ECOFIL.

Il **metodo di raccolta Stradale** è una tecnica di gestione dei rifiuti che prevede la presenza lungo le strade di contenitori di diverse forme e volumetrie (generalmente grandi), dove gli utenti conferiscono varie tipologie di rifiuti differenziati, ciascuna nell'apposito contenitore (Figura 1). Sono presenti bidoni di diversi colori per le differenti tipologie di rifiuti, che normalmente corrispondono a: carta e cartone, plastica, vetro, lattine, pannolini, umido e indifferenziato. Gli utenti hanno l'obbligo di raccogliere in maniera separata le diverse tipologie di rifiuti e hanno la possibilità di conferire i rifiuti 24 ore su 24. Gli operatori del comune provvederanno poi a svuotare i suddetti bidoni secondo un calendario settimanale stabilito in base alla tipologia e al quantitativo dei rifiuti. In questa metodologia di raccolta non è presente nessuna forma di controllo sull'utente finale.



Figura 1. Tipici bidoni per la Raccolta Stradale (bidoni a sinistra, campana a destra)

Il **metodo di raccolta Porta a Porta** è una tecnica di gestione dei rifiuti che prevede il periodico ritiro dei rifiuti differenziati presso il domicilio dell'utente. Questo metodo prevede il ritiro delle diverse tipologie di rifiuti (carta e cartone, plastica, umido e indifferenziato) in giorni e contenitori diversi (Figura 2). Il vetro e l'alluminio, a discrezione del comune, possono essere inseriti nella gestione porta a porta o possono essere conferiti nei bidoni in maniera simile alla raccolta stradale. Le diverse tipologie di rifiuto vengono ritirate con frequenza diversa. Tipicamente ogni tipologia di rifiuto viene ritirata da una a tre volte a settimana. All'avvio del sistema porta a porta vengono rimossi dalle strade di tutta l'area interessata tutti i cassonetti. Al momento della raccolta l'operatore può aprire il sacchetto per controllare la corretta implementazione della differenziazione da parte dell'utente. L'errato conferimento dei rifiuti negli appositi sacchetti/cassonetti è punibile con una sanzione pecuniaria. Ciò ovviamente influisce positivamente sulla qualità della raccolta.



Figura 2 Esempio di calendario e di conferimento per il metodo Porta a Porta

Il **metodo di raccolta Ecofil** è una tecnica di gestione dei rifiuti che prevede la presenza di isole ecologiche informatizzate lungo le strade. Ogni isola è composta da diversi bidoni ermeticamente chiusi e non direttamente accessibili per le diverse tipologie di rifiuto (carta e cartone, plastica, vetro, alluminio, umido e indifferenziato) ed una parte informatizzata che serve per l'identificazione dell'utente (Figura 3). Ogni nucleo familiare viene dotato di una *Ecofil Card* utilizzata dall'utente per l'identificazione iniziale. A questo punto l'utente, attraverso il monitor touchscreen, seleziona la frazione che intende conferire: carta, plastica, vetro, ecc. e successivamente posiziona il sacchetto di rifiuto sull'apposita bilancia per la quantificazione del materiale da conferire. Il quantitativo conferito viene registrato ed associato all'utente. La macchina *Ecofil* emette un'etichetta adesiva, con codice a barre, che l'utente applica sul suo sacchetto. L'etichetta permetterà agli addetti dotati di apposito lettore, in caso di controllo, di associare il rifiuto all'utente. Il sistema sblocca l'apertura del contenitore del tipo di rifiuto selezionato. L'utente deposita il sacchetto nel contenitore che richiudendosi torna ad essere bloccato. Un sistema composto da tre videocamere "intelligenti" verifica la correttezza del conferimento ed in caso contrario emette un segnale acustico. Con questa tecnologia è possibile quindi risalire in qualsiasi momento al responsabile del sacchetto di rifiuti. È quindi un sistema ottimale per l'applicazione della Tariffazione Puntuale. L'utente ha la possibilità di conferimento 24h su 24h.



Figura 3. Isola Ecofil

I diversi metodi di raccolta di rifiuti urbani illustrati si differenziano, oltre che per la metodologia di raccolta (es. possibilità di conferire i rifiuti in settimana in base al calendario o 24h su 24h), anche per il potenziale controllo che può essere fatto a valle del conferimento dei rifiuti. Questi fattori influenzano i risultati ottenuti dalla raccolta differenziata in termini di quantità di rifiuti differenziati raccolti e qualità della raccolta differenziata. La quantità di rifiuti differenziati indica le percentuali di differenziazione delle varie tipologie di rifiuti che si ottengono rispetto al totale dei rifiuti raccolti. La qualità invece indica la "purezza" della raccolta, ossia la reale corrispondenza (rispetto a ciascuna categoria di rifiuto) tra ciò che l'utente conferisce e ciò che dovrebbe essere conferito. Dai dati dello storico, forniti da *San Giorgio distribuzione servizi srl*, società che gestisce la raccolta dei rifiuti urbani di Porto San Giorgio, emerge che la metodologia Ecofil consente di ottenere migliori risultati sia in termini di quantità che di qualità della raccolta differenziata rispetto alle altre due metodologie. Tali risultati potrebbero essere attribuiti alle caratteristiche di questa tipologia di raccolta che sembra essere il giusto connubio tra la raccolta porta a porta e lo stradale. L'utente finale infatti da un lato non si sente vincolato ad un calendario di raccolta ma è libero di conferire i rifiuti nel momento che ritiene più idoneo; dall'altro è motivato ad eseguire una corretta differenziazione in funzione del controllo che può essere fatto a valle della raccolta e di un'eventuale tariffazione puntuale.

### 3 Analisi di sostenibilità ambientale di differenti sistemi di gestione rifiuti urbani

L'analisi di sostenibilità ambientale ha l'obiettivo di analizzare prodotti o servizi al fine di valutare il carico ambientale ad essi correlato. In particolare nel presente progetto sono stati applicati la metodologia e gli strumenti di Life Cycle Assessment (LCA).

Il Life Cycle Assessment è una metodologia che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività (ISO 14040). Essa prende in esame l'intero ciclo di vita di un prodotto o di un servizio "dalla culla alla tomba" e il loro potenziale impatto ambientale inteso come:

- Uso e consumo delle risorse naturali (estrazione e lavorazione delle materie prime);
- Conseguenze ambientali dovute alla produzione, al trasporto, all'uso, riuso e manutenzione fino al riciclo e alla sua collocazione finale.

L'analisi LCA è un mezzo che esprime in termini numerici il potenziale impatto ambientale sui diversi macrosistemi terrestri, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia e delle emissioni nell'ambiente e permette di confrontare in modo quantitativo prodotti o servizi simili e di individuare e valutare le opportunità per diminuire gli impatti ambientali.

La normativa di riferimento è la ISO 14040:2006 (UNI EN ISO 14040 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework), nella quale sono descritte le fasi e le modalità di svolgimento dell'analisi. L'analisi ambientale svolta e relazionata nel presente documento è stata realizzata in conformità a tale normativa.

In particolare, in questo caso l'obiettivo è stato quello di confrontare le performance ambientali di differenti metodi di gestione dei rifiuti urbani (metodo Ecofil, porta a porta e stradale), al fine di fornire un supporto nella fase decisionale dei principali stakeholder coinvolti (in particolare i Comuni).

Seguendo lo schema proposto dalla normativa ISO 14040:2006, di seguito sono riportati i passi seguiti per la realizzazione dell'analisi LCA.

#### 3.1 Obiettivo dell'analisi

Obiettivo dell'analisi LCA realizzata è stato quello di **confrontare le performance ambientali di tre differenti metodi di gestione dei rifiuti urbani (metodo Ecofil, metodo Porta a porta, metodo Stradale)**, al fine di identificare tra di esse, la migliore soluzione.

#### 3.2 Unità funzionale

Dal momento che si tratta di un'analisi comparativa tra differenti sistemi, la definizione dell'unità funzionale assume un ruolo di elevata importanza, al fine di garantire la correttezza del confronto. L'unità funzionale considerata è: **"la gestione dei rifiuti urbani in un quartiere di una città (Porto San Giorgio) per un arco temporale annuale"**.

Risulta evidente che tale funzione può essere portata a compimento da tutti e tre i metodi di gestione dei rifiuti che si vogliono analizzare (Ecofil, Porta a porta e Stradale). Pur svolgendo la stessa funzione, i tre sistemi lo faranno con performance ambientali differenti e saranno queste differenze che l'analisi LCA permetterà di evidenziare.

#### 3.3 Confini del sistema

L'analisi svolta ha interessato le seguenti fasi e relative grandezze (contenute in maniera schematica nella Figura 4):

- **Produzione Isola ecologica:** sono inclusi in questa categoria tutti gli elementi che costituiscono l'isola ecologica. In particolare per il sistema Stradale questa comprende i cassonetti e le campane, per il sistema Ecofil questa comprende oltre ai cassonetti, anche i componenti

dell'isola informatizzata (colonna elettrica/elettronica per la gestione del conferimento dei rifiuti, pannelli in metallo e tutti gli elementi funzionali al suo funzionamento). Per il metodo porta a porta, i soli cassonetti stradali relativi al conferimento di sole alcune particolari categorie di rifiuti (frazione umida e pannolini).

Di tali elementi sono state considerate la fase di reperimento di materie prime, la fase di lavorazione, la sostituzione/manutenzione in funzione della vita utile di ciascun elemento e il loro fine vita.

- **Fase d'uso:** sono inclusi in questa fase i consumi che l'isola ecologica ha durante il suo ciclo vita. In particolare, l'unico metodo di raccolta ad essere interessato da consumi energetici è il sistema Ecofil, mentre sono nulli i consumi energetici associati ai metodi di raccolta Stradale e Porta a Porta.
- **Trasporto rifiuti:** sono inclusi in questa fase i consumi in termini di combustibile legati alla fase di trasporto dei rifiuti dai punti di prelievo (isola ecologica o abitazioni) fino al centro di raccolta comunale. Tali trasporti interessano tutti i metodi di raccolta considerati.
- **Gestione dei rifiuti:** sono inclusi in questa fase i trattamenti che i rifiuti subiscono una volta che raggiungeranno i centri di recupero/smaltimento. In particolare tali trattamenti saranno di riciclo, compostaggio e discarica a seconda delle diverse categorie di rifiuto (materiali riciclabili, frazione umida e indifferenziata).

Sono esclusi dai confini del sistema, la distribuzione dai siti di produzione dei componenti delle isole ecologiche ai luoghi di reale utilizzo, dal momento che non si disponevano di informazioni in merito. Sono altresì esclusi gli impatti legati alla produzione dei rifiuti. Tale assunzione è legata al fatto che si assume che la quantità di rifiuti prodotta sia sempre la stessa nei tre sistemi di gestione considerata.

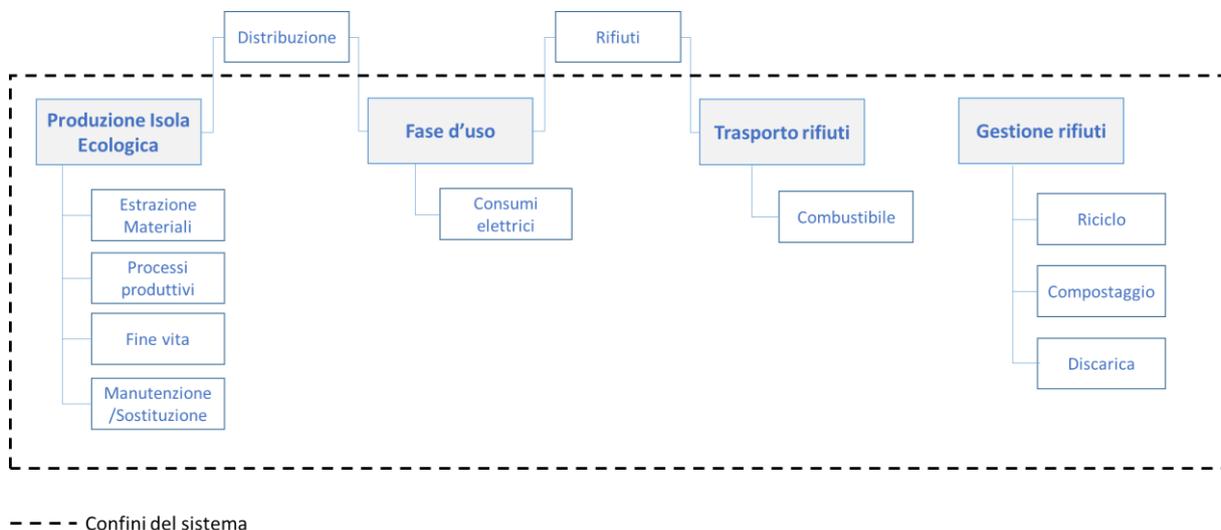


Figura 4. Confini del sistema

### 3.4 Categorie di impatto ambientale, modelli e indicatori

Le categorie di impatto e gli indicatori utilizzati per lo studio LCA sono riportati nella Tabella 1 e ricavati mediante applicazione del metodo ReCiPe mid-point - Hierarchist (H) version - Europe (Goedkoop et al. 2009, Huijbregts et al. 2017).

Tra i diversi indicatori del metodo si è scelto di selezionare il Climate Change (espresso in termini di kg CO<sub>2</sub>e) quale riferimento principale, dal momento che tale indicatore risulta essere quello maggiormente interpretabile all'interno dei contesti aziendali.

**Tabella 1. Indicatori Recipe Midpoint (H)**

<b>Impact category</b>	<b>Unit</b>
Abiotic depletion	kg Sb eq
Abiotic depletion (fossilfuels)	MJ
Climate change(GWP100a)	kg CO2 eq
Ozonelayerdepletion (ODP)	kg CFC-11 eq
Human toxicity	kg 1,4-DB eq
Fresh water aquaticetox.	kg 1,4-DB eq
Marine aquaticetoxicity	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Photochemicaloxidation	kg C2H4 eq
Acidification	kg SO2 eq
Eutrophication	kg PO4--- eq

### 3.5 Fonti

I dati utilizzati per realizzare l'analisi LCA relazionata nel presente documento sono stati derivati da colloqui con i responsabili dell'azienda Ecofil e con i responsabili del sistema di gestione rifiuti del Comune di Porto San Giorgio (San Giorgio Distribuzione Servizi S.r.l.).

### 3.6 Riferimento temporale e geografico

L'anno di riferimento è il 2016. Lo studio si riferisce al territorio comunale di Porto San Giorgio.

### 3.7 Collezionamento dati

Di seguito verranno fornite tutte le informazioni relative al collezionamento dei dati necessari per lo svolgimento dell'analisi ambientale per ciascuna delle fasi incluse nel confine del sistema.

#### Produzione Isole ecologiche

Di seguito i dati raccolti relativamente alla produzione dei componenti di ciascuna isola ecologica per i tre sistemi considerati (Tabella 2).

**Tabella 2. Componenti di un'isola ecologica per i tre metodi raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

<b>Prodotto/Componente</b>	<b>Massa Unitaria [Kg]</b>	<b>Processo produttivo</b>	<b>Life time</b>	<b>Metodo raccolta</b>		
				<b>Ecofil [q.tà]</b>	<b>Porta a Porta [q.tà]</b>	<b>Stradale [q.tà]</b>
Cassonetto capacità 360l	22	Stampaggio	5 anni	7	-	-
Cassonetto capacità 240l	15	Stampaggio	5 anni	2	3	1
Cassonetto stradale	45	Stampaggio	5 anni	-	-	3
Campana	90	Stampaggio	5 anni	-	-	1
Contrappeso in cemento	10	n.d.	5 anni	12		
Struttura in Acciaio	160	Lavorazione media acciaio Zincatura	20 anni	1	-	-
Pannelli informativi in acciaio	120	Lavorazione media acciaio	20 anni	1	-	-
Stampante Laser	n.d.	n.d.	5 anni	1	-	-
Monitor 10,7 pollici	n.d.	n.d.	5 anni	1	-	-
Bilancia	n.d.	n.d.	5 anni	1	-	-
Batteria	n.d.	n.d.	2 anni	1	-	-
Quadro elettrico	n.d.	n.d.	10 anni	1	-	-
Video camera	n.d.	n.d.	5 anni	1	-	-

Si è ipotizzato che il quartiere analizzato venisse coperto dal servizio di raccolta rifiuti attraverso:

- 13 isole per il sistema Ecofil;
- 6 isole per il sistema Porta a Porta;
- 10 isole per il sistema Stradale.

E' possibile ipotizzare che a fine vita i componenti subiscano trattamenti di riciclo.

### Fase d'uso

Fra i tre metodi di raccolta rifiuti considerati, il solo sistema a presentare un consumo energetico durante il suo utilizzo è il sistema Ecofil, caratterizzato da isole ecologiche informatizzate provviste di monitor, telecamere, movimentazioni meccanizzate, etc. Sulla base delle informazioni fornite dall'azienda Ecofil, si è supposto il seguente scenario di utilizzo (Tabella 3).

**Tabella 3. Consumo unitario e totale per le isole Ecofil**

Consumo unitario isola [kWh/anno]	Numero di isole [q.tà]	Consumo totale [kWh/anno]
500	13	6500

### Trasporto rifiuti

Di seguito verranno illustrati i dati ricavati per la fase di trasporto dei rifiuti (Tabella 4). Il comune di Porto San Giorgio dispone di mezzi Isuzu 35q (alimentati a gasolio) che partono dal punto di raccolta rifiuti posto a Sud della città (Largo Carducci) per raggiungere i punti di prelievo (che possono essere collocati sulla sede stradale, su ciascuna abitazione o in determinate aree di prelievo).

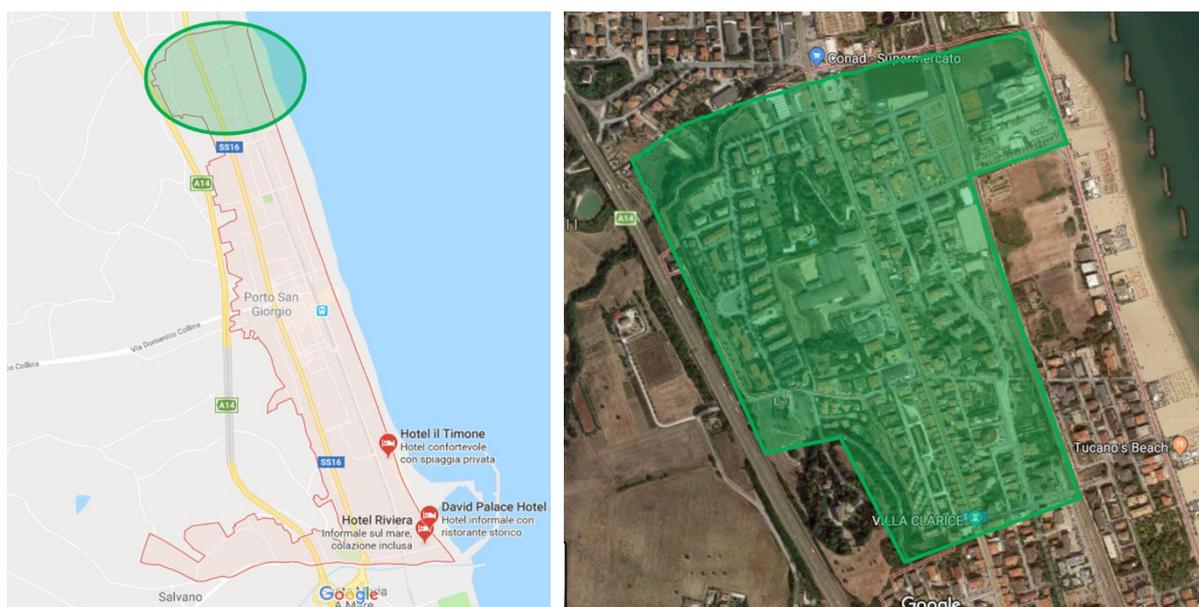
**Tabella 4. Dati raccolti per la fase di trasporto rifiuti**

Parametri	Ecofil	Porta a Porta	Stradale
Tipo di mezzo	Isuzu 35q	Isuzu 35q	Isuzu 35q
Alimentazione	gasolio	gasolio	gasolio
Percorso [Km]	12	25	12
Frequenza [n viaggi/settimana]	6	6	5
Media Kg trasportati [Kg]	700	700	700
<b>Ton Km Totali</b>	<b>2621</b>	<b>5438</b>	<b>2184</b>

### Gestione rifiuti

I successivi dati collezionati hanno riguardato la fase di gestione dei rifiuti. In particolare, in primo luogo si è proceduto **alla quantificazione dei rifiuti prodotti e alla definizione di una zona** di riferimento. Dal momento che il quantitativo di rifiuto prodotto ogni anno in un territorio subisce solo una leggera variazione di anno in anno, si è deciso di fissare sia l'area considerata che la quantità di rifiuti.

In particolare si è considerata la quantità di rifiuti prodotta nell'anno 2016 nel quartiere del Comune di Porto san Giorgio servito dal sistema Ecofil (quartiere Nord della città, mostrato in Figura 5).



**Figura 5. Quartiere nord analizzato (Comune Porto San Giorgio)**

Tale quartiere è composto da circa 2170 nuclei, ciascuno mediamente costituito da 2,6 persone. La quantità di rifiuti prodotta ammonta per l'anno 2016 a 385 223.65 Kg. Mediamente pertanto ogni nucleo produce un quantitativo annuo di rifiuti pari a 177.5 Kg.

A partire da tale dato, si sono poi ricavate le frazioni di rifiuti suddivise per le diverse categorie. Tali frazioni (percentuali delle differenti categorie di rifiuto) sono state ricavate:

- Per il sistema Ecofil, dal portale di gestione dell'azienda relativo al comune di Porto San Giorgio;
- Per il sistema Porta a Porta e Stradale, dai dati comunali relativi rispettivamente agli anni 2010 e 2005 forniti dall'azienda San Giorgio Distribuzione Servizi S.r.l. responsabile del servizio di gestione dei rifiuti per la città.

I dati ricavati e successivamente utilizzati sono mostrati nelle successive tabelle (Tabella 5, Tabella 6, Tabella 7).

**Tabella 5. Quantitativo di rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

<b>Tipologia di Rifiuto</b>	<b>Ecofil Quantità [Kg]</b>	<b>Porta a Porta Quantità [Kg]</b>	<b>Stradale Quantità [Kg]</b>
Carta cartone tetrapak	38062.38	44685.94	24538.74
Organico	128067.95	88601.44	9938.77
Vetro	25008.6	25309.19	5123.47
Lattine e barattolame	6996.37	1926.118	3775.19
Plastica	23011.65	13482.83	4353.03
Indifferenziato	80521.69	127663.1	321276.52

**Tabella 6. Percentuali categorie rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

<b>Tipologia di Rifiuto</b>	<b>Ecofil Percentuale [%]</b>	<b>Porta a Porta Percentuale [%]</b>	<b>Stradale Percentuale [%]</b>
Carta cartone tetrapak	9.88	11.60	6,37
Organico	33.24	23	3
Vetro	6.49	6.57	1.33
Lattine e barattolame	1.81	0.50	0.98
Plastica	5.97	3.50	1.13

Indifferenziato	20,9	33,13	83,4
Rifiuti particolari (verde, legno, ingombranti, etc...)	21,71	21,7	3,79

**Tabella 7. Percentuali qualità dei rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

Qualità del rifiuto	Ecofil	Porta a Porta	Stradale
	Percentuale [%]	Percentuale [%]	Percentuale [%]
Carta cartone tetrapak	95	80	65
Organico	95	80	65
Vetro	95	75	60
Lattine e barattolame	95	80	65
Plastica	95	80	65

A partire dai dati sulla quantità e sulla qualità dei rifiuti, di seguito sono presentati (Tabella 8) i trattamenti che sono stati ipotizzati per ciascuna categoria di rifiuto, sulla base dei colloqui con l'azienda Ecofil e con la San Giorgio Distribuzione Servizi S.r.l. Si osserva che la tipologia di trattamento ipotizzata è la stessa per i tre diversi metodi di raccolta.

**Tabella 8. Tipologia di trattamento ipotizzato per ciascuna tipologia di rifiuto per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

Tipologia di rifiuto	Tipologia di trattamento		
	Ecofil	Porta a Porta	Stradale
Carta cartone tetrapak	Riciclo	Riciclo	Riciclo
Vetro	Riciclo	Riciclo	Riciclo
Lattine e barattolame	Riciclo	Riciclo	Riciclo
Plastica	Riciclo	Riciclo	Riciclo
Indifferenziato	Discarica comunale	Discarica comunale	Discarica comunale
Organico	Compostaggio	Compostaggio	Compostaggio

### 3.8 Modellazione di prodotto

A partire dai dati raccolti (e contenuti nella precedente sezione) si è proceduto alla loro modellazione al fine di calcolarne i relativi impatti ambientali. Per tale modellazione è stato utilizzato il Software commerciale per analisi LCA SimaPro versione 8, con installato il Data Base commerciale EcoInvent v3.2. Di seguito verranno illustrati i datasets del Data Base commerciale EcoInvent v3.2, per ciascuna istanza di ciascuna fase inclusa nel confine del sistema.

#### Produzione Isole ecologiche

Di seguito (Tabella 9) sono illustrati i dettagli della modellazione per la fase di produzione delle isole ecologiche.

**Tabella 9. Modellazione per la fase Produzione Isola ecologica**

Prodotto/Componente	Massa/Unità [Kg/pz]	Materiale	Dataset	Processo Produttivo	Dataset
Cassonetto capacità 360l	22	Polietilene alta densità	Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Rec, U	Stampaggio	Injection moulding {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Cassonetto capacità 240l	15	Polietilene alta densità	Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Rec, U	Stampaggio	Injection moulding {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Cassonetto stradale	45	Polietilene alta densità	Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Rec, U	Stampaggio	Injection moulding {GLO}  market for   Alloc Rec, U

Campana	90	Polietilene alta densità	Polyethylene, high density, granulate {GLO}  market for   Alloc Rec, U	Stampaggio	Injection moulding {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Contrappeso in cemento	10	Cemento	Concrete block {GLO}  market for   Alloc Rec, U	n.a.	-
Struttura in Acciaio	160	Cemento	Concrete block {GLO}  market for   Alloc Rec, U		
Pannelli informativi in acciaio	120	Acciaio	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for   Alloc Rec, U		Metal working, average for steel product manufacturing {GLO}  market for   Alloc Rec, U
Stampante Laser	1 pz	Stampante laser	Printer, laser, black/white {GLO}  market for   Conseq, S	-	-
Monitor 10,7 pollici	1 pz	Monitor	Display, liquid crystal, 17 inches {GLO}  market for   Alloc Rec, U	-	-
Bilancia	1 pz	n.a.	-	n.a.	-
Batteria	1 pz	n.a.	-	n.a.	-
Quadro elettrico	3 kg	Quadro elettrico	Electronics, for control units {GLO}  market for   Alloc Rec, U	n.a.	-
Scheda	1kg	Scheda elettrica	Printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free {GLO}  market for   Alloc Rec, U	n.a.	-
Video camera	1 pz	n.a.	-	n.a.	-

### Fase d'uso

La fase d'uso è stata modellata per il solo metodo di raccolta rifiuti Ecofil, come consumo elettrico. L'azienda ha fornito un consumo medio annuale di un'isola pari a 500 kWh. Tale consumo è stato modellato con il seguente dataset: Electricity, low voltage {IT}| market for | Alloc Rec, U.

### Trasporto rifiuti

La fase dei trasporti è stata modellata per i tre metodi di raccolta dei rifiuti. In particolare sono stati considerati chilometraggi differenti per ciascun metodo (come illustrato nel paragrafo precedente), utilizzando un comune dataset: Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | Alloc Def, U

### Gestione rifiuti

I trattamenti a fine vita che sono stati ipotizzati per ciascuna categoria di rifiuto, sulla base dei colloqui con l'azienda Ecofil e con la San Giorgio Distribuzione Servizi S.r.l sono stati presentati in Tabella 8. Di seguito i data set utilizzati per la modellazione del tipo di trattamento per ciascuna categoria di rifiuto.

**Tabella 10. Modellazione per la Fase Gestione Rifiuti**

Tipologia di rifiuto	Trattamento	Dataset
Vetro	Riciclo	Packaging glass, white (waste treatment) {GLO}  recycling of packaging glass, white   Alloc Def, U
Plastica	Riciclo	Mixed plastics (waste treatment) {GLO}  recycling of mixed plastics   Alloc Def, U
Carta e Cartone	Riciclo	Paper (waste treatment) {GLO}  recycling of paper   Alloc Def, U
Lattine e barattolame	Riciclo	Aluminium (waste treatment) {GLO}  recycling of aluminium   Alloc Def, U

Organico	Compostaggio	Biowaste {GLO}  treatment of biowaste, municipal incineration   Alloc Def, U
Indifferenziato	Discarica comunale	Inert waste, for final disposal {GLO}  market for   Alloc Def, U
Flusso rimasto	Discarica comunale	Inert waste, for final disposal {GLO}  market for   Alloc Def, U

### 3.9 Limiti

Per assenza di informazioni sufficientemente dettagliate da garantire una modellazione LCA corretta, sono stati trascurati i seguenti componenti per il sistema Ecofil: bilancia e batteria. Tuttavia i risultati ottenuti (e mostrati nella sezione successiva) evidenziano un peso poco significativo della fase di manufacturing sul valore complessivo di impatto, garantendo pertanto la veridicità dei risultati nonostante i componenti trascurati.

Ulteriore limitazione è rappresentata dai dati sulla qualità del rifiuto raccolto, che sono stati forniti dall'azienda Ecofil. Non è stato possibile verificare tali dati, per mancanza di risposte delle aziende che si occupano di smaltimento/recupero del rifiuto.

### 3.10 Risultati

Di seguito sono mostrati i risultati ottenuti in termini di Climate Change (KgCO<sub>2</sub>eq.) per l'unità funzionale considerata.

I risultati per i restanti indicatori sono contenuti nella APPENDICE 1. L'andamento dei risultati è analogo per tutti gli indicatori considerati.

In primo luogo sono mostrati i risultati in termini di: impatto ambientale totale relativo alla **gestione dei rifiuti urbani nel quartiere di riferimento scelto per la città di Porto San Giorgio, in un arco temporale annuale**. L'impatto è mostrato per i tre metodi di raccolta: Ecofil (in verde), Porta a Porta (in blu) e Stradale (in arancione).

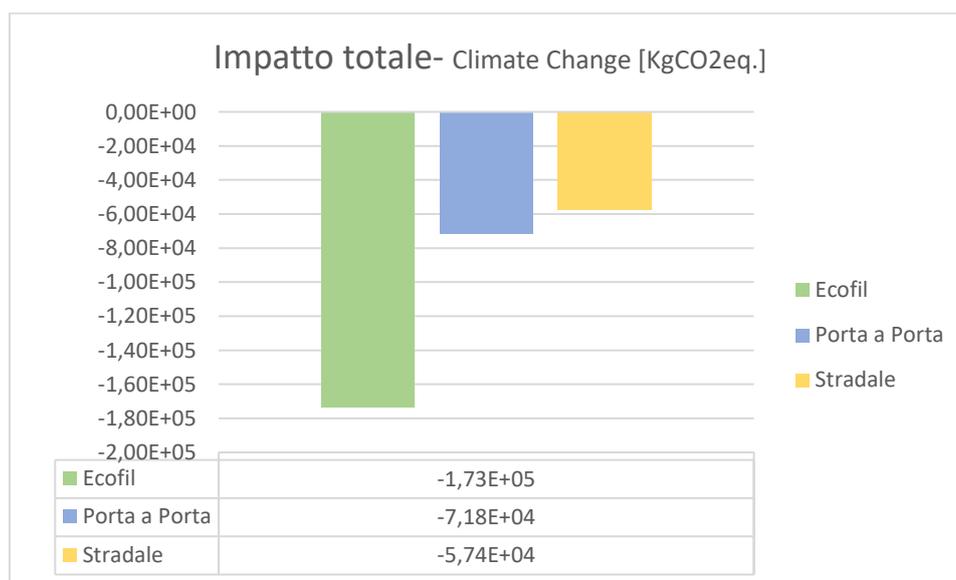


Figura 6. Impatto totale (Climate Change – KgCO<sub>2</sub>eq.) per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)

Il grafico in Figura 6 rappresenta l'impatto di tutte le fasi considerate nell'analisi (espresso come la somma algebrica degli impatti di ciascuna fase), a partire dall'impatto legato alla produzione dei cassonetti e del sistema informatizzato, fino agli impatti legati al trattamento dei rifiuti.

In primo luogo è bene sottolineare che un impatto ambientale numericamente “positivo” (>0) rappresenta un carico sfavorevole per l’ambiente. Viceversa, un impatto ambientale numericamente “negativo” (<0) rappresenta un benefit per l’ambiente.

Osservando il grafico di Figura 6 si osserva che tutti i metodi di raccolta rifiuti analizzati determinano benefits ambientali.

**Il metodo con performance ambientali migliori risulta essere quello Ecofil, che determina i maggiori guadagni ambientali, seguito dal metodo di raccolta Porta a Porta, quindi dal metodo di raccolta Stradale.**

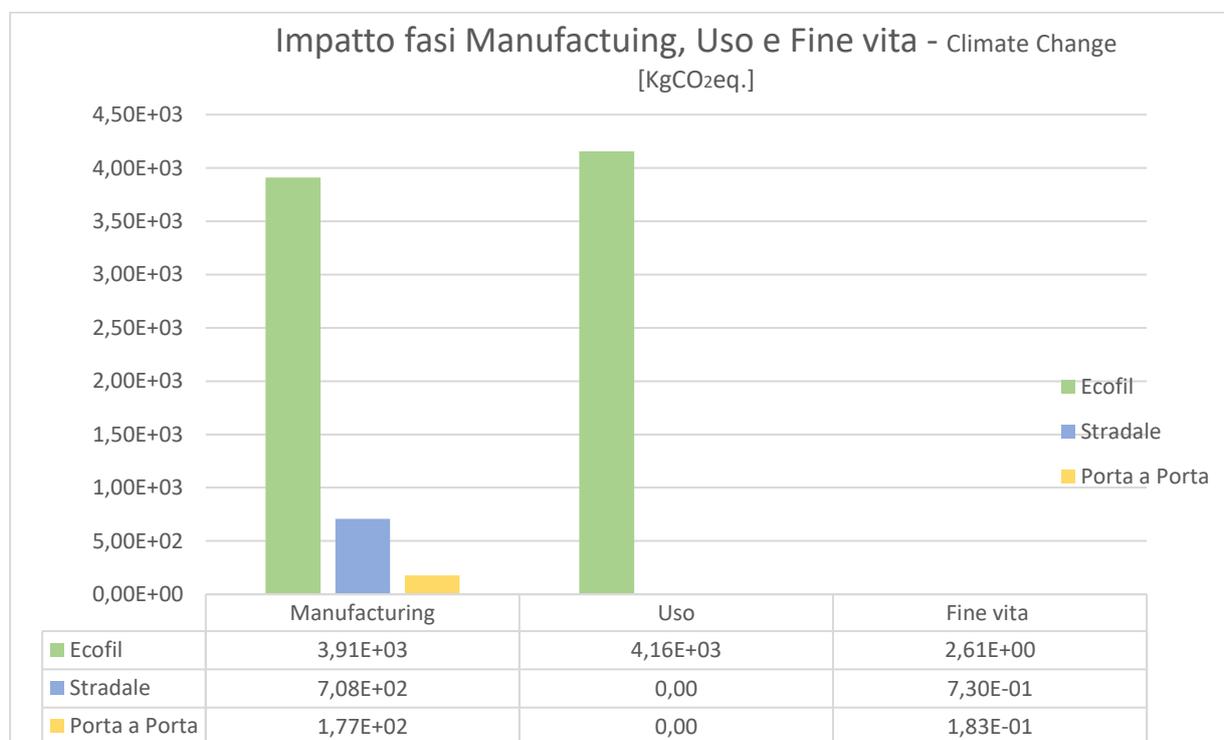
In particolare l’adozione del sistema Ecofil determina un guadagno ambientale di circa il 140 % rispetto al sistema Porta a Porta. Il sistema Porta a Porta rispetto allo Stradale determina un miglioramento del 25% delle performance ambientali.

E’ bene ricordare che tali valori sono relativi alla specificità dei dati raccolti per la specifica analisi, alle relative assunzioni e semplificazioni descritte nei paragrafi precedenti.

I grafici successivi (Figura 7 e Figura 8) hanno l’obiettivo di dettagliare i risultati totali ottenuti, per le varie fasi considerate nell’analisi.

Il grafico di Figura 7 mostra:

- gli impatti legati alla fase di produzione delle isole ecologiche per i tre metodi di raccolta (colonne indicate con “Manufacturing”), in cui confluiscono gli impatti legati alle materie prime e ai processi produttivi necessari per realizzare i componenti delle isole;
- gli impatti legati alla fase di uso (colonne indicate con “Uso”), ovvero al consumo energetico legato al funzionamento delle isole stesse;
- gli impatti legati alla fase di fine vita (colonne indicate con “Fine vita”), ovvero gli impatti legati allo smaltimento dei componenti delle isole, una volta che queste hanno terminato la loro vita utile.



**Figura 7. Impatto (Climate Change – KgCO<sub>2</sub>eq.) relativo alle fasi di Produzione Isola Ecologica e Uso per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

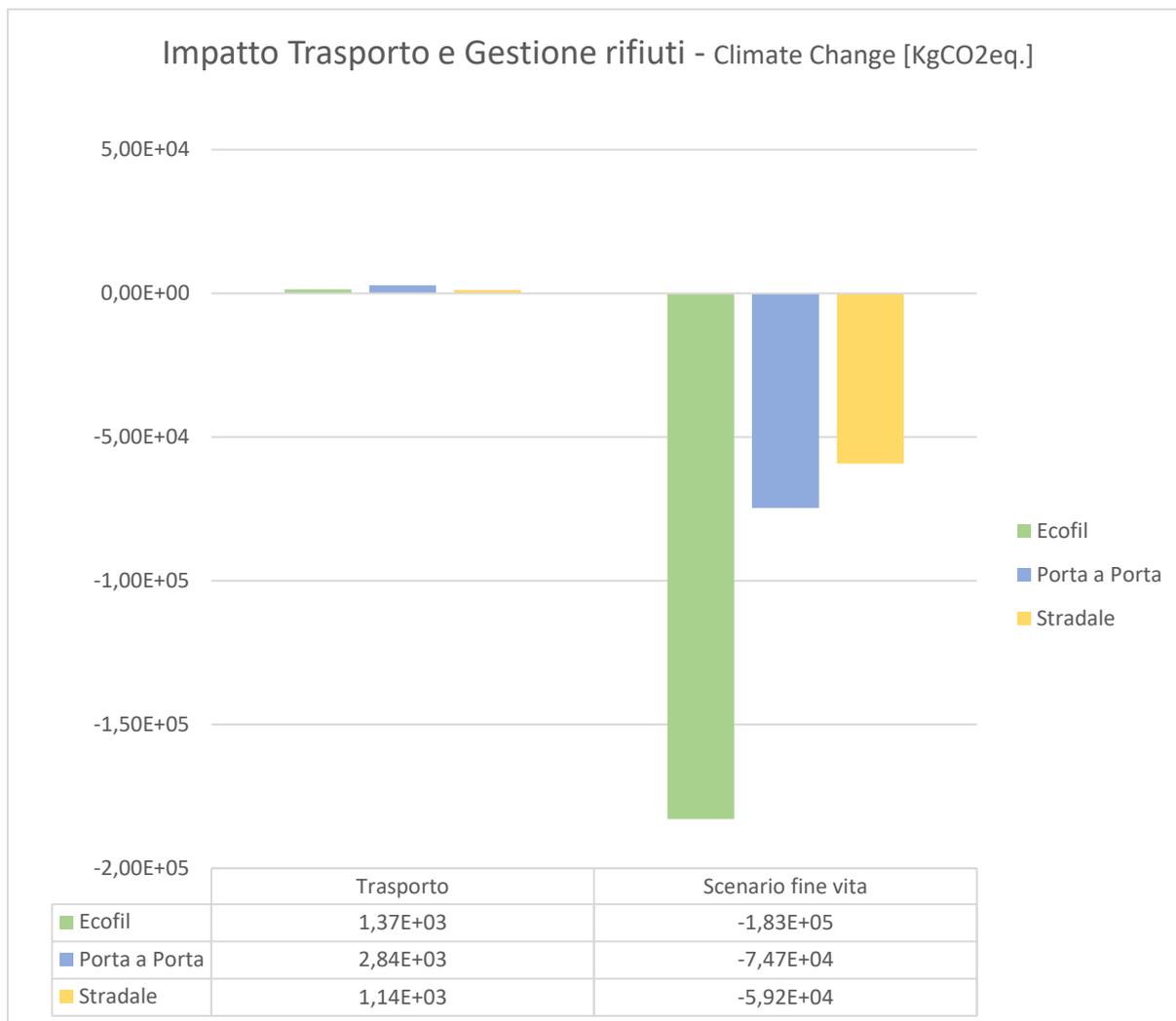
In primo luogo si osserva che, per tutti i metodi di raccolta, le fasi di Manufacturing, Uso e Fine vita hanno, sommati, un peso inferiore al 2% sugli impatti totali. La loro influenza sugli impatti finali è perciò ridotta.

E' comunque interessante entrare nel dettaglio di tali fasi. Ciò che si osserva dal grafico di Figura 7 è che il metodo di raccolta Ecofil determina i maggiori impatti sia per la fase di Manufacturing che di Uso, rispetto al metodo Porta a Porta e Stradale.

Tale risultato è legato al fatto che il metodo di raccolta Ecofil presenta un allestimento maggiormente complesso (pannelli informativi, totem in acciaio, sistema per la movimentazione dei cassonetti) rispetto a quello degli altri metodi (costituiti semplicemente da cassonetti di diverse dimensioni) e soprattutto presenta un elevato quantitativo di componentistica elettronica di controllo (schede, monitor, stampante, etc...), completamente assente negli altri metodi. Tale componentistica elettrica ed elettronica, oltre quindi a pesare negativamente sull'ambiente per le fasi di reperimento materie prime e processi produttivi, determina anche un consumo energetico (che è invece assente negli altri metodi).

La maggiore complessità del sistema e il consumo in fase di utilizzo fanno quindi del metodo Ecofil, il maggiore impattante per le fasi di Manufacturing e Uso. A seguire il metodo Stradale (che presenta cassonetti di dimensioni significative), quindi il metodo Porta a Porta. Quest'ultimo risulta essere il meno impattante per le fasi di Manufacturing ed Uso dal momento che prevede l'installazione di un numero ridotto di cassonetti di piccole dimensioni e che, come il metodo Stradale, non presenta consumi energetici durante la fase di utilizzo. Poco significativo risulta l'impatto legato alla fase di Fine Vita, ovvero allo smaltimento dei componenti che caratterizzano ciascun metodo.

Il grafico di Figura 8 mostra invece gli impatti relativi alla fase di Trasporto dei rifiuti dai siti di raccolta (abitazioni o punti di prelievo) al centro di smistamento comunale e i benefits legati ai trattamenti che vengono realizzati sui rifiuti conferiti presso i centri di recupero/smaltimento (colonne indicate con "Scenario Fine vita").



**Figura 8. Impatto (Climate Change – KgCO<sub>2</sub>eq.) relativo alle fasi Trasporto Rifiuti e Gestione rifiuti per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

Si osserva che la fase di Trasporto ha impatti “positivi” (>0), pertanto rappresenta un carico ambientale. Il trasporto dei rifiuti determina infatti un consumo di combustibile fossile (in tal caso gasolio). Tale impatto, dal momento che il tipo di mezzo utilizzato è lo stesso nei tre sistemi di raccolta, risulta essere proporzionale ai chilometri percorsi e conseguentemente al numero e alla localizzazione dei punti di prelievo e alla frequenza di raccolta. Il sistema Porta a Porta che presenta il maggior numero di prelievi (ogni singola abitazione della zona considerata) e la maggiore frequenza di raccolta, determina il maggiore impatto ambientale, seguito dal sistema Ecofil (che presenta un numero di prelievi inferiore). Il sistema Stradale, essendo caratterizzato da un basso numero di punti di prelievo e da una minor frequenza di raccolta (rispetto sia al metodo Porta a Porta che al metodo Ecofil) è il sistema che, relativamente alla fase di trasporto dei rifiuti, determina il minor impatto ambientale.

L’impatto dei trasporti risulta tuttavia avere un peso poco significativo sull’impatto totale (pari circa al 1% per il sistema Ecofil, al 4% per il metodo Porta a porta e al 2% per il metodo Stradale).

La fase di Gestione dei rifiuti, in cui sono considerati gli impatti o i benefici ambientali legati ai trattamenti che vengono realizzati sui rifiuti presso i centri di recupero/smaltimento, mostra che **il metodo di raccolta Ecofil garantisce i maggiori benefits ambientali.**

**Tale fase è inoltre la più significativa sugli impatti totali.** Una variazione degli input che la riguardano, determina quindi una significativa variazione sugli output (ovvero sugli impatti finali del sistema).

A livello ambientale i trattamenti di riciclo (in cui confluiscono i rifiuti differenziati) così come la produzione di compost (in cui confluisce la frazione umida) hanno un bilancio complessivamente positivo per l'ambiente, determinando cioè dei benefits. Viceversa il conferimento in discarica dei rifiuti (in cui confluisce tutto il rifiuto indifferenziato) determina un carico ambientale.

In termini numerici si osserva che i benefits ambientali legati alla fase “Scenario fine Vita” ottenuti in tale analisi, sono uno o due ordini di grandezza superiori rispetto agli impatti legati alla fase di Trasporto e a quelle di Manufacturing e Uso. Nel bilancio complessivo degli impatti quindi, il maggior peso è assunto proprio dalla fase di “Scenario fine vita”. Ciò significa che: **essendo il metodo di raccolta Ecofil quello che presenta i maggiori benefits ambientali nella fase di gestione a fine vita dei rifiuti, esso risulta essere anche il migliore se si osservano i risultati complessivi** (Figura 6).

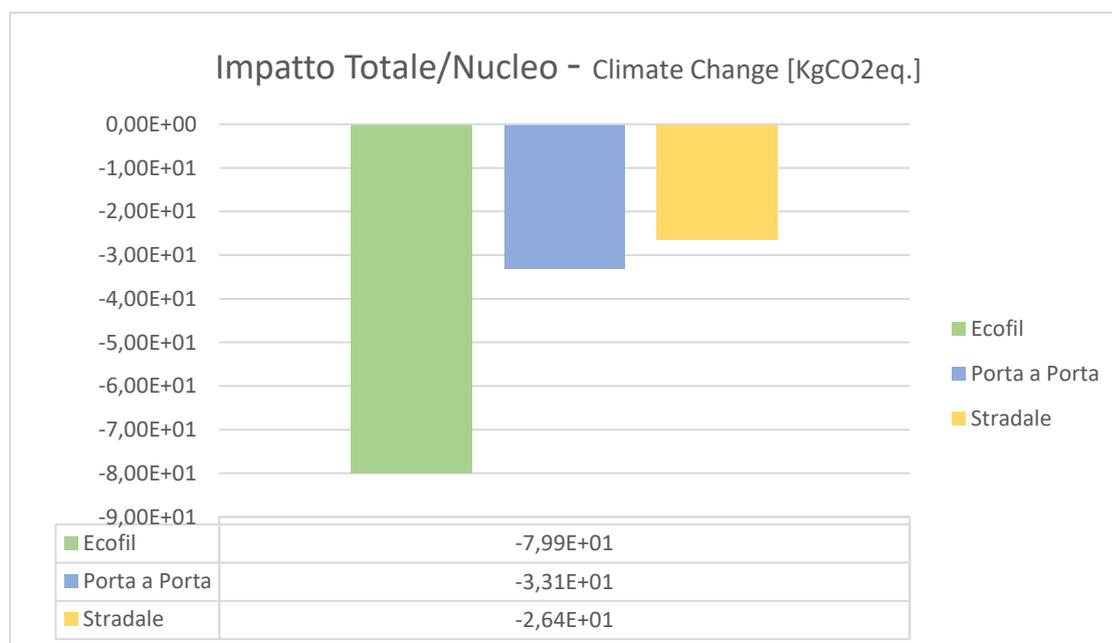
Lo scenario di fine vita Ecofil presenta infatti un benefit ambientale pari a 182875.76 KgCO<sub>2</sub>eq, contro un benefit di 74670.72 KgCO<sub>2</sub>eq del metodo Porta a Porta e un benefit di 59224.49 KgCO<sub>2</sub>eq del metodo Stradale.

I motivi alla base della migliore performance ambientale del metodo di raccolta Ecofil sono legati a:

- Una **maggiore quantità di differenziazione** dei rifiuti rispetto al metodo Porta a Porta e Stradale (con il metodo Ecofil risulta essere infatti maggiore la quantità di rifiuti differenziati per categorie e la conseguente minore quantità di rifiuto indifferenziato mandato in discarica);
- Una **maggiore qualità del rifiuto raccolto** rispetto al metodo Porta a Porta e Stradale.

Le ragioni di incremento di tali fattori sono probabilmente legate ad un miglior controllo sull'utente svolto dal sistema informatizzato di conferimento dei rifiuti che caratterizza il metodo Ecofil, rispetto sia al metodo Porta a Porta, che a quello Stradale.

Mentre i risultati mostrati in Figura 6 sono relativi all'intero quartiere analizzato (composto da 2170 nuclei), la successiva mostra i risultati per nucleo (composto mediamente da 2,6 persone). Tale risultato può essere utilizzato per traslare i risultati ottenuti in altri contesti simili.



**Figura 9. Impatto totale per nucleo (Climate Change – KgCO<sub>2</sub>eq.) per i tre metodi di raccolta (Ecofil, Porta a Porta, Stradale)**

## 4 Conclusioni

Il lavoro relazionato in questo documento ha avuto l'obiettivo di **confrontare le performance ambientali di differenti metodi di raccolta dei rifiuti urbani**. In particolare sono state presi in considerazione tre diversi metodi di raccolta dei rifiuti: metodo di raccolta Stradale, metodo di raccolta Porta a porta e metodo di raccolta con isola ecologica informatizzata Ecofil.

L'analisi ha riguardato un quartiere di Porto San Giorgio, un comune di 16000 abitanti nella provincia di Fermo. Il comune selezionato rappresenta un campione significativo, dal momento che presenta caratteristiche territoriali simili a molti altri comuni del territorio costiero marchigiano e poiché nello stesso si sono susseguite negli anni, tutti i metodi di raccolta rifiuti analizzati.

L'analisi di sostenibilità ambientale è stata svolta applicando la metodologia e gli strumenti di Life Cycle Assessment (LCA). Nella modellazione è stato utilizzato il software commerciale per analisi LCA SimaPro versione 8, con installato il Data Base commerciale EcoInvent v3.2.

I risultati, per tutte le categorie di danno considerate hanno mostrato che **il metodo con performance ambientali migliori risulta essere quello Ecofil, che determina i maggiori guadagni ambientali, seguito dal metodo di raccolta Porta a Porta, quindi dal metodo di raccolta Stradale**.

Lo scenario di fine vita Ecofil presenta infatti un benefit ambientale pari a 173439.46 KgCO<sub>2</sub>eq, contro un benefit di 71829.91KgCO<sub>2</sub>eq del metodo Porta a Porta e un benefit di 57375.04 KgCO<sub>2</sub>eq del metodo Stradale.

I motivi alla base della migliore performance ambientale del metodo di raccolta Ecofil sono legati a:

- Una **maggiore quantità di differenziazione** dei rifiuti rispetto al metodo Porta a Porta e Stradale (con il metodo Ecofil risulta essere infatti maggiore la quantità di rifiuti differenziati per categorie e la conseguente minore quantità di rifiuto indifferenziato mandato in discarica);
- Una **maggiore qualità del rifiuto raccolto** con il metodo Ecofil rispetto ai metodi Porta a Porta e Stradale.

Lo studio è stato limitato dall'impossibilità di modellare alcuni componenti elettronici dell'isola informatizzata Ecofil (telecamere e batterie) con il database utilizzato. Tuttavia i risultati ottenuti evidenziano un peso poco significativo della fase di manufacturing sul valore complessivo di impatto, garantendo quindi la veridicità dei risultati nonostante i componenti trascurati. Ulteriore limitazione è rappresentata dai dati sulla qualità del rifiuto raccolto, che sono stati forniti dall'azienda Ecofil. Non è stato possibile verificare tali dati, per mancanza di informazioni da parte delle aziende che si occupano di smaltimento/recupero del rifiuto.

A partire da tali limitazioni, si programmeranno ulteriori approfondimenti e sviluppi futuri.

## 5 Referenze

- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R. 2009. ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation - First edition - VROM–Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. (Retrieved from <http://www.lcia-recipe.net>, last access September 2017).
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R. 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int. J. LCA.* 22, 138-147.
- ISO, 2006a. 14040:2006 - Environmental management - LCA - Principles and Framework.
- ISO, 2006b. 14044:2006 -Environmental management - LCA - Requirements and Guidelines.