



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

**Corso di Laurea Magistrale**  
**Rischio ambientale e protezione civile**

*Analisi di sostenibilità ambientale di strategie di gestione  
di rifiuti solidi urbani*

*Environmental sustainability analysis of municipal solid  
waste management strategies*

Tesi di Laurea Magistrale  
di: Lorenzo Lowenthal

Relatore:  
Prof.ssa Francesca Beolchini

**Sessione Straordinaria**

**Anno Accademico: 2019/2020**

# INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
1.1 Riferimenti legislativi .....	3
1.2 Attuale gestione dei RSU in Europa e in Italia.....	8
1.3 Attuale gestione dei RSU in Italia .....	13
1.4 Il Trattamento Meccanico Biologico.....	16
1.4.1 Inquadramento nazionale .....	16
1.4.2 Il TMB in Europa .....	25
1.4.3 Potenziali vantaggi e limiti del TMB .....	28
2. SCOPO DEL LAVORO .....	30
3. MATERIALI E METODI .....	31
3.1 L'impianto di smaltimento rifiuti oggetto di studio .....	31
3.2 L'impianto TMB oggetto di studio .....	33
4. RISULTATI E DISCUSSIONI .....	35
4.1 Il caso di studio: un impianto di smaltimento rifiuti nella Regione Marche.....	35
4.1.1 Precipitazioni e percolato .....	37
4.1.2 Formazione di biogas .....	40
4.2 Il caso di studio: un impianto di TMB nella Regione Marche .....	42
5. ANALISI DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE .....	48
5.1 Definizione dell'obiettivo.....	48
5.2 Campo di applicazione dello studio.....	50
5.2.2 Unità funzionale .....	50
5.2.3 Confini del sistema .....	50
5.3 Analisi dell'inventario .....	53
5.5 Valutazione degli impatti.....	55
5.5.1 Classificazione e caratterizzazione .....	55
5.5.2 Normalizzazione e pesatura .....	69
6. DISCUSSIONE .....	71
7. BIBLIOGRAFIA .....	73
8. SITOGRAFIA.....	75
9. RINGRAZIAMENTI.....	77

# 1. INTRODUZIONE

## *1.1 Riferimenti legislativi*

### a) In Europa

L'argomento "economia circolare" è ormai al centro dell'attenzione da diversi anni in Europa, specialmente dal punto di vista ambientale, e proprio per questo sono state emanate diverse direttive a riguardo, specialmente negli ultimi anni. Dal 4 luglio 2018 sono entrate in vigore le 4 direttive UE in materia di economia circolare, che gli Stati membri dovranno recepire entro il 5 luglio 2020 :

- **Direttiva 2018/849** che modifica le direttive 2000/53/CE sui veicoli fuori uso, 2006/66/CE su pile e accumulatori e rifiuti di pile e accumulatori e 2012/19/UE sui rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche.
- **Direttiva 2018/850** che modifica la direttiva 1999/31/CE sulle discariche.
- **Direttiva 2018/851** che modifica la direttiva 2008/98/CE sui rifiuti.
- **Direttiva 2018/852** sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio.

Le direttive di interesse per questo studio sono la 2018/850 e la 2018/851. Tra i principali obiettivi troviamo:

- l'incremento delle percentuali di riciclaggio, ovvero il raggiungimento del 55% in peso dei rifiuti urbani domestici e commerciali entro il 2025, del 60% in peso nel 2030 e del 65% in peso nel 2035;
- il riciclaggio del 65% dei materiali da imballaggio entro il 2025 e il 70% entro il 2030;
- entro il 2035, non potrà essere conferito in discarica più del 10% dei rifiuti;
- i rifiuti tessili e i rifiuti pericolosi domestici (vernici, pesticidi, oli e solventi) dovranno essere raccolti separatamente dal 2025;
- a partire dal 2024, i rifiuti biodegradabili dovranno essere obbligatoriamente raccolti separatamente o riciclati a casa attraverso il compostaggio;
- oltre alle quote destinate a riutilizzo e riciclo, il pacchetto prevede varie misure: attività di promozione della prevenzione (anche dello spreco alimentare) e del riutilizzo, gli Stati membri dovranno adottare misure volte a evitare la produzione di rifiuti, la regolamentazione dei sottoprodotti e della end-of-waste, cioè la fase al termine del trattamento dei rifiuti in cui i materiali possono non essere più considerati rifiuti, purché soddisfino determinate condizioni;

- un rafforzamento della gerarchia dei rifiuti (che vede al primo posto la prevenzione e all'ultimo la discarica) con l'introduzione dell'obbligo per gli Stati membri di adottare strumenti economici adeguati per la sua implementazione.

## b) In Italia

In attesa del recepimento di tali direttive è attualmente in vigore il Dlgs 205/10, “Disposizioni di attuazione della direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti”, che modifica il Dlgs 152/2006 Parte quarta (“Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati”).

Il Dlgs 205/10 definisce ed ha come obiettivi :

- introduzione degli obiettivi di riciclaggio per specifiche tipologie di rifiuti:
  1. entro il 2015: la raccolta differenziata almeno per carta, metalli, plastica e vetro e ove possibile, per il legno.
  2. entro il 2020: obbligo di raggiungere una percentuale globale di riciclaggio fino al 50% per carta, metallo, plastica, vetro.
  3. entro il 2020: obbligo di riciclare il 70 % dei rifiuti da costruzione e demolizione.

- migliore definizione di “recupero” e “smaltimento”, introduzione della definizione di “prevenzione”, “riutilizzo”, “riciclaggio”, “preparazione per il riutilizzo”, modifica della definizione di raccolta differenziata e nuova definizione di rifiuto (ossia qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l’intenzione o abbia l’obbligo di disfarsi).
- introduce la responsabilità estesa del produttore : il produttore e il detentore (ossia il produttore dei rifiuti o la persona fisica o giuridica che ne è in possesso) dei rifiuti devono gestire gli stessi in modo da garantire un livello elevato di protezione dell’ambiente e della salute umana. Nel complesso, quindi, tutti i soggetti coinvolti nel ciclo di gestione dei rifiuti sono responsabili della loro corretta gestione.
- riformulazione del concetto di gerarchia dei rifiuti, mettendo al primo posto la prevenzione e a seguire la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio, recupero di altro tipo ( es. energia da incenerimento ) e infine smaltimento in discarica.

- modifica dei criteri per la qualifica dei sottoprodotti. Perché una sostanza sia qualificata come sottoprodotto anziché rifiuto è necessaria la sussistenza di tutte le seguenti condizioni:
  - origine da un processo di produzione di cui costituisce parte integrante, ma il cui scopo non è la produzione di tale sostanza o oggetto;
  - utilizzo diretto senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
  - utilizzo legale senza impatti negativi sull'ambiente e sulla salute umana;
- modifica di criteri per chiarire quando un rifiuto cessa di essere tale (end of waste). Un rifiuto cessa di essere tale se soddisfa certi requisiti: • utilizzo per scopi specifici; • esistenza di un mercato; • capacità di soddisfare requisiti tecnici per scopi specifici; • assenza di impatti negativi sull'ambiente o sulla salute umana;
- rafforzamento del principio di prevenzione;
- divieto generico di miscelazione di rifiuti, nonchè l'ulteriore divieto di miscelare rifiuti pericolosi aventi differenti caratteristiche di pericolosità ovvero rifiuti pericolosi con rifiuti non pericolosi, al fine di evitare la diluizione di sostanze pericolose;

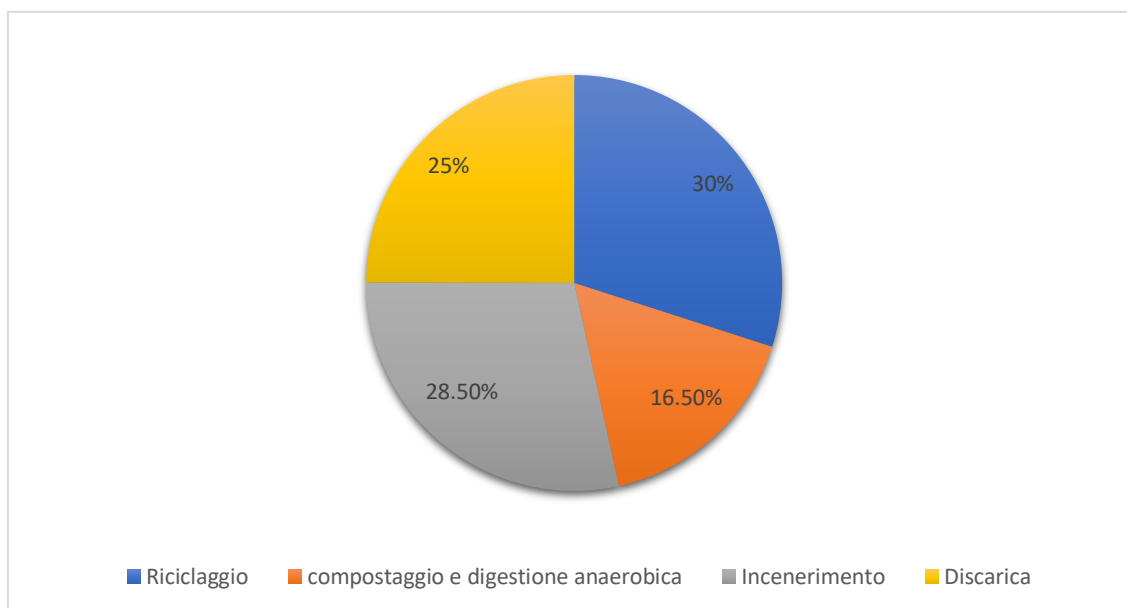
- la tracciabilità dei rifiuti deve essere garantita dalla loro produzione sino alla loro destinazione finale. Tale gestione deve avvenire secondo 2 criteri:
  - 1) applicazione del sistema SISTRI (‘art. 14-bis del decreto-legge 1° luglio 2009, n.78);
  - 2) rispetto degli obblighi sulla tenuta dei registri di carico e scarico (art. 190) e formulari di identificazione dei rifiuti (art. 193);
  
- nuovi criteri di classificazione dei rifiuti.

## *1.2 Attuale gestione dei RSU in Europa e in Italia*

Nel 2016 i Paesi europei hanno generato in media 483 kg di rifiuti a persona, per un totale di 246'586'000 tonnellate di rifiuti (dati Eurostat). Generalmente i paesi più sviluppati e con una economia più forte sono quelli che producono più rifiuti (es. Germania), mentre paesi meno all'avanguardia ne producono meno (es. Romania). Nonostante le migliori tecniche di gestione adottate dai paesi più sviluppati, la priorità, senza nulla togliere alle tecniche di gestione, consiste nella riduzione della produzione di rifiuti. La quantità di rifiuti prodotta riflette gli schemi della nostra economia; più prodotti e materiali



sprechiamo e più energia e risorse saranno necessarie per produrne di nuovi. Ridurre i rifiuti e gli sprechi, tra l'altro, può avere un importante impatto positivo sui cambiamenti climatici, dal momento che una riduzione della produzione porta ad un minor rilascio di gas serra.



*Fig. 1.2.1 : Ripartizione percentuale media della gestione dei RSU in UE (2016). Fonte: Eurostat*

La figura 1.2.1 mostra le percentuali per quanto concerne la gestione dei rifiuti degli stati membri. In Europa il 30% dei rifiuti urbani gestiti nei 28 Stati membri è avviato a riciclaggio, il 16,6% a compostaggio e digestione anaerobica, il 28,5% incenerito e il 25% smaltito in discarica.

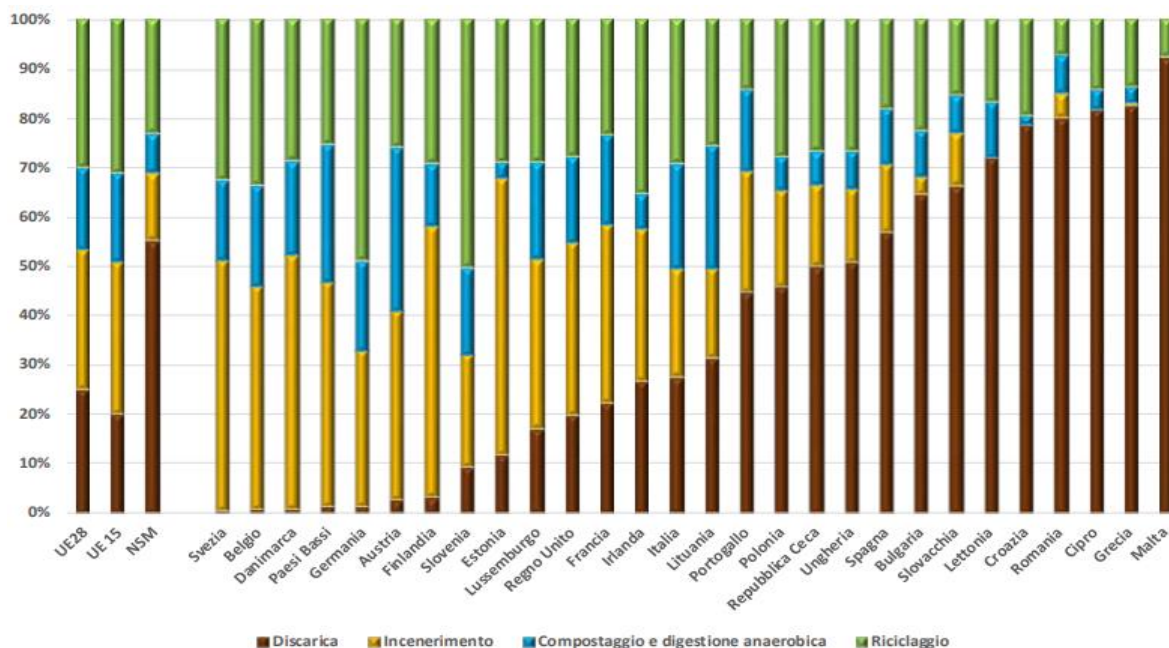


Fig. 1.2.2: Ripartizione percentuale della gestione dei rifiuti urbani nell'UE, anno 2016 (dati ordinati per percentuali crescenti di smaltimento in discarica). Fonte: Eurostat.

È presente una estrema variabilità di approcci alla gestione dei rifiuti urbani tra i diversi Stati membri (figura 1.2.2), ad esempio per quanto riguarda lo smaltimento in discarica, si passa dallo 0,6% (Svezia) al 91,8% (Malta); paesi che riciclano fino al 50% come la Slovenia e paesi come la Romania la cui percentuale di riciclaggio non raggiunge nemmeno il 10% (7% circa). Stando ai dati Eurostat del 2016, il 47% di tutti i rifiuti urbani nell'UE viene riciclato o compostato; percentuale che negli anni a venire dovrà aumentare considerevolmente.

Come affermato in precedenza dalla Direttiva 2018/850 e Direttiva 2018/851 sarà doveroso raggiungere obiettivi quali il raggiungimento del 55% entro il

2025 per quanto riguarda il riciclaggio dei rifiuti urbani e il conferimento di non più del 10% dei rifiuti in peso dovrà essere conferito in discarica.

*Tab. 1.2.1 : Rifiuti comunali: situazione negli stati membri. L'obiettivo di reutilizzo e riciclaggio dei rifiuti domestici entro il 2025 è  $\geq 55\%$ ; l'obiettivo di discariche comunali entro il 2035 è  $\leq 10\%$ . Fonte: Eurostat, EPRS, Commissione europea 2016.*

Dati dal 2016	rifiuti comunali prodotti (Kg/pro capite)	percentuale di riciclo e compostaggio	percentuale di smaltimento	percentuale di incenerimento e altro (x100)
UE 28	482	0,47	0,25	0,28
Danimarca	777	0,48	0,01	0,51
Malta	647	0,08	0,92	0,00
Cipro	640	0,19	0,81	0,00
Germania	626	0,66	0,01	0,33
Lussemburgo	614	0,48	0,17	0,35
Irlanda*	567	0,42	0,22	0,36
Austria	564	0,59	0,03	0,38
Paesi Bassi	520	0,53	0,01	0,46
Francia	510	0,42	0,22	0,36
Finlandia	504	0,42	0,03	0,55
Grecia	497	0,17	0,82	0,01
<b>Italia</b>	<b>497</b>	<b>0,51</b>	<b>0,28</b>	<b>0,21</b>
Regno Unito*	482	0,45	0,28	0,27
Portogallo*	453	0,3	0,49	0,21
Slovenia**	449	0,58	0,24	0,18
Lituania	444	0,5	0,31	0,19
Spagna	443	0,3	0,57	0,33
Svezia	443	0,49	0,01	0,50
Belgio	420	0,54	0,01	0,45
Lettonia	410	0,28	0,72	0,00
Bulgaria	404	0,32	0,64	0,04
Croazia	403	0,21	0,78	0,01
Ungheria	379	0,35	0,51	0,14
Estonia	376	0,32	0,12	0,56
Slovacchia	348	0,23	0,66	0,11
Repubblica Ceca	339	0,34	0,5	0,16
Polonia	307	0,44	0,37	0,19
Romania	261	0,15	0,8	0,05

\*\* dati del 2015      \* dati del 2014

Al 2016 lo scenario europeo è il seguente:

- lo smaltimento in discarica è quasi inesistente nei paesi del nord-ovest dell'Europa (Belgio, Paesi Bassi, Svezia, Danimarca, Germania, Austria, Finlandia), che gestiscono i rifiuti urbani principalmente attraverso l'utilizzo di inceneritori e metodi di riciclo. Tra questi la Germania e l'Austria sono in cima alla classifica dei paesi che gestiscono i rifiuti in maniera più sostenibile (nonostante siano tra i maggiori produttori di rifiuti comunali, kg/pro capite);
- nei paesi dell'est e del sud Europa l'utilizzo delle discariche rappresenta ancora il metodo principale per la gestione dei rifiuti (Malta, Cipro, Romania vi conferiscono l'80% o più; Ungheria, Croazia, Lettonia, Slovacchia, Bulgaria più del 60%; Spagna, Ungheria, Repubblica Ceca, Portogallo circa il 50%);
- altri stati membri (Estonia, Lussemburgo, Francia, Irlanda, Slovenia, **Italia**, Regno Unito, Lituania, Polonia) smaltiscono circa un terzo dei rifiuti nelle discariche, usano gli inceneritori e riciclano più del 40% dei rifiuti domestici (Estonia esclusa).

### 1.3 Attuale gestione dei RSU in Italia

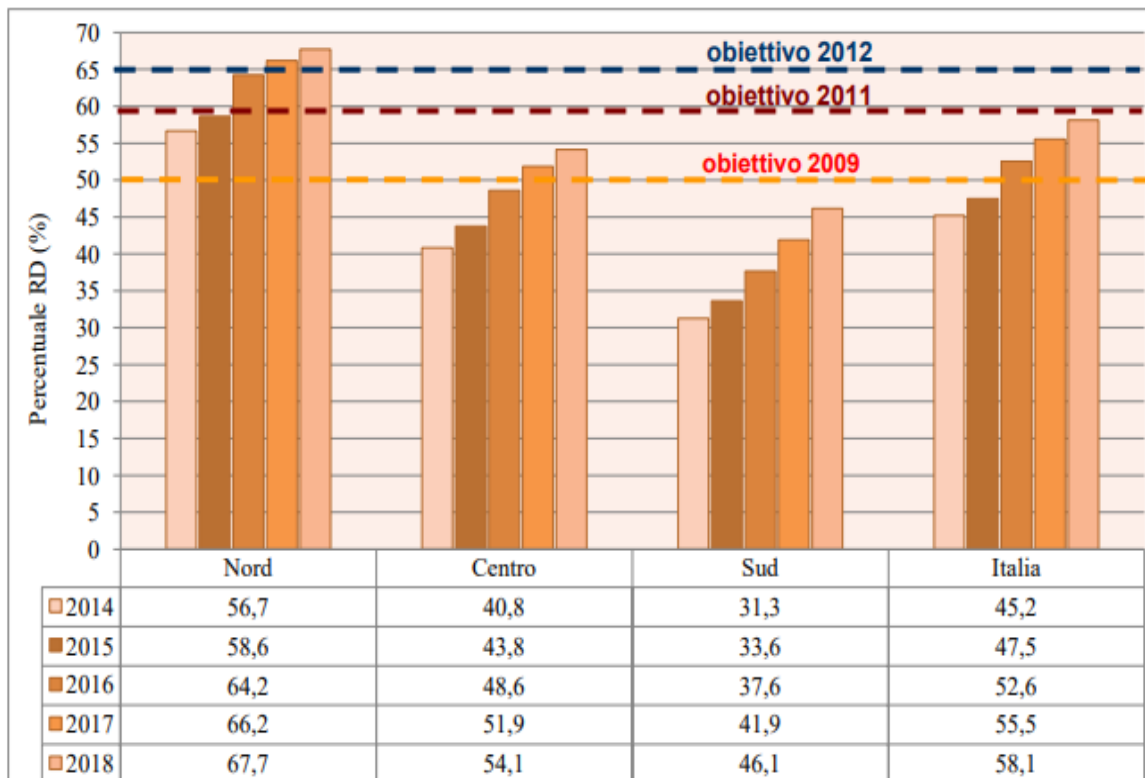
Tab 1.3.1 : scenario italiano sulla gestione dei rifiuti. Fonte: Eurostat, 2016

Dati dal 2016	rifiuti comunali prodotti (Kg/pro capite)	percentuale di riciclo e compostaggio	percentuale di smaltimento	Percentuale di incenerimento	Altro
Italia	497	51%	28%	18%	3%

L'Italia sta cercando di adeguarsi alle ultime direttive europea che prevedono un graduale aumento di raccolta differenziata e una progressiva riduzione delle discariche. Attualmente la situazione non è ottimale ma nemmeno la peggiore in Europa: i dati Ispra per l'Italia evidenziano nel 2016 una percentuale di raccolta differenziata pari al 52,55%, con una crescita di 5 punti rispetto alla percentuale del 2015. ( Fig. 1.3.1 )

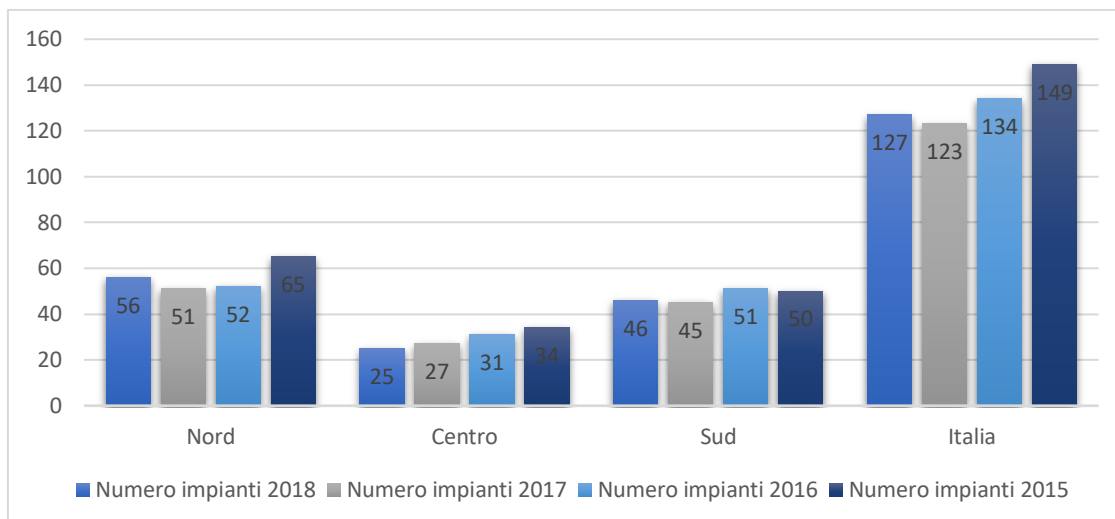
Stando ai dati Eurostat, nel 2016 la percentuale nazionale di riciclaggio e compostaggio è circa del 51%, valore molto simile alla percentuale di raccolta differenziata. Ciò si potrebbe tradurre in una buona efficienza di recupero dei materiali differenziati, con uno scarto del 1,55% circa.

Relativamente agli impianti di incenerimento invece, questi accolgono circa il 18% dei rifiuti. Valore nella media europea ma che evidenzia come in Italia non si punti tanto a questa modalità di recupero. L'incenerimento resta infatti un tema piuttosto delicato, tuttora soggetto a controverse opinioni. Infine, il 3% è soggetto ad altri trattamenti.



*Fig.1.3.1: andamento della percentuale nazionale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani, anni 2014-2018. Fonte: ISPRA*

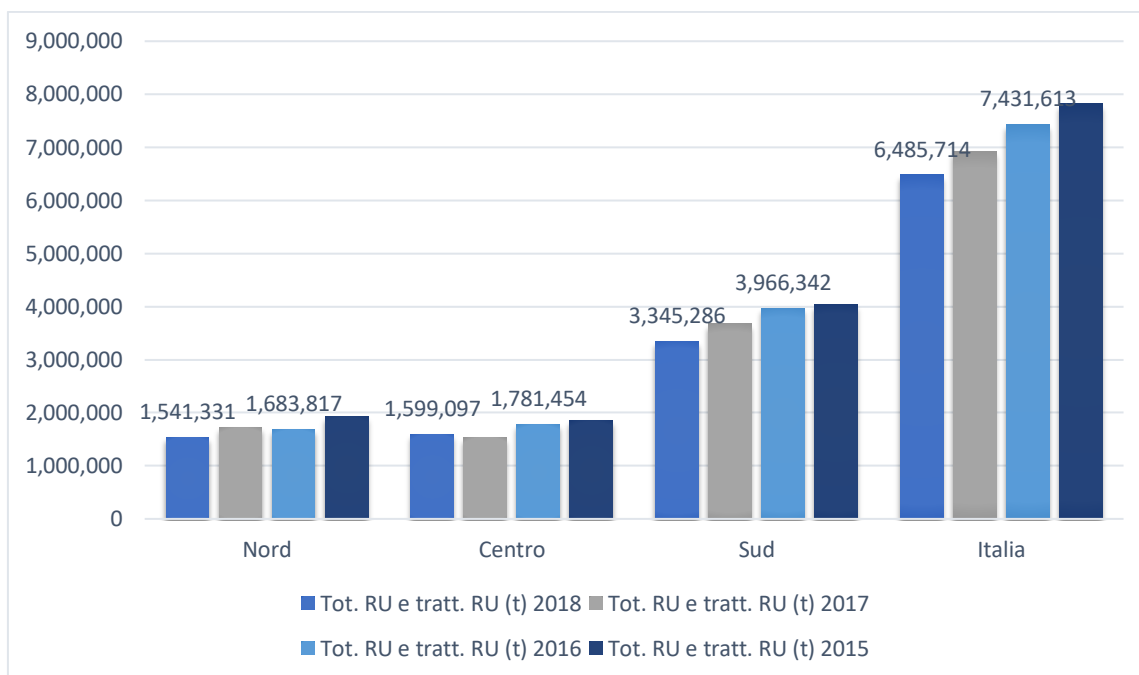
Per quanto riguarda lo smaltimento in discariche in Italia, il 28% circa (27,6%) dei rifiuti urbani viene smaltito in esse (tab.1.3.1). Così come nel resto d'Europa c'è una generale tendenza a diminuirne il numero e la quantità di rifiuti conferiti, in accordo con la vigente Direttiva (2018/850) e precedenti (fig.1.3.2).



*Fig.1.3.2: evoluzione nel numero di discariche dal 2015 a 2018 in Italia. Fonte: ISPRA*

Le percentuali finora espresse sono state fornite a livello europeo da Eurostat, tuttavia Ispra per quanto riguarda la percentuale di rifiuti urbani conferiti in discarica ci fornisce una percentuale leggermente differente, il 25% contro il 28% (dati Eurostat). Sulla base del primo valore i rifiuti urbani che finiscono in discarica ammontano a 7'431'612,60 tonnellate, più della metà provenienti dal sud (figura 1.3.3), per un totale di 30.112.078,85 tonnellate di rifiuti prodotti al 2016.

La produzione pro capite di RU in Italia invece è pari a 497 kg/ab.\*anno, superiore alla media europea, ovvero 483 kg/ab.\*anno ( tab 1.2.1).



*Fig 1.3.3: Elaborazione rapporto ISPRA riguardante rifiuti urbani e RU dopo trattamento, smaltiti in discarica. Fonte: ISPRA*

## *1.4 Il Trattamento Meccanico Biologico*

### *1.4.1 Inquadramento nazionale*

Il Dlgs 6/2003 (recepimento Direttiva 1999/31/CE) e il Dlgs 205/2010 (recepimento Direttiva Europea 2008/98/CE) individuano “i processi fisici, termici, chimici o biologici, incluse le operazioni di cernita, che modificano le caratteristiche dei rifiuti, allo scopo di ridurre il volume o la natura pericolosa, di facilitarne il trasporto, di agevolare il recupero o di favorirne lo smaltimento in condizioni di sicurezza”, e fare in modo che la gestione dei rifiuti sia effettuata senza danneggiare la salute umana, senza recare pregiudizio



all'ambiente. Per questo motivo viene introdotto il trattamento meccanico biologico prima dello smaltimento in discarica dell'indifferenziato.

Come da Decreto del 29 gennaio 2007 ( relativo alle migliori tecniche disponibili in materia di gestione di rifiuti ), il Trattamento Meccanico Biologico (TMB) è un trattamento costituito da due meccanismi, uno meccanico e uno biologico, con l'obiettivo di recuperare materia ed energia a partire da rifiuti indifferenziati. Il trattamento meccanico si occupa di tritare e vagliare il rifiuto per separare le diverse frazioni merceologiche, e rimuovere i componenti riciclabili; mentre nel trattamento biologico il rifiuto viene sottoposto ad un processo, il cui scopo è la mineralizzazione delle componenti organiche (biostabilizzazione) e l'igienizzazione delle stesse per pastorizzazione.

Gli obiettivi del Trattamento Meccanico Biologico consistono nel:

- generare FOS, ovvero frazione organica stabilizzata (il quale è utilizzato come materiale per il ricoprimento delle discariche);
- conseguire l'igienizzazione della massa, con eliminazione dei patogeni;
- ridurre il volume e la massa dei materiali trattati da conferire in discarica;
- generare, in alcune situazioni, energia.

In generale è possibile distinguere due tipologie di trattamento meccanico-biologico:

1. Con separazione di flusso : è presente un trattamento meccanico di selezione del rifiuto residuo che separa una frazione umida biodegradabile (sottovaglio) destinata alla biostabilizzazione, da una secca ad alto potere calorifico (sopravaglio) dalla quale è possibile ottenere tramite raffinazioni ulteriori, il combustibile solido secondario (CSS) o da conferire in discarica;
2. A flusso unico : si effettua un trattamento di biostabilizzazione/bioessiccazione dell'intera massa di rifiuto indifferenziato residuo con un pretrattamento meccanico consistente nella sola frantumazione, e successive raffinazioni per ottenere CSS.

Nel primo caso, la frazione sottovaglio, dovrà essere avviata a processi di biostabilizzazione che consentano di destinarla in discarica o eventualmente per creare materiale per il ricoprimento di discariche (FOS). È fondamentale in questa fase mantenere adeguate sistemi di aereazione, concentrazioni di ossigeno (>10%) e determinati parametri di temperatura (40-50 gradi) e umidità (> 50%) .

Alla fine del processo si ottiene un volume notevolmente inferiore rispetto a quello di partenza, in modo da ridurre drasticamente il potenziale per la produzione dei gas o per il trasporto degli inquinanti attraverso il percolato.

In Italia sono presenti 131 impianti di TMB, nei quali nel 2018 sono stati avviati un quantitativo di rifiuti pari a 10'844'436 tonnellate. Nel 2018 è avviato al trattamento meccanico biologico aerobico (TMB) un quantitativo di rifiuti pari a 10,6 milioni di tonnellate (figura 2.2.1). Rispetto al 2017, si assiste a una riduzione del 2,1%. I rifiuti trattati sono costituiti per l'86,1% da rifiuti urbani indifferenziati (oltre 9,1 milioni di tonnellate), per il 9,7% (circa 1 milione di tonnellate) da rifiuti derivanti dal trattamento dei rifiuti urbani, per il 2,4% (quasi 250 mila tonnellate) da frazioni merceologiche di rifiuti urbani (carta, plastica, metalli, legno, vetro e frazioni organiche da raccolta differenziata) e,

infine per l'1,9% (198 mila tonnellate) da rifiuti speciali provenienti da comparti industriali (settore conciario, agro industria, lavorazione del legno) e dal trattamento di altri rifiuti. sei degli impianti sono collocati in territorio marchigiano (fig 1.4.1.4), per un totale di 240'625,7 tonnellate di rifiuti provenienti dall'area urbana trattati al 2018 (tab 1.4.1.1).

Tab. 1.4.1.1: gestione nazionale del TMB dei rifiuti al 2018. Fonte: ISPRA

Trattamento meccanico biologico (TMB)

Regione	Numero impianti	RU indiff. (t)	Rif. da trattamento RU (t)	Altri RU (t)	Tot. RU e tratt. RU (t)	RS (t)
PIEMONTE	11	433.897,3	62.659,7	18.375,2	514.932,2	15,3
LOMBARDIA	8	290.198,9	68.662,7	12.059,8	370.921,4	107.736,5
TRENTINO ALTO ADIGE	1	16.871,0	0,0	580,0	17.451,0	0,0
VENETO	6	314.153,4	52.412,6	8.713,6	375.279,6	319,5
FRIULI VENEZIA GIULIA	3	83.564,4	52.642,1	68.247,0	204.453,5	12.766,1
LIGURIA	5	310.271,9	248,0	1.521,0	312.040,9	555,0
EMILIA ROMAGNA	9	327.329,4	129.084,6	16.799,8	473.213,7	20.048,9
TOSCANA	15	894.849,7	30.105,0	16.101,1	941.055,8	1.469,0
UMBRIA	5	162.140,0	8.181,0	0,0	170.321,0	0,0
MARCHE	6	201.590,0	32.629,2	6.406,6	240.625,7	0,0
LAZIO	11	1.488.173,0	155.253,0	51.628,0	1.695.054,0	52.518,0
ABRUZZO	5	316.998,5	57.687,6	2.655,0	377.341,1	295,0
MOLISE	3	70.089,0	15.926,0	2.404,0	88.419,0	1.888,0
CAMPANIA	7	1.200.447,9	0,0	6.738,1	1.207.186,0	0,0
PUGLIA	11	1.000.669,3	214.137,7	13.408,7	1.228.215,7	1,0
BASILICATA	1	18.916,0	745,0	0,0	19.661,0	0,0
CALABRIA	9	424.633,6	32.058,0	28,3	456.719,9	40,0
SICILIA	9	1.469.793,8	102.272,2	16.256,0	1.588.322,0	0,0
SARDEGNA	6	113.585,3	11.461,6	7.724,0	132.770,8	622,3
<b>Italia</b>	<b>131</b>	<b>9.138.172,2</b>	<b>1.026.165,9</b>	<b>249.646,1</b>	<b>10.413.984,2</b>	<b>198.274,6</b>

La maggior parte dei rifiuti sottoposti al TMB sono rifiuti indifferenziati; minor peso hanno i rifiuti provenienti dal trattamento dei rifiuti urbani (RU) e altri tipi di rifiuti (tab 1.4.1.1). La maggior parte delle regioni che trattano questi rifiuti

appartengo al meridione e al Lazio (fig 1.4.1.2). Generalmente una elevata quantità di rifiuto indifferenziato inviato al trattamento può essere associata ad una eccessiva generazione di rifiuti e ad una raccolta differenziata poco efficiente (fig 1.4.1.1).

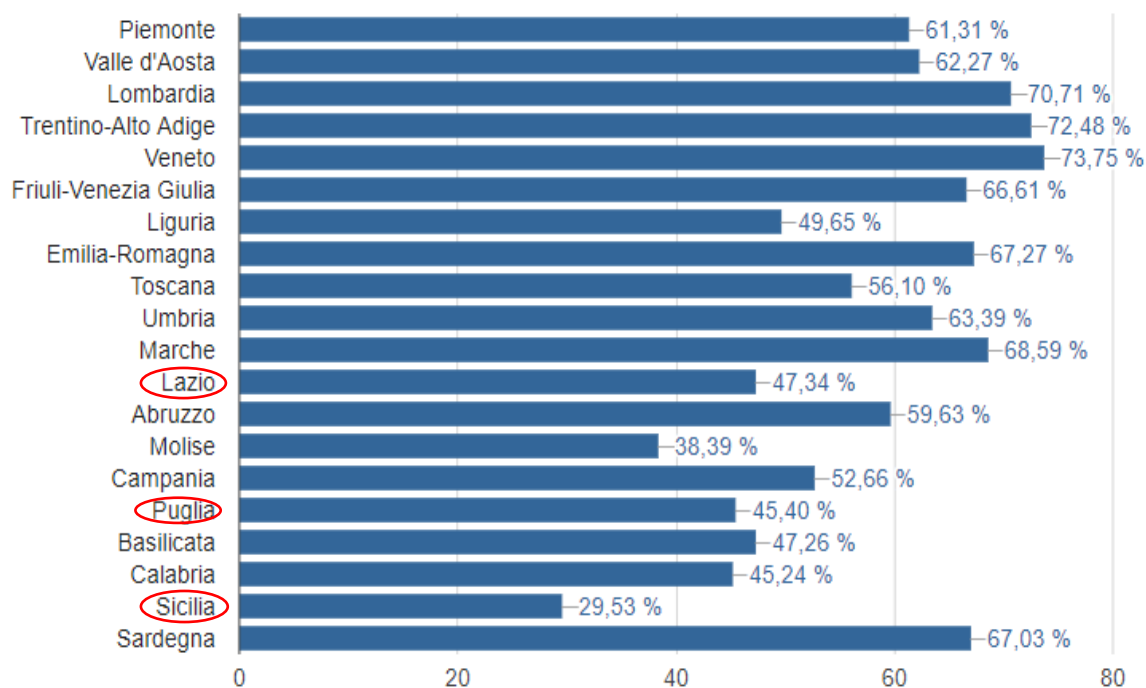


Fig 1.4.1.1 : Raccolta differenziata per regioni (2018). Fonte: ISPRA

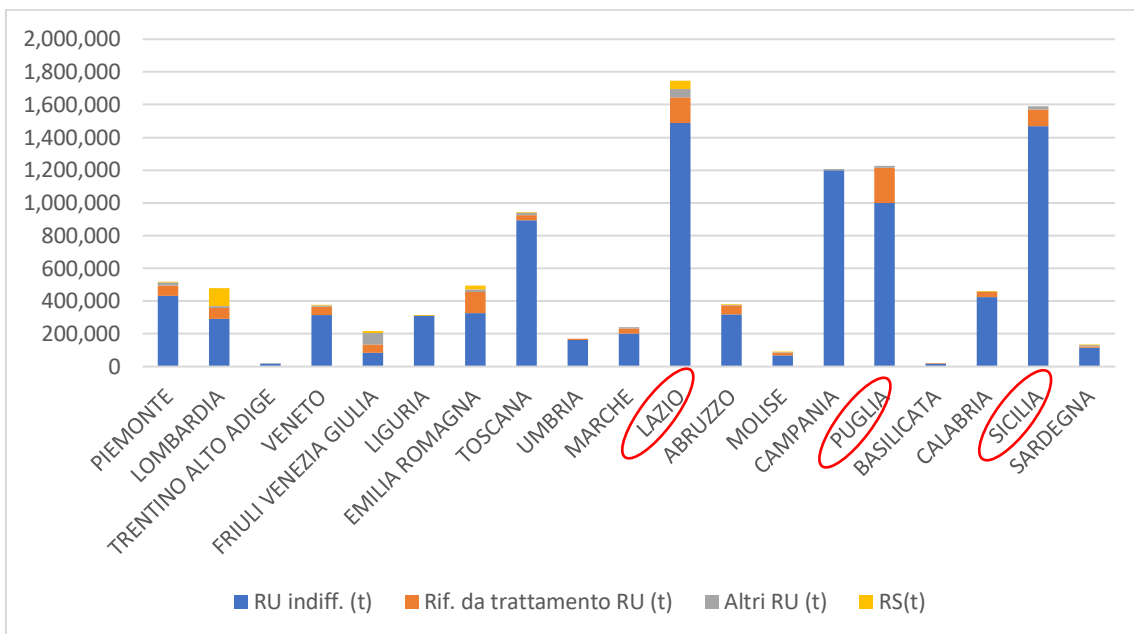


Fig 1.4.1.2 : quantità di rifiuti trattati per regione durante un TMB (2018). Fonte: ISPRA

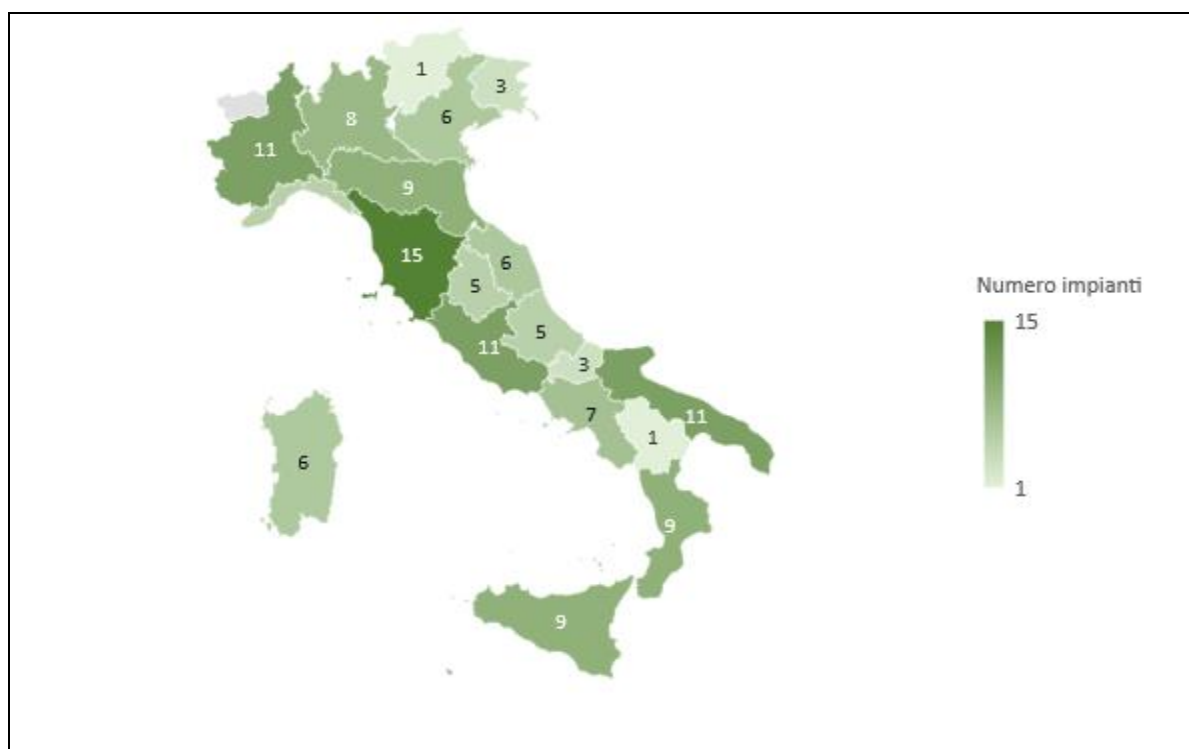
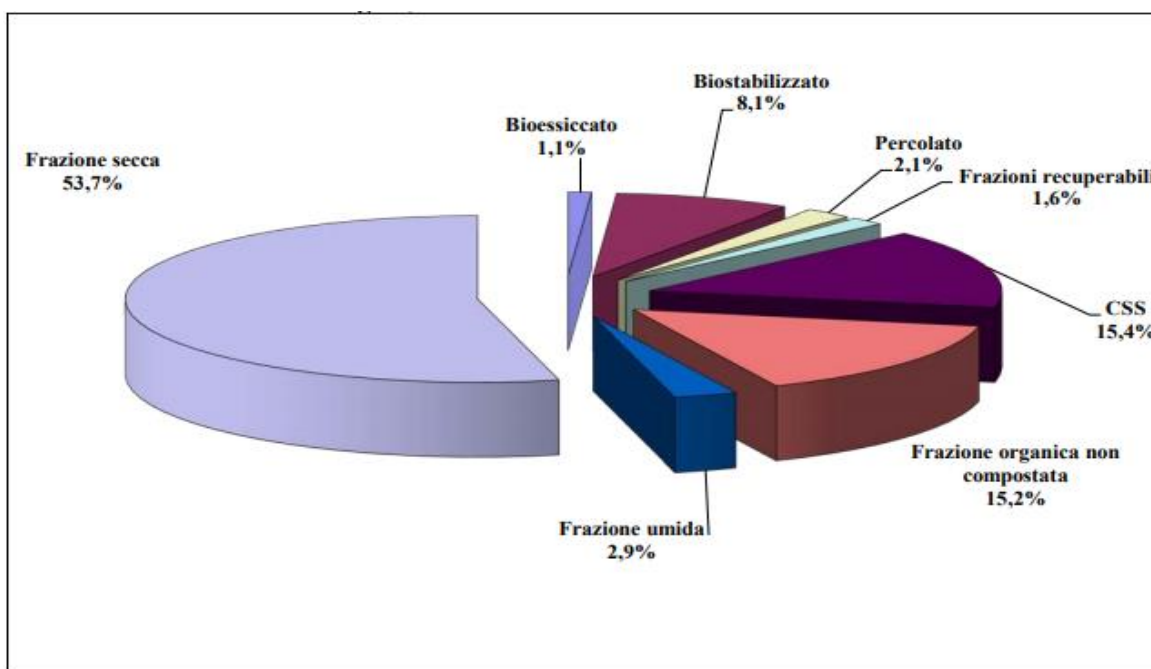


Fig 1.4.1.3 : numero di impianti di TMB per regione in Italia (2018). Fonte: ISPRA

I rifiuti/materiali rilasciati dagli impianti di trattamento meccanico biologico, nel 2018, pari a 9.434.773 tonnellate sono costituiti da: 101.482 tonnellate di bioessiccato, 762.811 tonnellate di biostabilizzato, 200.819 tonnellate di percolato, 147.607 tonnellate di frazioni recuperabili, 1.450.371 tonnellate di CSS, 1.429.267 tonnellate di frazione organica non compostata, 274.146 tonnellate di frazione umida, 5.067.310 tonnellate di frazione secca, 526 tonnellate di minerali, 434 tonnellate di altri rifiuti pericolosi (figura 1.4.1.4).



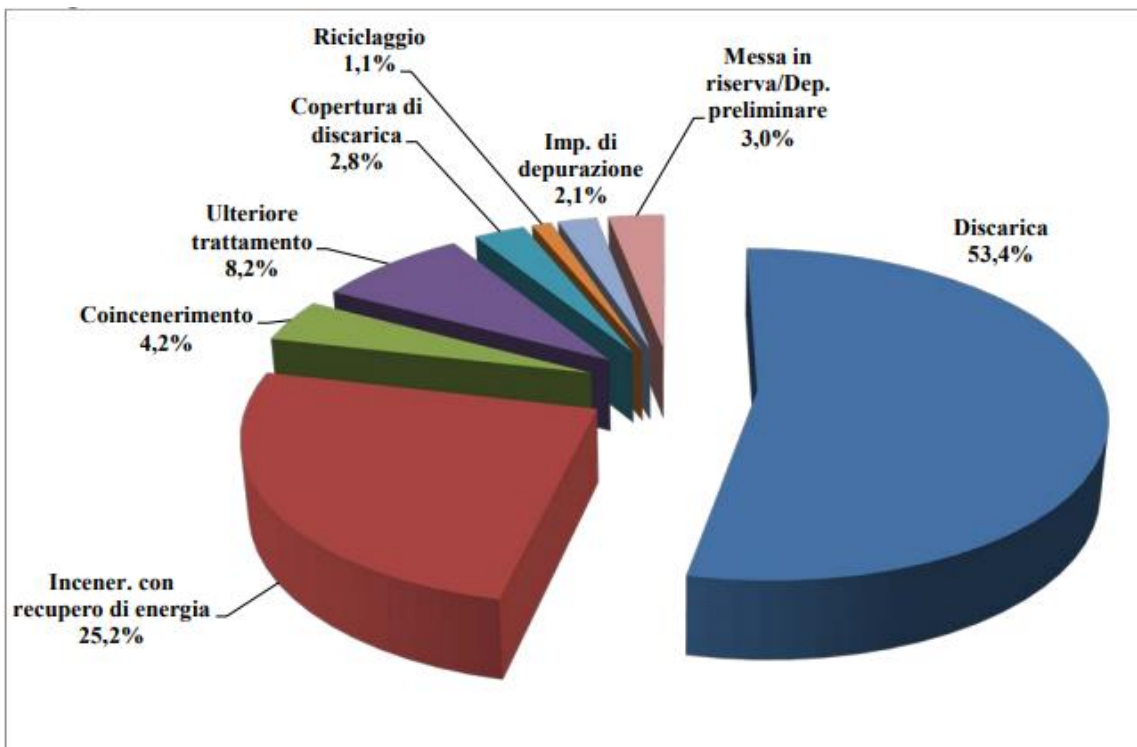
*Fig 1.4.1.4 : Ripartizione percentuale dei rifiuti/ materiali prodotti dagli impianti di trattamento meccanico biologico, anno 2018 (ISPRA).*

La figura 1.4.1.5 riporta la destinazione finale dei rifiuti e prodotti in uscita dal trattamento meccanico biologico nel 2018. Si noti che il 53,4%, corrispondente a poco più di 5 milioni di tonnellate di tonnellate del totale dei rifiuti prodotti,

viene conferito in discarica. Si tratta, principalmente, di frazione secca (quasi 3,3 milioni di tonnellate) e frazione organica non compostata (circa 1,2 milioni di tonnellate). Una diminuzione del 3,8 % del quantitativo avviato in discarica. Il (25,2% del totale prodotto, circa 2,4 milioni di tonnellate di rifiuti, è avviato ad impianti di incenerimento con recupero di energia ed è costituito principalmente da frazione secca (1,2 milioni di tonnellate) e da CSS (923 mila tonnellate). Il CSS, combustibile solido secondario (prima sotto la dicitura CDR), è un tipo di combustibile derivato dalla lavorazione dei rifiuti urbani indifferenziati non pericolosi e speciali non pericolosi. Al coincenerimento presso impianti produttivi (cementifici, produzione energia elettrica e lavorazione legno) sono avviati 398 mila tonnellate di rifiuti, ovvero il 4,2% del totale prodotto, costituiti da CSS (298 mila tonnellate) e da frazione secca (quasi 85 mila tonnellate). Nel 2017 erano state avviate al coincenerimento circa 900 mila tonnellate di rifiuti, di cui una buona parte coinceneriti all'estero, principalmente in Ungheria (37 mila tonnellate), in Austria (31 mila tonnellate), e in Portogallo (21 mila tonnellate). L'8,2%, pari a oltre 775 mila tonnellate, è, invece, destinato a processi di biostabilizzazione, produzione e raffinazione di CSS e trattamento preliminare che interessano prevalentemente la frazione secca (423 mila tonnellate), la frazione umida (214 mila tonnellate) e la frazione organica non compostata (circa 72 mila tonnellate). Infine, 1,1% del totale prodotto, rappresenta la quantità di materia riciclata che è pari a circa 100 mila tonnellate.

In conclusione il TMB, pur non costituendo un trattamento definitivo, contribuisce alla riduzione del peso e del volume dei rifiuti da avviare a smaltimento.





*Fig 1.4.1.5 : Destinazioni finali dei rifiuti/materiali prodotti dal trattamento meccanico biologico, anno 2018 (ISPRA).*

## *1.4.2 Il TMB in Europa*

In Europa, negli ultimi 5 anni sono stati costruiti mediamente ogni anno 25 nuovi impianti di TMB. A inizio 2017 erano presenti 570 impianti attivi con una capacità di trattamento di 55 milioni di tonnellate.

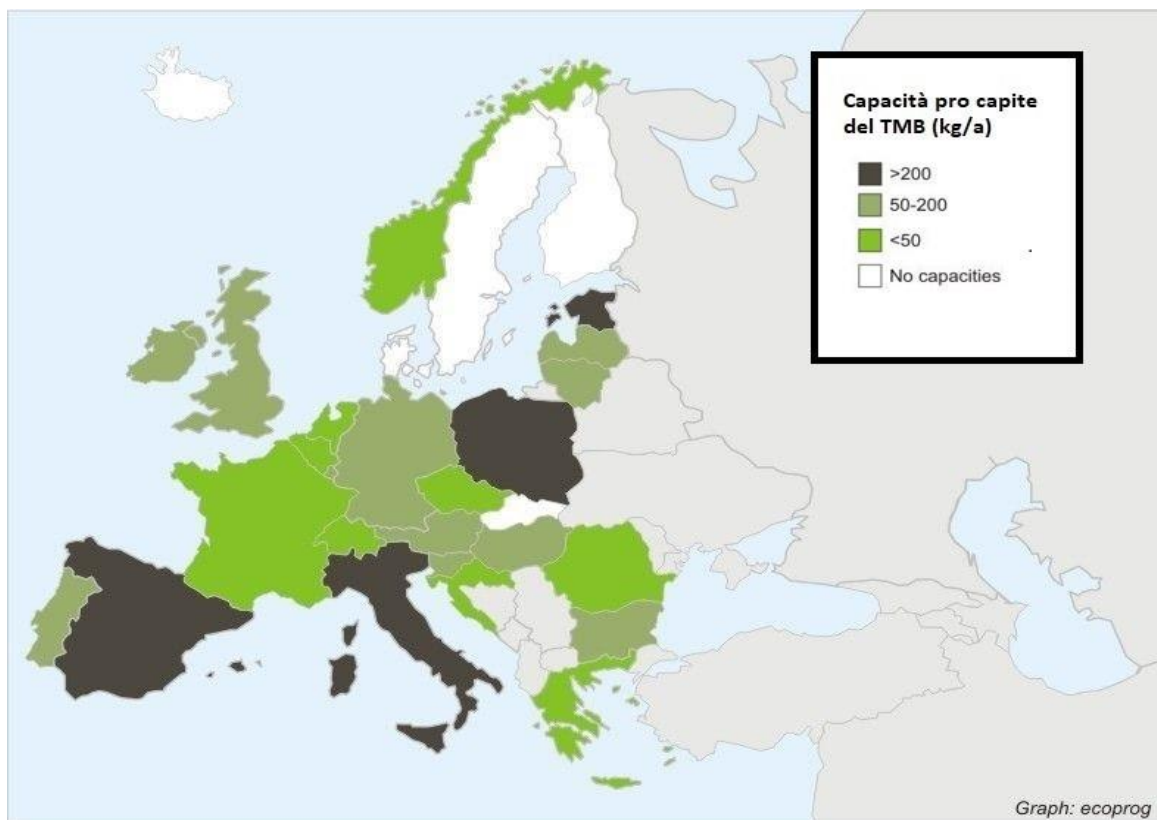


Fig 1.4.2.1 : capacità pro capite dei TMB in kg/ anno (2016). Fonte: ecoprog

Tra i paesi che presentano il maggior numero di impianti e la maggior capacità pro capite per quanto riguarda il TMB troviamo Italia, Spagna e Polonia (fig 1.4.2.1). al 2012 in Polonia sono presenti 117 TMB, e 80 in costruzione/progettazione; al 2011 in Spagna troviamo 84 impianti con una capacità operativa di oltre 10,5 milioni di tonnellate di rifiuti; nello stesso anno l'Austria presenta 16 impianti TMB con una capacità totale autorizzata di circa 800000 tonnellate all'anno, mentre la Germania 46 impianti TMB operativi con circa 6,6 milioni di tonnellate all'anno di capacità di lavorazione. Gli impianti TMB in Austria e Germania generano principalmente combustibile derivato dai

rifiuti; tali paesi inoltre, pur sfruttano ampiamente questa tecnologia, oltre a tale trattamento hanno efficienti impianti di incenerimento e una gestione generale del rifiuto più completa ed eterogenea.

In ogni caso lo sviluppo del TMB varia in maniera significative da paese a paese. La maggior parte dei nuovi impianti verranno presumibilmente costruiti nei paesi dell'Europa orientale e centrale. Molti di questi paesi tra l'altro sono ancora impegnati a sviluppare le infrastrutture di base per la gestione dei rifiuti residui, e proprio nelle zone rurali ,in particolare, il pretrattamento dei rifiuti negli impianti TMB ha spesso più senso in termini logistici ed anche più facile da attuare per gli attori politici.

### *1.4.3 Potenziali vantaggi e limiti del TMB*

Il TMB, nonostante abbia ancora un gran margine di miglioramento, comporta una serie di **vantaggi**:

- viene ridotto il volume dei rifiuti indifferenziati e pertanto viene occupato meno spazio in discarica, riducendo tra l'altro i costi locali della gestione di tali rifiuti;
- viene diminuita la biodegradabilità e tossicità del rifiuto residuo, riducendo così la produzione di metano e percolato una volta che il rifiuto è stato conferito in discarica (odori e percolato di un rifiuto essiccato sono molto meno ingenti e pericolosi rispetto a quelli provenienti da altri materiali condotti direttamente in discarica);
- il TMB può consentire il recupero di articoli che altrimenti non potrebbero essere raccolti nei sistemi domestici;
- la stabilizzazione del rifiuto riduce gli effetti negative legati all'emanazione di odori e polveri, anche se comunque vengono emessi;
- è possibile il recupero di energia o carburante nelle vesti di biogas o rifiuto da combustibile;
- i tempi di realizzazione, i costi e la gestione sono molto competitivi;

- per certi aspetti un TMB potrebbe essere più idoneo rispetto ad un impianto di incenerimento in quanto ha un effetto minore in termini di impatto climatico ed ambientale, inoltre è più semplice ottenere permessi e i tempi di costruzione sono minori.

Un grosso **limite** del Trattamento Meccanico Biologico è la produzione di FOS (frazione organica stabile), la cui unica possibile collocazione è il ricoprimento delle discariche. La FOS infatti è qualitativamente inferiore rispetto al compost (proveniente dal compostaggio), ottimo ammendante impiegato in diversi settori agricoli. Inoltre in alcuni casi la FOS viene a sua volta smaltita in discarica in qualità di rifiuto (come nel caso dell'impianto oggetto di studio).

Altri svantaggi sono:

- costi (contenuti rispetto ad altri tipi di impianti ma comunque elevati);
- accettabilità pubblica;
- qualità dei rifiuti riciclati minore;
- emissioni di rumore (ad opera dei macchinari trito-vaglianti durante il trattamento meccanico), di odori, di polveri e particolato. È quindi indispensabile avere presso l'impianto sistemi di trattamento quali: adsorbimento su carboni attivi, biofiltri, sistemi di assorbimento ed ossidazione.

## **2. SCOPO DEL LAVORO**

Lo scopo generale del presente studio consiste nel mettere a confronto due sistemi di gestione dei rifiuti solidi urbani (RSU). In particolare si vuole confrontare lo scenario attuale, ovvero quello in cui il residuo della raccolta differenziata (grigio) prima di essere conferito in discarica subisce un processo di triturazione e un trattamento meccanico biologico, impiegato a seguito delle normative europee e nazionali, con lo scenario presente fino a pochi anni fa, in cui i rifiuti venivano triturati e successivamente conferiti in discarica.

Per fare ciò assume particolare importanza la fase di raccolta e analisi dei dati, poiché solo una corretta veridicità di questi ultimi può dare credibilità allo studio.

Inoltre, all'interno del confronto, risultano chiave le fasi di valutazione dell'impatto ambientale e l'individuazione delle criticità per le singole filiere di trattamento.

## 3. MATERIALI E METODI

### *3.1 L'impianto di smaltimento rifiuti oggetto di studio*

L'impianto di smaltimento rifiuti oggetto di studio, sito presso il comune di Corinaldo e gestito da A.S.A (azienda servizi ambientali) dal 2003, ha l'obiettivo di smaltire i rifiuti non pericolosi della provincia di Ancona. Lo stabilimento si estende su una superficie complessiva di 114.314 mq, può essere suddiviso in diverse zone relative alle successive fasi di utilizzazione nel tempo. Si possono individuare le seguenti zone che hanno garantito i conferimenti dall'inizio dell'attività nel 1974 fino a tutto il 1998:

- zona vecchia discarica superficie pari a circa 7000 mq;
- zona di risanamento ambientale: superficie pari a circa 14.700 mq;
- zona discarica autorizzata 96-97: superficie pari a circa 6.150 mq.

A partire dal gennaio 1999 l'impianto ha subito un significativo ampliamento sviluppandosi nei seguenti tre lotti funzionali:

- 1° lotto autorizzato nel 1997 entrato in funzione a partire da gennaio 1999: superficie pari a circa 5.750 mq.
- 2° lotto autorizzato nel 2000: superficie pari a circa 27.200 mq.
- 3° lotto autorizzato nel 2005: superficie pari a circa 22 700 mq.

La capacità complessiva dei lotti 1-2-3 ammonta a circa 821.000 t e al 01/01/2008 la capacità residua dell'impianto ammontava a circa il 42% del totale dei tre lotti autorizzati.

Con il D.D. del 03/06/2015 n. 255, viene determinato di approvare il progetto di ampliamento della discarica esistente, relativo al 1° lotto di m<sup>3</sup> 614.000, con un areale di circa 44.198 m<sup>2</sup>.



*Fig 3.1.1: Cartografia discarica di Corinaldo, 1999.*





*Fig 3.1.2 : discarica di Corinaldo, vista da satellite 2019.*

### *3.2 L'impianto TMB oggetto di studio*

L'impianto di Trattamento Meccanico biologico della CIR33 Servizi S.r.l., sito nel Comune di Corinaldo (AN) in Località San Vincenzo, è entrato in funzione nel mese di aprile del 2018 e presso di esso viene conferito il rifiuto indifferenziato di tutto il territorio della Provincia di Ancona.

Il processo di trattamento meccanico biologico del rifiuto indifferenziato avviene attraverso una prima fase di triturazione ed una successiva fase di

stabilizzazione biologica della frazione putrescibile ancora presente nel rifiuto conferito.

Una volta terminata la fase di stabilizzazione biologica, il rifiuto stabilizzato può essere smaltito correttamente in discarica come previsto dalla normativa di settore vigente (Dlgs 205/2010).

Più precisamente l'impianto prevede inizialmente l'ingresso dei rifiuti indifferenziati e successiva triturazione e vagliatura. Dopo tale trattamento il flusso si divide: il residuo secco non biodegradabile viene inviato in discarica, mentre la restante parte umida biodegradabile verrà avviata a biostabilizzazione all'interno di una biocella. Anche qui la destinazione finale è la discarica.

Dunque, la discarica e l'impianto di TMB, sono due attività a stretto contatto fra di loro e dipendenti l'uno dall'altro.

Per questo motivo, nel paragrafo successivo si cercherà di inquadrare in maniera più organica l'impianto di smaltimento di rifiuti di Corinaldo, analizzandone i flussi di materia in ingresso e in uscita, e come tali flussi siano in parte influenzati dalle condizioni meteo-climatiche. Successivamente si passerà ad analizzare nel dettaglio l'impianto di TMB in questione.

## 4. RISULTATI E DISCUSSIONI

### 4.1 Il caso di studio: un impianto di smaltimento rifiuti nella Regione Marche

In riferimento all'impianto di smaltimento di rifiuti suddetto, analizzando i flussi in ingresso, mediamente vengono conferite 67.172,40 tonnellate di rifiuti all'anno (dal 2005 al 2018), con un picco massimo di 82.921,64 tonnellate nel 2010 (figura 4.1.). Presumibilmente nei prossimi anni, a seguito del Dlgs 205/10 e delle direttive europee in materia di economia circolare, dovremo notare una progressiva diminuzione dei rifiuti conferiti.

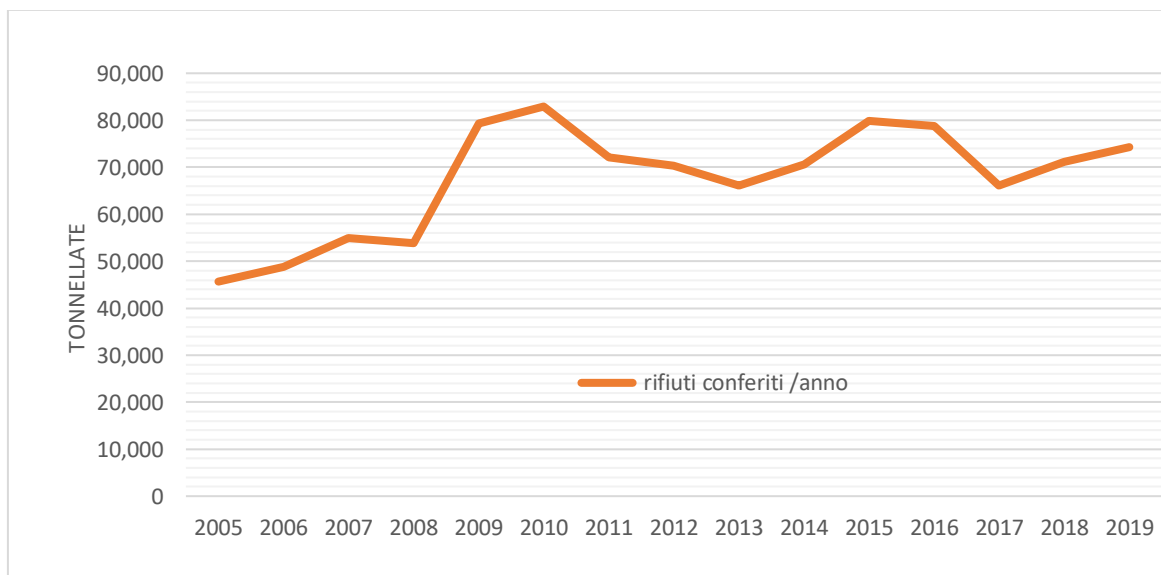
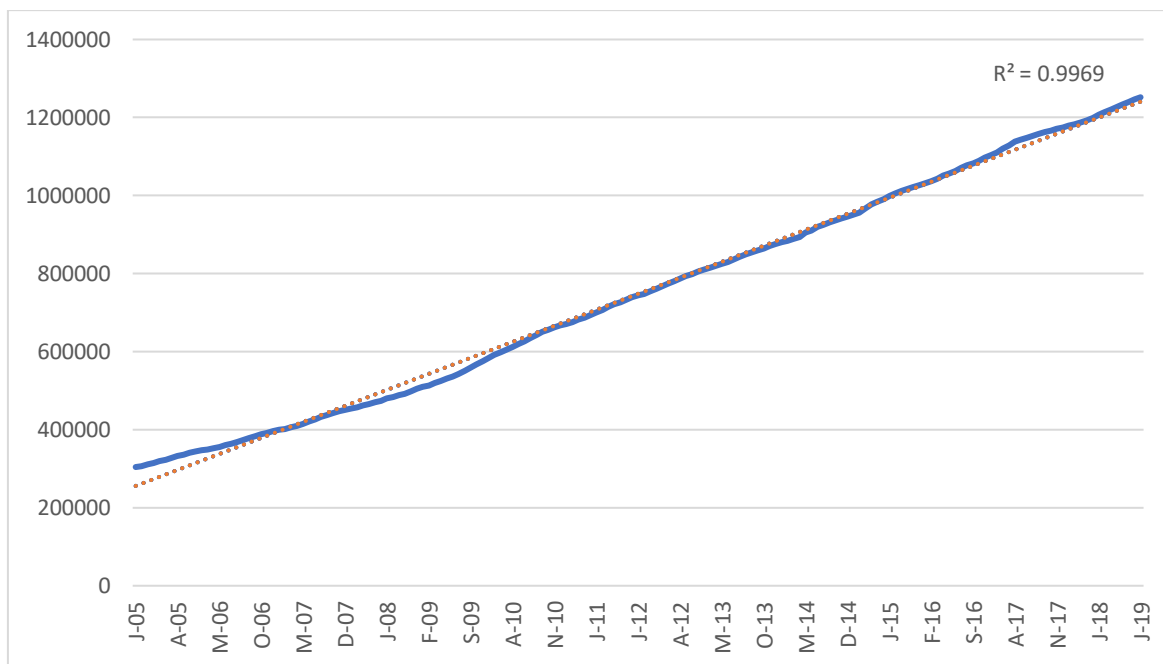


Fig 4.1 : Rifiuti conferiti in tonnellate presso la discarica di Corinaldo ogni anno

Nei prossimi anni anche la retta che mostra il totale progressivo dei rifiuti conferiti dovrebbe subire una leggera flessione per lo stesso motivo sopracitato, ovvero a seguito delle nuove direttive europee in tema di rifiuti (figura 4.1.bis).



*Fig 4.1.bis : totale progressivo dei rifiuti conferiti in discarica. Gennaio 2005- Gennaio 2019.*

### 4.1.1 Precipitazioni e percolato

Un flusso in ingresso particolarmente importante è rappresentato dalle precipitazioni, principali responsabili della formazione del percolato.

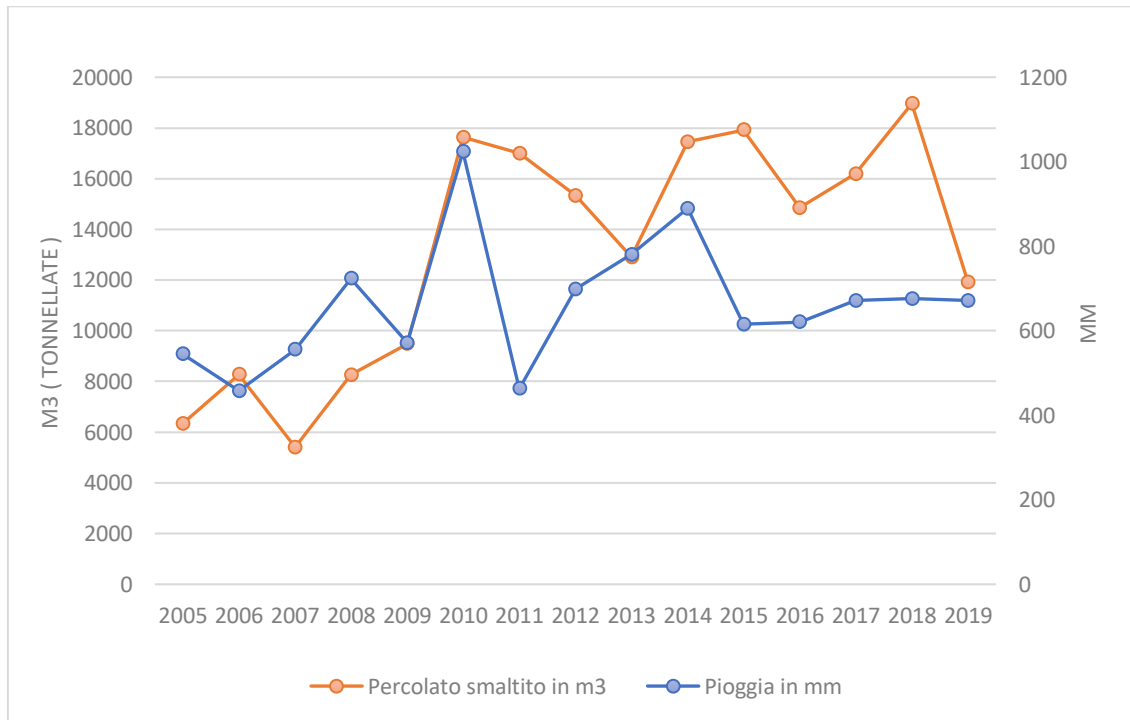


Fig 4.1.1.1 : correlazione dai dati relativi alla formazione del percolato e alla quantità in mm delle piogge.

Nella figura 4.1.1.1 sono stati messi in correlazione i valori relativi alle precipitazioni complessive annuali in millimetri con il volume di percolato totale prodotto ogni anno. Come previsto, così come in altri studi analoghi (Assessment of leachates from sanitary landfills: Impact of age, rainfall, and

treatment; Paris HonglayChen e Arpa Emilia-Romagna), il flusso di percolato aumenta con le precipitazioni nei giorni piovosi.

Essendo le precipitazioni un importante fattore di formazione del percolato, alcuni autori come Linde et al. (1995) hanno indicato come il 15% - 50% di precipitazioni diventi percolato. Altri invece (Baucon e Ruhl), hanno indicato un valore compreso tra il 12.4% e il 27.2% in virtù della profondità dello scavo.

A fronte di ciò si è voluto verificare se effettivamente anche per l'impianto oggetto di studio i valori rientrassero entro questi range (12,4% - 50%).

Per avere una stima sulla percentuale di pioggia convertita in percolato è sufficiente conoscere la superficie della discarica esposta a fenomeni atmosferici, i dati relativi alle piogge (forniti dalle centraline) e la quantità di percolato generato.

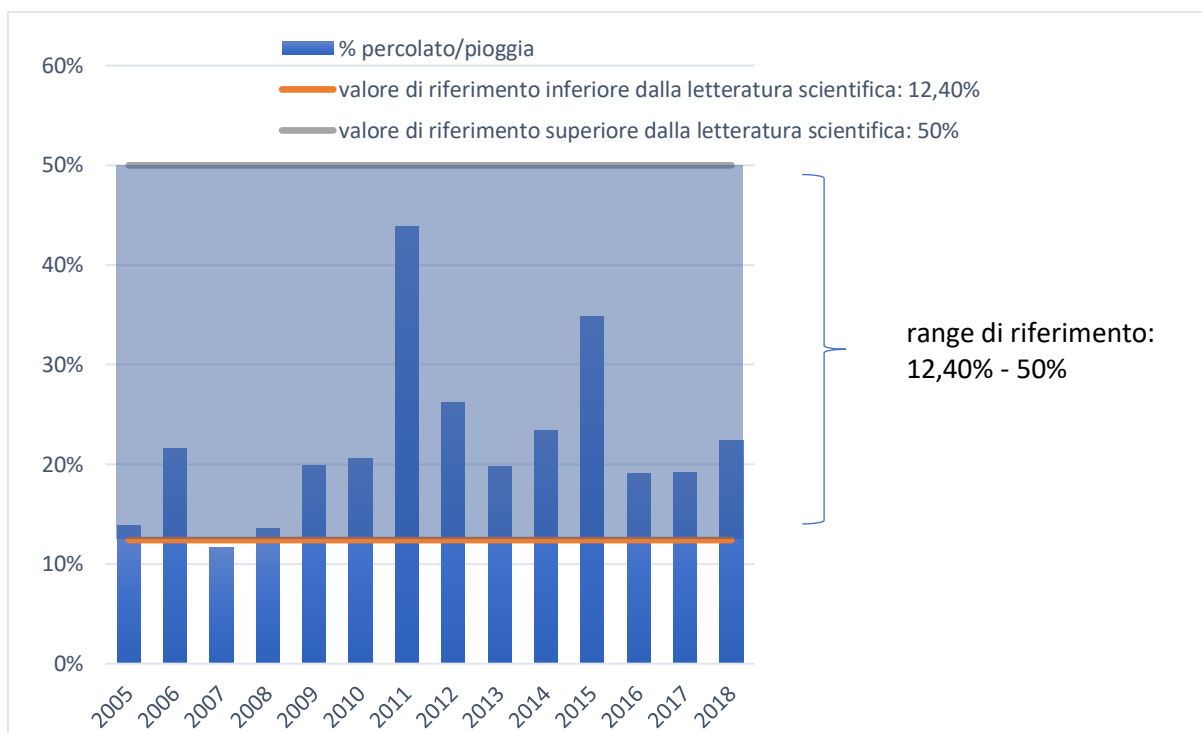


Fig 4.1.1.2 : percentuale di pioggia convertita in percolato anno per anno e range di riferimento derivante dalla letteratura scientifica.

Ad eccezione di un unico valore (11,7 %) relativo all'anno 2007, tutte le percentuali rientrano nel range prestabilito (figura 4.1.1.2).

Il ritardo osservato nella produzione di percolato rispetto alle precipitazioni, indicativamente di qualche mese, è dovuto al fatto che l'acqua impiega un certo lasso di tempo per penetrare nella massa dei rifiuti e arrivare ad essere captato dai drenaggi. Infatti sulla produzione di percolato influiscono l'intensità e la durata delle precipitazioni, la capacità di accumulo di acqua da parte dei rifiuti

che è fortemente influenzata dal grado di compattazione, dalla composizione merceologica e dall'umidità iniziale dei rifiuti stessi, ma anche i fenomeni di evapotraspirazione, le opere di copertura superficiale e il volume e la quantità dei rifiuti abbancati. Pertanto, ad una certa quantità di millimetri di pioggia caduta debolmente ma per un lungo periodo può corrispondere una quantità di percolato non indifferente rispetto ad una precipitazione intensa che potrebbe dare più fenomeni di scorrimento superficiale.

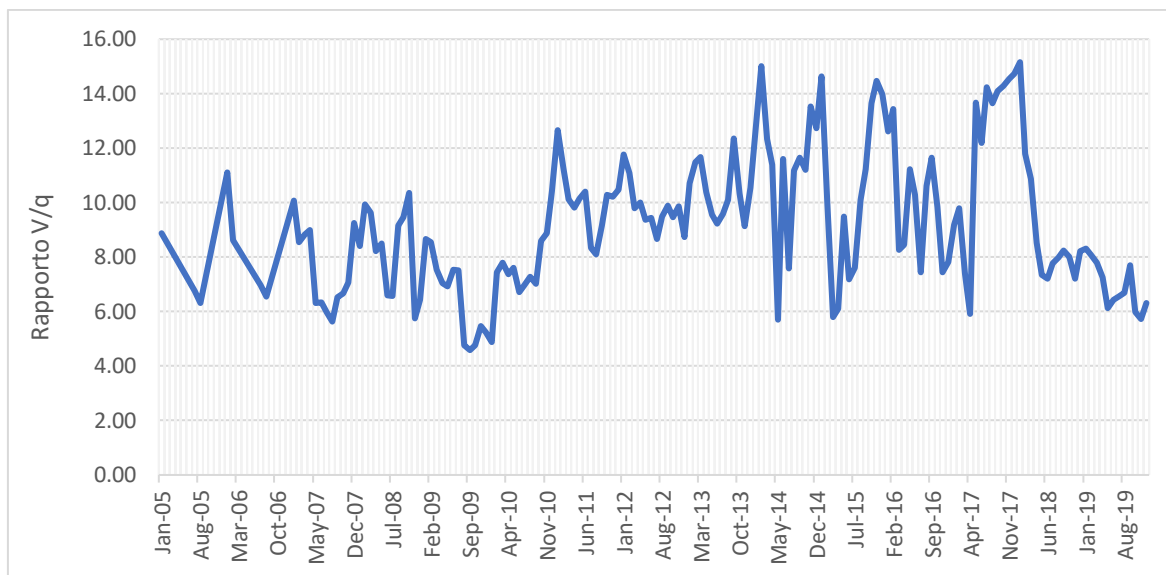
#### *4.1.2 Formazione di biogas*

La formazione di biogas rientra, insieme al percolato, nei flussi in uscita. La figura 4.1.2.1 rappresenta il rapporto tra il volume di biogas estratto e i rifiuti prodotti, e ci consente di effettuare alcune osservazioni. È possibile notare come nel periodo estivo il rapporto diminuisca mentre aumenta nel periodo invernale aumenti.

Le variazioni stagionali nella formazione del percolato rivelano infatti che il livello più elevato di degradazione avviene durante la stagione delle piogge (a patto che le temperature non scendano troppo), mentre nelle stagioni più secche, la scarsa umidità presente può far cessare o rallentare il processo di degradazione con conseguente minor produzione di biogas e percolato. Come da figura 4.1.2.1, il rapporto tra il volume di biogas generato e la quantità di



rifiuti conferiti è più elevato ( un alto rapporto indica che il biogas prodotto dai rifiuti è elevato in virtù degli stessi ) nel periodo compreso tra dicembre e e febbraio.



*Fig 4.1.2.1 : Rapporto volume /quantità di biogas prodotto, 2005-2019*

Per quanto vero ciò sopraccitato, bisogna tenere comunque presente che sono possibili variazioni alla regola in quanto le condizioni meteo climatiche e i parametri chimico fisici variano da regione a regione.

A tal proposito, prendendo in considerazione un'area geografica differente da quella in esame per questo studio. In Danimarca alcuni esperimenti della durata di un anno (dall'Aprile del 1997 allo stesso mese dell'anno successivo) condotti da Christophersen e Kjeldsen et al. (2001) in più discariche hanno mostrato che il flusso di biogas emesso è maggiore in estate e ciò dovuto alla maggiore

stabilità delle condizioni climatiche che creano tutti i presupposti, in questo caso infatti in inverno le temperature sono troppo basse per innescare al massimo i processi metanogeni.

Inoltre, se si tenesse conto della sola produzione di biogas, senza calcolo del rapporto  $V/q$ , per una corretta valutazione, questa andrebbe comunque analizzata in relazione ai rifiuti conferiti.

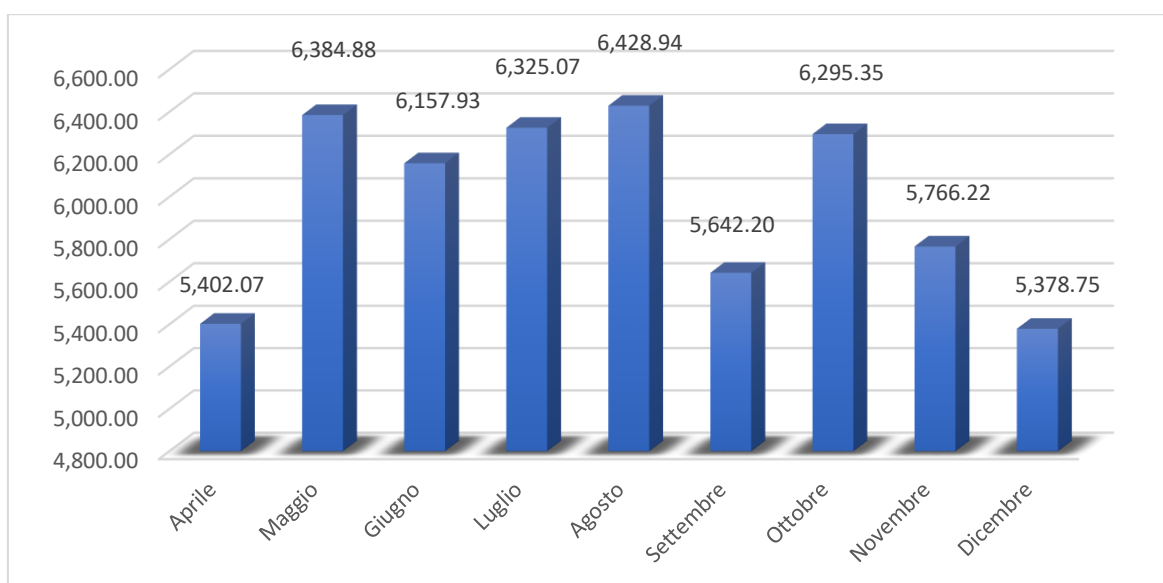
#### *4.2 Il caso di studio: un impianto di TMB nella Regione Marche*

L'impianto di TMB della CIR33 Servizi S.r.l è operativo da aprile 2018 e rappresenta lo step precedente allo smaltimento in discarica. Riceve rifiuti CER 20.03.01 e rilascia dopo il trattamento, rifiuti CER 19.05.99, 19.05.01, 19.12.12.

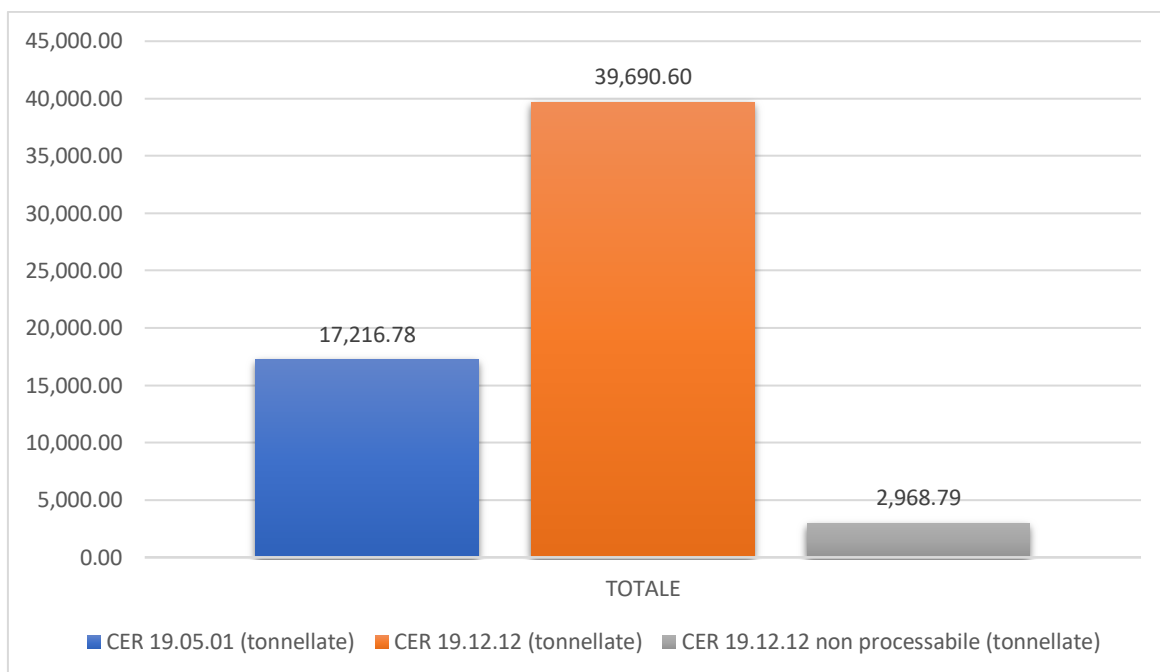
Classificazione dei rifiuti trattati secondo codice CER :

- CER 19.05.99 : rifiuti prodotti dal trattamento aerobico di rifiuti solidi non specificati
- CER 20.03.01 : rifiuti urbani non differenziati

- CER 19.05.01 : rifiuti prodotti dal trattamento aerobico di rifiuti solidi , parte di rifiuti urbani e simili non compostata
- CER 19.12.12 : rifiuti prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti (ad esempio selezione, triturazione, compattazione, riduzione in pellet) non specificati altrimenti. O altri rifiuti (compresi materiali misti) prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti.



*Fig 4.2.1: rifiuti in ingresso CER 20.03.01 in tonnellate. **Totale: 69.187,20 tonnellate** (periodo dal 04.04.2018 al 31.12.2018).*



*Fig 4.2.2: rifiuti in uscita dal TMB in tonnellate (dal 01.01.2019 al 31.12.2019).*

La figura 4.2.2 mostra i rifiuti in uscita dall'impianto. Più precisamente 17.216,78 tonnellate ( CER 19.05.01 ) escono dalla biocella dopo essere stati stabilizzati e giungono in discarica; 39.690,60 tonnellate ( CER 19.12.12 ) escono dalla fase di triturazione e vagliatura e finiscono successivamente in discarica; in uscita dal trattamento di triturazione e vagliatura abbiamo anche 2.968,79 tonnellate ( CER 19.12.12 ) di altri rifiuti (compresi materiali misti).

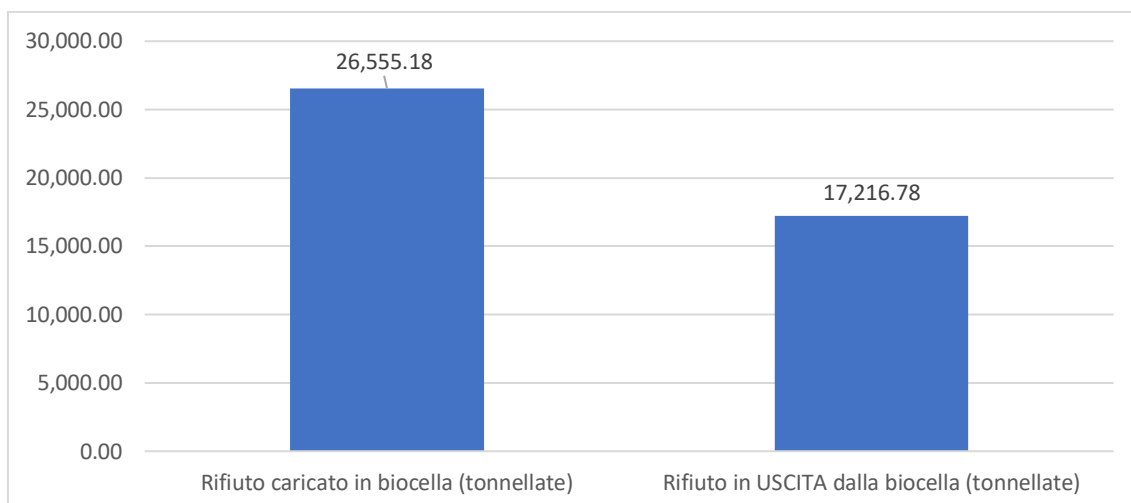


Fig. 4.2.3: rifiuti caricati e in uscita dalla biocella (dal 01.01.2019 al 31.12.2019).

Nel periodo estivo il percolato formatosi è inferiore rispetto alle altre stagioni poiché la scarsa quantità di precipitazioni influenza notevolmente la formazione dello stesso.

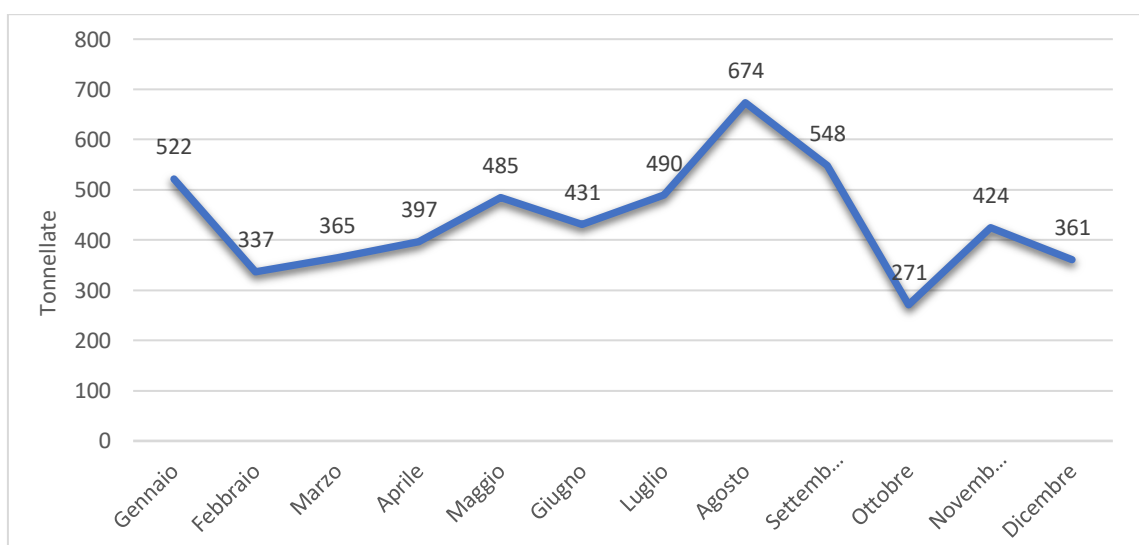
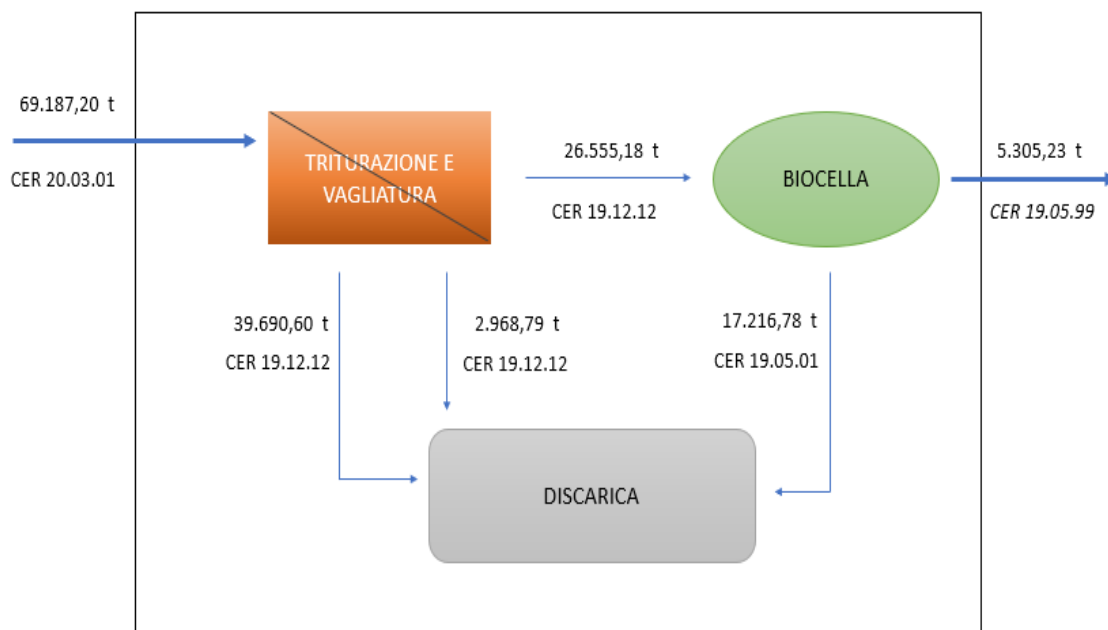


Fig. 4.2.4 : tonnellate di rifiuti in uscita (liquidi di percolazione CER 19.05.99), dal 01.01.2019 al 31.12.2019.



*Fig. 4.2.5 : elaborazione dati TMB oggetto di studio (gennaio - dicembre 2019). Schema riassuntivo con le masse in gioco. Il bilancio di massa non è chiuso poiché ci sono processi di evaporazione e apporti di acqua dall'esterno.*

Sulla base dei dati forniti, i rifiuti indifferenziati in ingresso all'impianto di TMB ammontano a 69.187,20 tonnellate nel periodo compreso tra il 01.01.2019 e il 31.12.2019 (figura 4.2.1). I rifiuti subiscono un trattamento di triturazione e vagliatura che genera 39.690,60 tonnellate di residuo secco che viene conferito in discarica; il restante residuo umido, ovvero 26.555,18 tonnellate ( $69.187,20 - 39.690,60 - 2.968,79$ ) è collocato in biocella per essere biostabilizzato e biodegradato (figura 4.2.3). I prodotti non degradati, ma comunque biostabilizzati in questa fase, 17.216,78 tonnellate, finiscono in

discarica. Considerando che delle 26.555,18 tonnellate di rifiuti in ingresso alla biocella, 5.305,23 tonnellate sono tramutate in liquidi di percolazione, nella biocella vengono degradati tramite processi di biodegradazione, volatilizzazione e dispersione termica, rifiuti in quantità pari a 4.033,17 (26.555,18 – 17.216,78 – 5.305,23) tonnellate. In conclusione, delle 69.187,20 tonnellate di rifiuti iniziali, ne vengono conferiti in discarica 59.876,17 tonnellate.

## **5. ANALISI DI SOSTENIBILITA' AMBIENTALE**

### *5.1 Definizione dell'obiettivo*

Lo scopo generale di questa analisi è quello di identificare gli impatti relativamente ai carichi ambientali, connessi a diverse strategie di gestione di rifiuti solidi urbani. Più precisamente l'analisi verrà eseguita così da ottenere i seguenti obiettivi:

- valutazione del carico ambientale dell'impianto di TMB e individuazione dei punti critici;
- comparazione dell'attuale strategia di gestione rifiuti con TMB e successivo smaltimento in discarica, con la precedente modalità di gestione rifiuti in cui avveniva direttamente lo smaltimento in discarica.

La valutazione della sostenibilità ambientale è stata effettuata attraverso l'approccio LCA (Life Cycle Assessment). Questa metodologia consente di valutare tutte le possibili interazioni di un prodotto con l'ambiente durante il suo intero ciclo di vita. Sono presenti due differenti approcci LCA:

- un approccio verticale il cui obiettivo è quello di effettuare l'analisi di ogni singola fase di vita del prodotto (reperimento delle materie prime, processo



produttivo, uso del prodotto da parte del consumatore finale, recupero e smaltimento del prodotto a fine vita), individuare la fase più critica e ridurne gli impatti;

- un approccio orizzontale, come nel presente caso, che considera solo il fine vita e non l'intero ciclo di vita di un prodotto. Viene applicato dal momento in cui il prodotto diventa un rifiuto e ha l'obiettivo di confrontare le diverse tipologie di gestione.

Lo studio è stato realizzato attraverso il software GaBi (software-System and Database for Life Cycle Engineering), il quale possiede un database da cui si ha l'accesso alle operazioni di base che permettono la ricostruzione del processo in esame, utilizzato per i processi produttivi di energia e materie prime, e la quantificazione dell'impatto ambientale dei trattamenti, secondo la raccomandazione della norma ISO 14040: 2006.

L'analisi è indirizzata sia ad un audience interna al progetto sia a soggetti interessati esterni (autorità pubblica, decisori politici, gestori privati).

## 5.2 Campo di applicazione dello studio

### 5.2.2 Unità funzionale

L'unità funzionale scelta per l'analisi è rappresentata dalla quantità di rifiuti indifferenziati in ingresso all'attuale impianto di TMB nell'anno 2019: 70000 tonnellate.

### 5.2.3 Confini del sistema

La figura 5.2.3.1 mostra i confini del sistema dei diversi processi che subiscono i rifiuti. Questi, una volta prodotti, raccolti e trasportati possono seguire 2 differenti percorsi, indicati come SCENARIO 1 (solo discarica) e SCENARIO 2 (TMB).

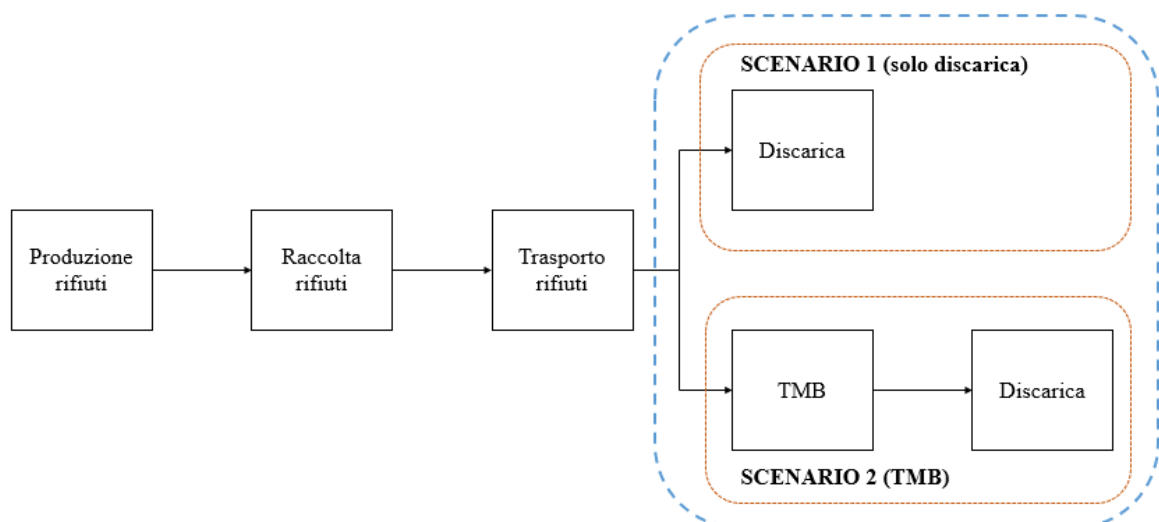


Fig. 5.2.3.1: confini del sistema della filiera dei rifiuti.

La figura 5.2.3.2 mostra il diagramma di flusso con focus sull'impianto di smaltimento privo di TMB. I rifiuti giungono presso la discarica e subiscono solamente un trattamento di triturazione prima di esservi conferiti. Dalla discarica, nel corso degli anni, verranno prodotti liquidi di percolazione e biogas (successivamente convertito in energia).

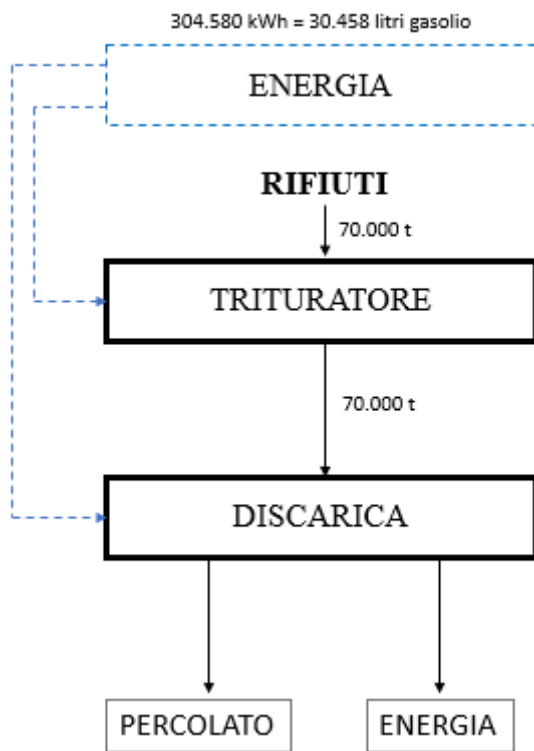


Fig. 5.2.3.2 : diagramma di flusso dello SCENARIO 1 (solo discarica), con dati in input ed output annuali.

La figura 5.2.3.3 mostra il diagramma di flusso dell'impianto di TMB attualmente in uso. I rifiuti una volta giunti subiscono una triturazione e vagliatura per poi essere collocati in una biocella per la loro parziale degradazione. I rifiuti restanti vengono trasportati e conferiti in discarica. Dalla discarica si formeranno in seguito percolato, biogas e successivamente energia.

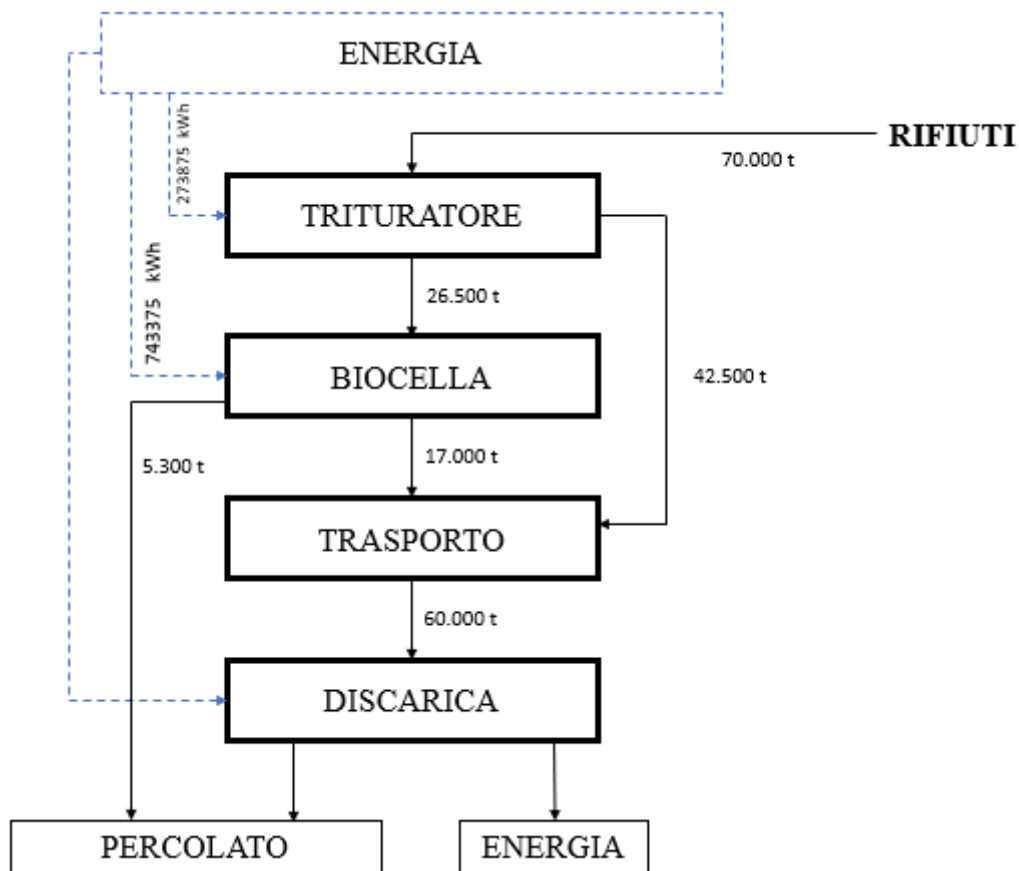


Fig. 5.2.3.3 : diagramma di flusso dello SCENARIO 2 (TMB), con dati in input ed output annuali.

### *5.3 Analisi dell'inventario*

Questa fase consiste nella raccolta di dati e nella quantificazione dei flussi in input ed output riferibili al sistema. Nelle figure. 5.2.3.2 e 5.2.3.3 sono riassunti i flussi di input e di output relativi ai processi nell'arco di 1 anno, rispettivamente per lo SCENARIO 1 e lo SCENARIO 2. Successivamente, i dati raccolti sono stati trasformati in un grafico raffigurante gli impatti ambientali causati dall'unità funzionale in studio.

Queste informazioni sono state utilizzate sia per le fasi di classificazione e caratterizzazione sia per le fasi di normalizzazione e pesatura, che verranno analizzate in seguito.

Come mostrato in figura 5.4.3, nell'impianto solo discarica (SCENARIO 1) l'aspetto critico è rappresentato dalla triturazione, non sono presenti infatti, oltre ad esso, ulteriori criticità.

Nell'impianto con TMB invece, la triturazione risulta certamente critica, ma la voce principale è rappresentata dalla biocella, in tutte le categorie (consumo di risorse, emissioni in acqua, rifiuti, emissioni in aria). Trascurabile è il trasporto, mentre lo smaltimento non risulta particolarmente rilevante.

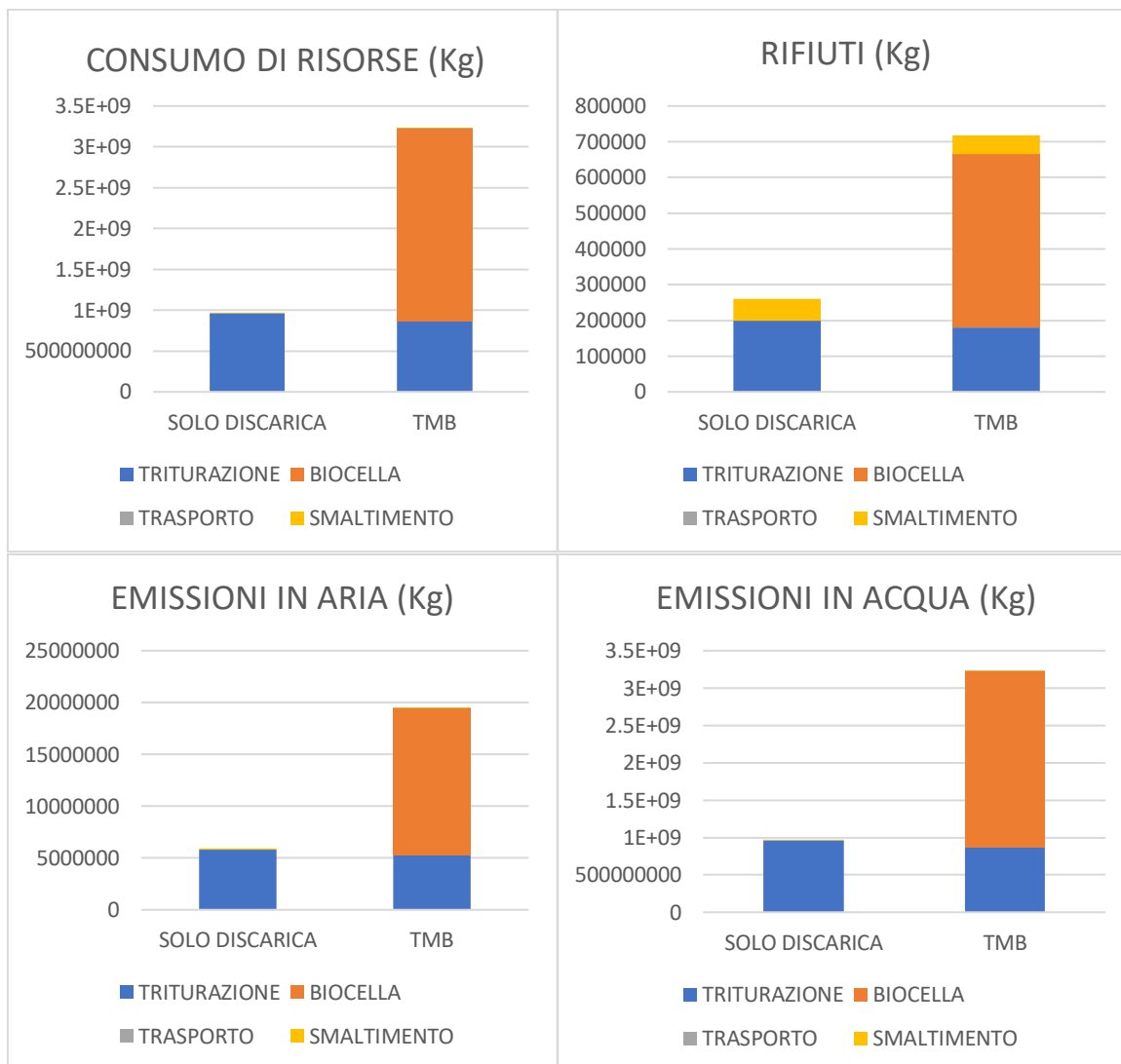


Fig. 5.3.1 : output dell'analisi dell'inventario relativo allo scenario 1 e allo scenario 2 (unità funzionale : 70.000 kg rifiuti in ingresso).

## *5.5 Valutazione degli impatti*

### *5.5.1 Classificazione e caratterizzazione*

La classificazione è la fase nella quali i dati dell'inventario sono suddivisi in temi o categorie d'impatti ambientali, mentre la caratterizzazione ha il compito di quantificare gli impatti ambientali, derivanti dai dati presenti nell'inventario, all'interno delle categorie d'impatto ambientale.

La figura 5.5.1.1 riporta i carichi ambientali per entrambi gli scenari di interesse. In generale, si può osservare un impatto maggiore legato allo SCENARIO 2. Il consumo di energia della biocella e del trituratore costituiscono il maggior contributo nella gran parte delle categorie di impatto rispettivamente dello SCENARIO 2 e dello SCENARIO 1. Per la categoria "Ecotossicità in acque dolci" (sostanze organiche)", notevole è l'impatto relativo allo smaltimento in entrambi gli scenari, superiore nello scenario 1 ma complessivamente maggiore nello scenario 2. Da notare anche la categoria "Eutrofizzazione d'acqua dolce", in cui anche in essa ha un importante impatto lo smaltimento. L' unica categoria in cui lo scenario 2 impatta meno dello scenario 1 è "Cambiamenti climatici (biogenica)", anche qui a causa dell'impatto dovuto allo smaltimento.

In breve di seguito sono riassunte tutte le categorie prese in considerazione:

○ *Radiazioni ionizzanti.* I radionuclidi possono essere rilasciati da diverse attività umane, queste sono connesse al ciclo dei combustibili nucleari (estrazione, trasformazione, uso o trattamento del combustibile nucleare) o più comunemente durante la produzione di energia, attraverso la combustione di carbone. La diffusione di questi radionuclidi è molto elevata in quanto quelli presenti nell'aria possono essere inalati dall'uomo, mentre quelli che finiscono in acqua possono essere ingeriti durante il nuoto in mare aperto, attraverso l'ingestione di acqua potabile proveniente dalle acque superficiali o possono entrare nel ciclo alimentare attraverso le colture. Quando i radionuclidi decadono, inoltre, rilasciano radiazioni ionizzanti e l'esposizione umana a tali radiazioni provoca alterazioni del DNA, che a loro volta possono portare a diversi tipi di cancro e difetti alla nascita.

○ *Cambiamenti climatici.* Il percorso di causa ed effetto del cambiamento climatico inizia con l'emissione di gas serra nell'atmosfera. L'aumentata concentrazione di gas serra provoca l'aumento del forcing radiativo dell'atmosfera, con il conseguente mantenimento di una buona parte di energia solare nell'atmosfera. Ciò provoca un aumento della temperatura globale che va a influenzare a sua volta la salute umana (malattie infettive,



stress da caldo, malnutrizione) e quella degli ecosistemi naturali (cambiamento dei biomi, riduzione della biodiversità, produzione primaria netta). L'impatto finale viene misurato in termini di anidride carbonica equivalente, in cui le sottocategorie "CO<sub>2</sub> biogenica" si riferisce a quella prodotta da processi biologici, mentre quella "fossile" derivante dal consumo di combustibili fossili come per esempio carbone e petrolio. Per la sottocategoria "cambiamenti nell'uso del suolo" infine, possiamo affermare che vi è una crescente domanda di colture per la produzione di alimenti, biocarburanti o materie prime nei materiali. La sostituzione di terreni naturali con sistemi agricoli o il passaggio da un sistema agricolo all'altro porta a cambiamenti nell'uso del suolo. In aggiunta potrebbero verificarsi cambiamenti del sistema per quanto riguarda lo stock di carbonio, nella biodiversità e negli effetti socioeconomici.

- *Uso di risorse, vettori energetici, minerali e metalli.* La categoria "uso di risorse" comprende: l'utilizzo di vettori energetici rinnovabili o non rinnovabili (fonti energetiche primarie quali petrolio greggio, gas naturale, biomassa, idroelettrico, eolico o solare, e derivati come: benzina, diesel, gas di petrolio liquefatto, gas naturale compresso, gas naturale liquefatto, metanolo, etanolo, idrogeno ed elettricità); l'impatto ambientale, in termini

di esaurimento delle risorse, proveniente dall'uso di risorse biotiche e abiotiche (minerali e metalli); la quantità di risorse estratte dall'ecosfera; le criticità per quanto concerne l'approvvigionamento di risorse dal punto di vista degli aspetti socio-economici ed ambientali.

- *Riduzione dell'ozono.* Lo strato di ozono nella stratosfera assorbe gran parte delle radiazioni UV nocive provenienti dal sole. In natura l'ozono viene continuamente formato e distrutto, tuttavia, un certo numero di sostanze immesse dall'uomo, che contengono gruppi di fluoro, bromo e cloro, (clorofluorocarburi, idroclorofluorocarburi e ossidi di azoto) può aumentarne notevolmente il tasso di distruzione, portando ad una importante riduzione dello spessore di tale strato. Ciò comporta che una parte maggiore di radiazioni UV-B raggiunga la superficie terrestre e determini un aumento di temperatura. Inoltre, una maggiore esposizione alle radiazioni UV-B può portare a effetti negativi sulla salute umana, come il cancro della pelle e la cataratta, ed effetti sugli ecosistemi. Il potenziale di riduzione dell'ozono è rappresentato in equivalenti di CFC 11.

- *Eutrofizzazione*. Questa categoria affronta gli impatti dei macronutrienti azoto e fosforo in forma biodisponibile sugli ecosistemi acquatici e terrestri. Nei sistemi naturali terrestri, l'aggiunta di sostanze nutritive può modificare la composizione delle specie di vegetazione, favorendo quelle specie che beneficiano di livelli più elevati di sostanze nutritive così da crescere più velocemente rispetto al resto della vegetazione. Questo determina un cambiamento della comunità vegetale. L'impatto primario sulla comunità vegetale porta a impatti secondari su altre specie nell'ecosistema terrestre. Nei sistemi acquatici, l'aggiunta di nutrienti ha un impatto primario simile, fungendo da fertilizzanti per le piante (alghe o macrofite) con una serie di conseguenze per l'ecosistema: la composizione delle specie della comunità vegetale si trasforma, dando priorità a quelle specie che necessitano un maggior quantitativo di nutrienti. Le fioriture algali creano ombre, filtrano la luce che penetra nella massa d'acqua, cambiano le condizioni di vita delle macrofite, che hanno bisogno della luce per la fotosintesi, e dei pesci predatori che hanno bisogno della luce per vedere e catturare la loro preda. L'esaurimento dell'ossigeno vicino al fondo del corpo idrico dove le alghe morte si depositano e degradano. Tutto ciò porta ad un cambiamento nella composizione delle specie e nelle funzioni dell'ecosistema acquatico

esposto. I sistemi acquatici marini e i laghi molto grandi sono inoltre esposti alle emissioni in aria (NO<sub>x</sub>).

- *Acidificazione terrestre e in acqua.* Questa categoria di impatto affronta gli impatti dell'acidificazione generata dall'emissione di sostanze chimiche acidificanti nell'aria. L'acidificazione si riferisce precisamente a processi che aumentano l'acidità dell'acqua e dei sistemi del suolo mediante la concentrazione di ioni idrogeno. È causata dalla deposizione atmosferica di sostanze acidificanti generate in gran parte dalle emissioni di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) e ammoniaca (NH<sub>3</sub>); queste ultime contribuiscono all'acidificazione dopo la sua nitrificazione (nel suolo). Come conseguenza, gli ecosistemi vengono danneggiati, il dieback delle foreste risulta l'impatto più noto. L'acidificazione ha dunque effetti dannosi diretti e indiretti sugli ecosistemi (come i nutrienti che vengono dilavati dai suoli o un incremento nella solubilità dei metalli nei suoli), ma anche edifici e materiali da costruzione possono essere danneggiati. Il potenziale di acidificazione è definito come la capacità di alcune sostanze di formare e rilasciare gli ioni H<sup>+</sup>.

- *Formazione di ozono fotochimico.* Gli impatti negativi degli inquinanti generati fotochimicamente sono dovuti alla loro natura reattiva che consente loro di ossidare le molecole organiche sulle superfici che espongono. L'impatto sull'uomo si manifesta quando l'ozono e altri composti reattivi dell'ossigeno vengono inalati e vengono a contatto con la superficie del tratto respiratorio, dove danneggiano i tessuti e causano malattie respiratorie. Gli impatti sulla vegetazione sorgono quando i composti reattivi attaccano le superfici delle piante o entrano negli stomi delle foglie delle piante e causano danni ossidativi agli organelli fotosintetici. Gli impatti sui materiali artificiali sono causati dall'ossidazione e dai danni a molti tipi di materiali organici che sono esposti all'aria ambiente. L'impatto è misurato in kg di NMVOC eq.
  
- *Uso del suolo.* La categoria di impatto “uso del suolo” riflette il danno agli ecosistemi dovuto agli effetti dell'occupazione e della trasformazione del suolo. Esempi di utilizzo del suolo sono la produzione agricola, l'estrazione di minerali e l'insediamento umano. Gli impatti possono essere descritti, al midpoint o all'endpoint, da diversi indicatori di qualità, quali la perdita di specie, la produzione primaria, la quantità di sostanza organica nel suolo e la perdita di suolo.

- *Scarsità d'acqua.* La scarsità d'acqua è definita come una situazione in cui l'uso dell'acqua si avvicina o supera la rigenerazione naturale dell'acqua in una determinata area ed è considerato da diversi modelli LCIA un parametro che porta alla privazione di acqua dolce per via della sua limitata disponibilità.

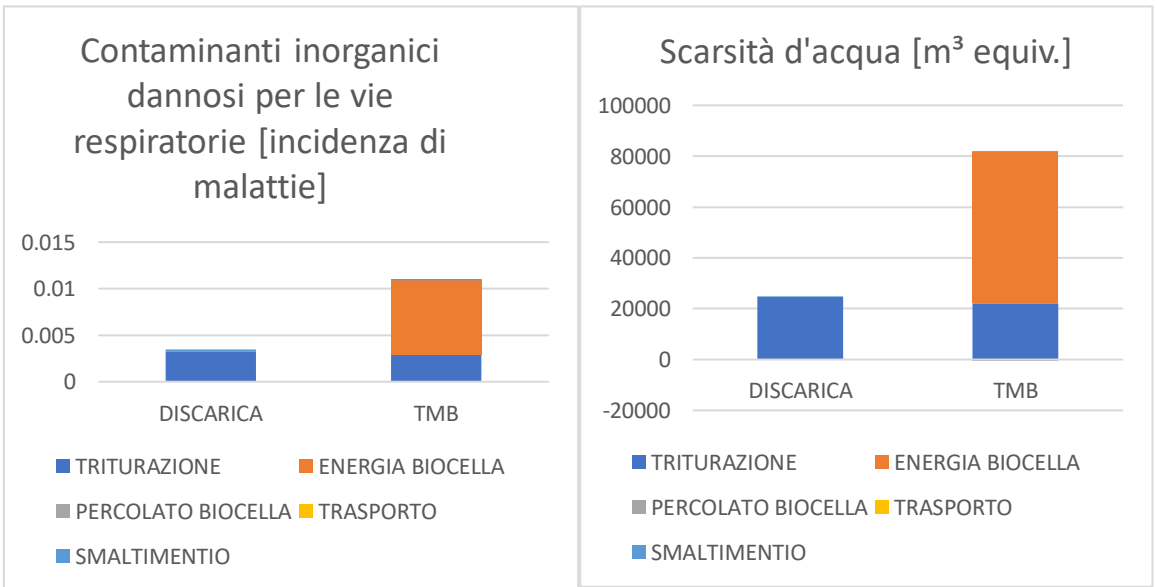
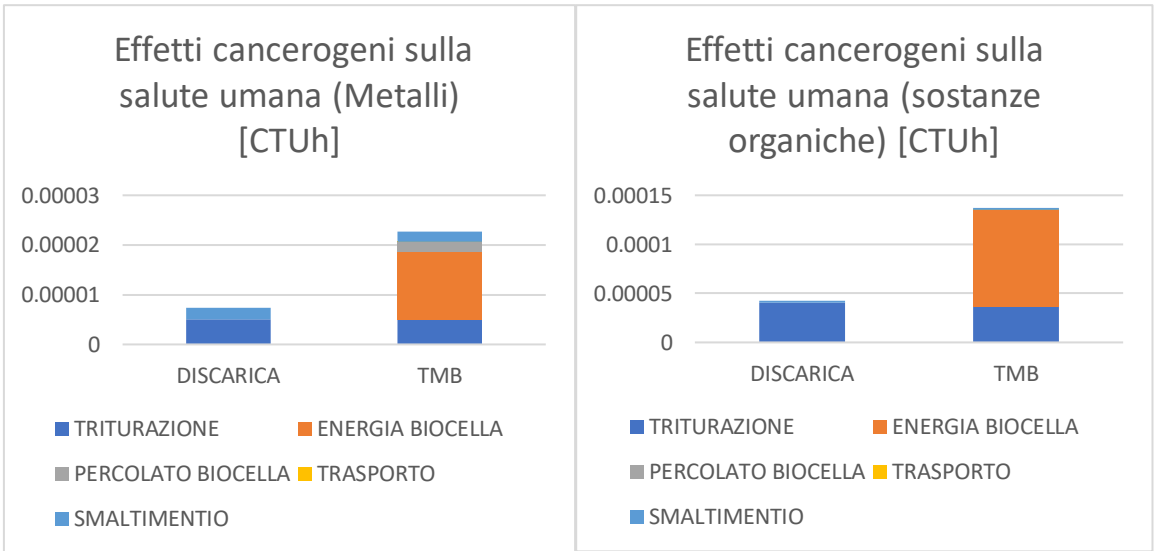
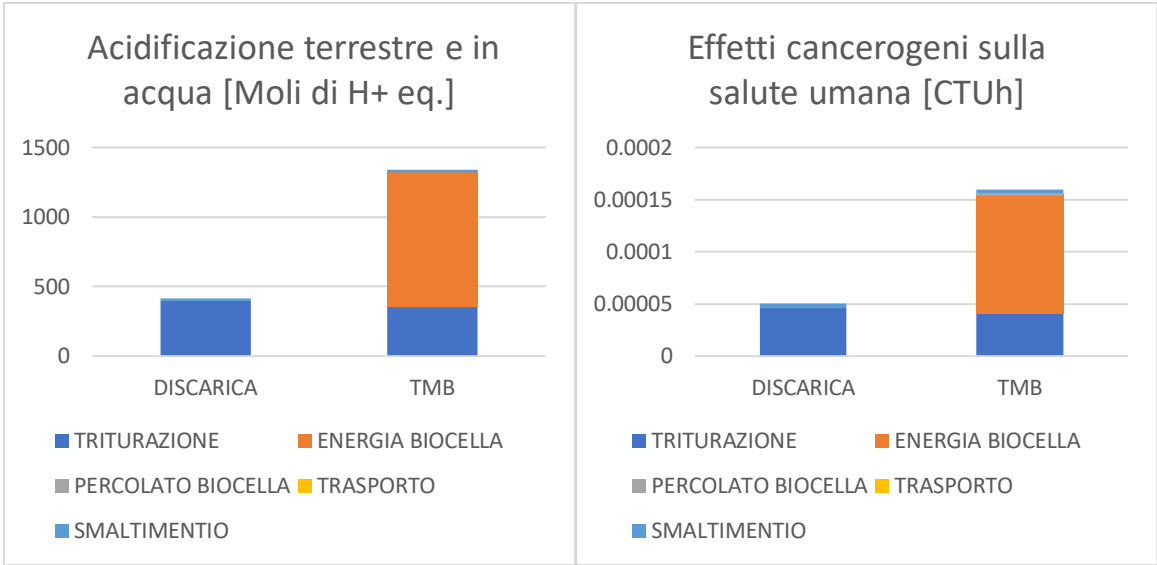
- *Ecotossicità in acqua e terrestre.* Mentre l'eutrofizzazione si verifica a causa di un eccesso di nutrienti, l'ecotossicità deriva dalla presenza di veleni nell'acqua. Questa è generalmente causata da sostanze chimiche che vengono scaricate o che filtrano in laghi e fiumi. Tutto ciò si traduce in una riduzione della proliferazione di piante acquatiche, di insetti, di fauna selvatica e della biodiversità in generale, oltre a influire sulla potabilità dell'acqua.

Mentre alcune di queste tossine possono essere introdotte da fonti aerodisperse o acquatiche, molte sono il risultato di un'applicazione umana diretta o attraverso la lisciviazione da processi industriali o accumuli di rifiuti. L' ecotossicità è espressa in Unità Tossica Comparativa (CTUh).

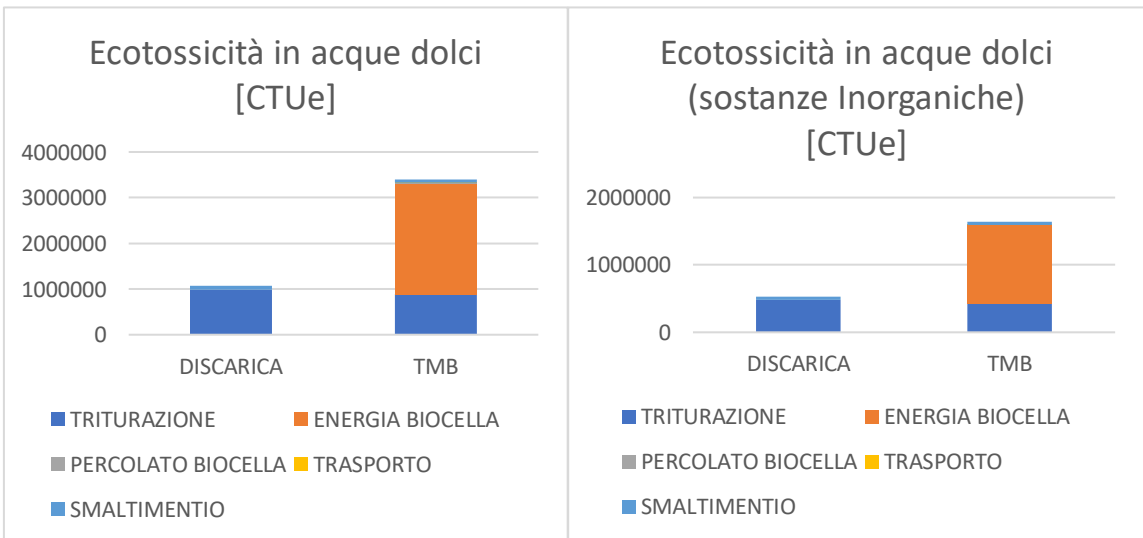
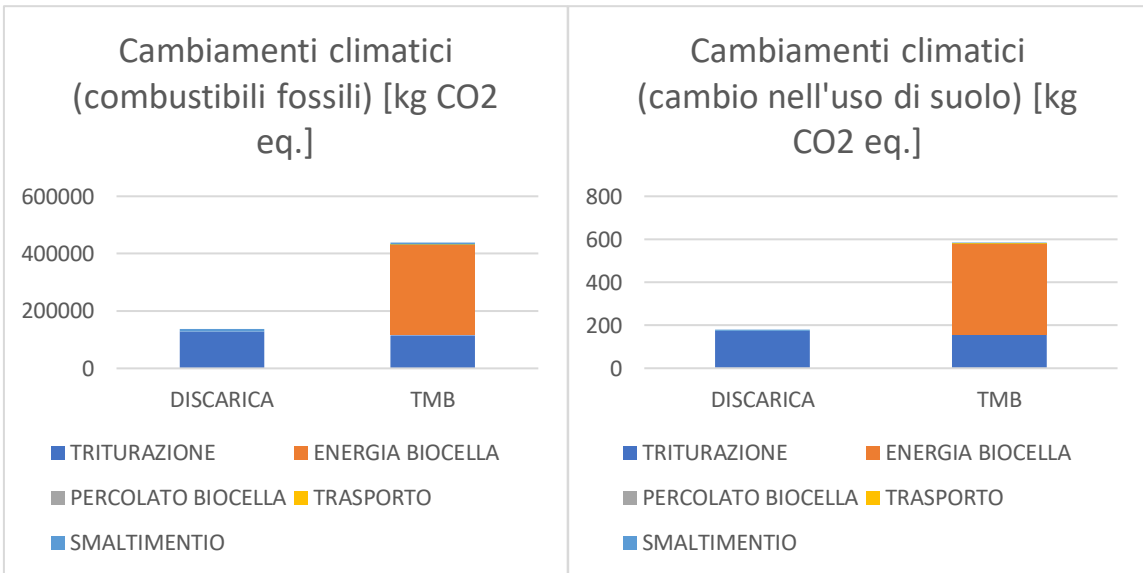
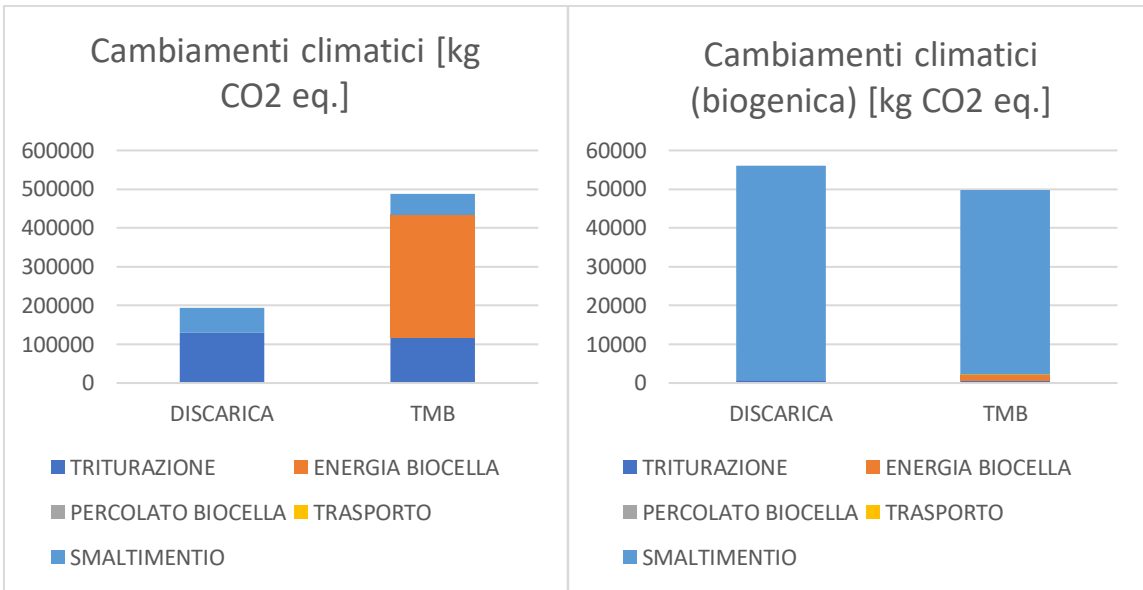
- *Effetti cancerogeni e non cancerogeni sulla salute umana.* I prodotti chimici tossici rilasciati nell'aria, nell'acqua e nel suolo entrano nel corpo umano

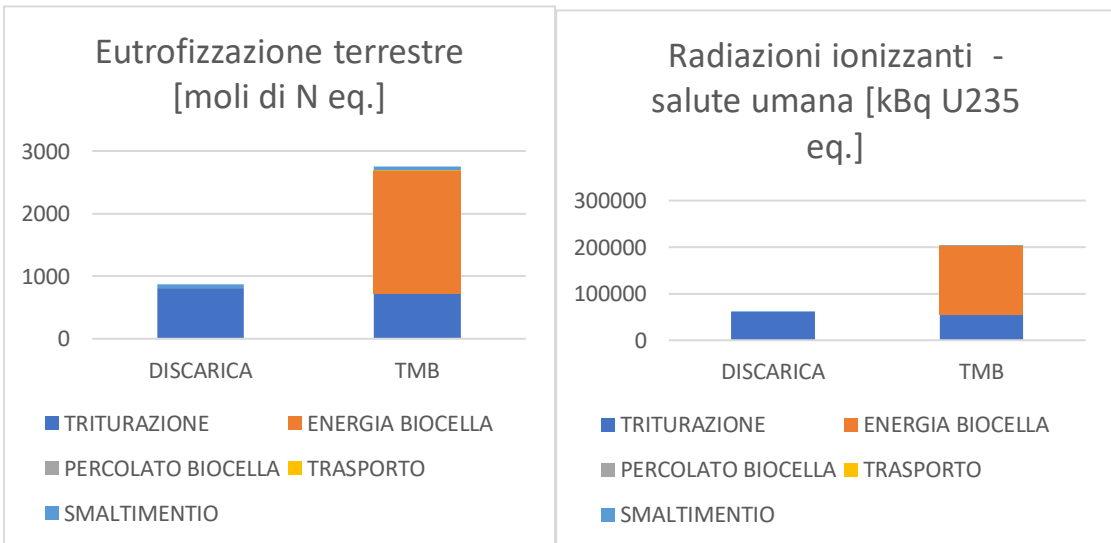
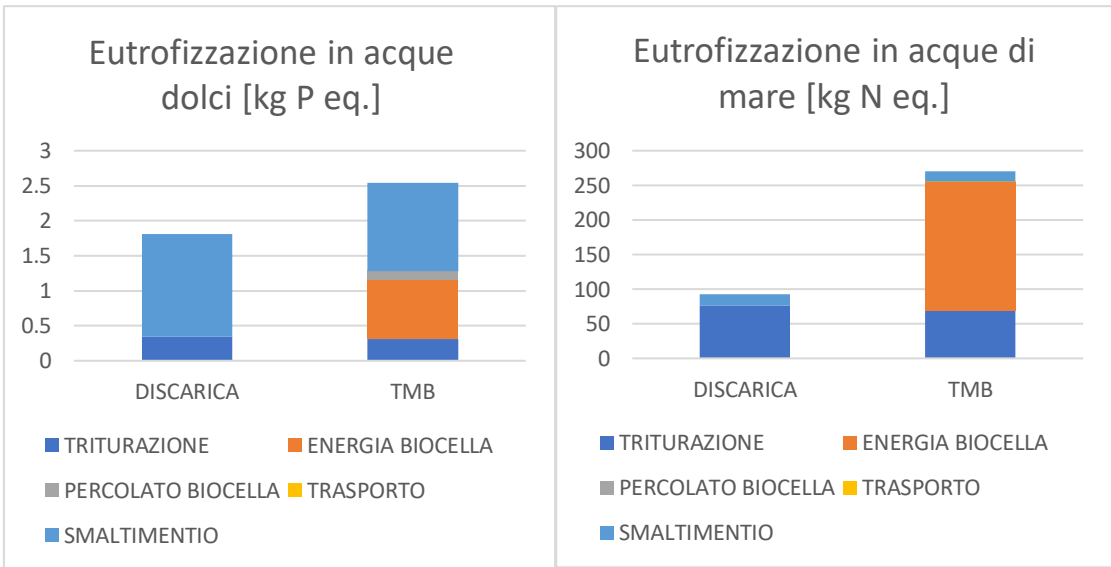
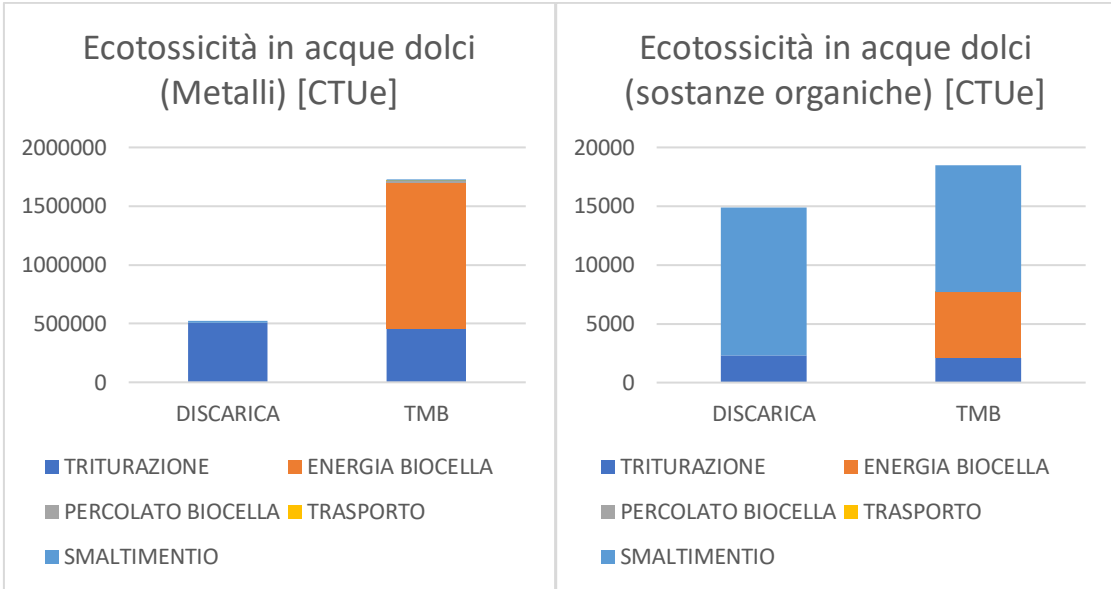
attraverso la respirazione, l'ingestione e attraverso la pelle. Che si tratti di agenti cancerogeni (agenti cancerogeni), sostanze che possono causare difetti alla nascita (teratogeni) o altri agenti patogeni, il risultato netto è una maggiore probabilità di malattie umane e altri effetti negativi sulla salute.

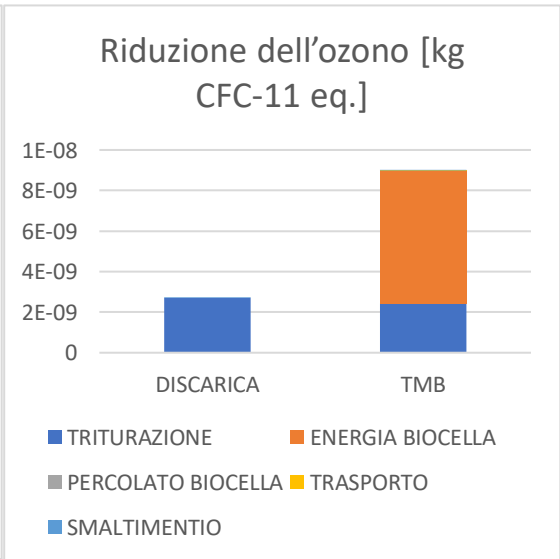
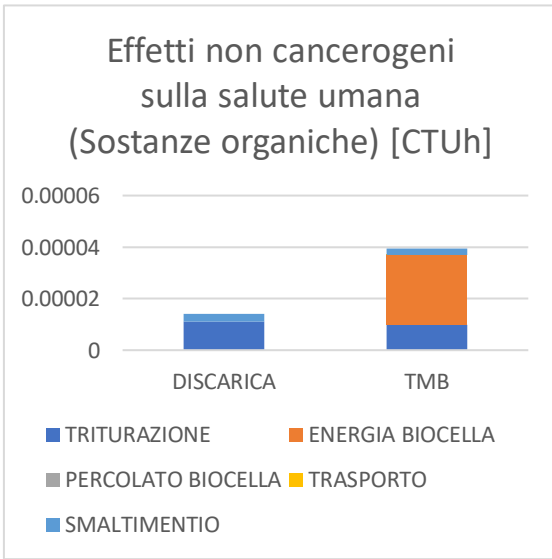
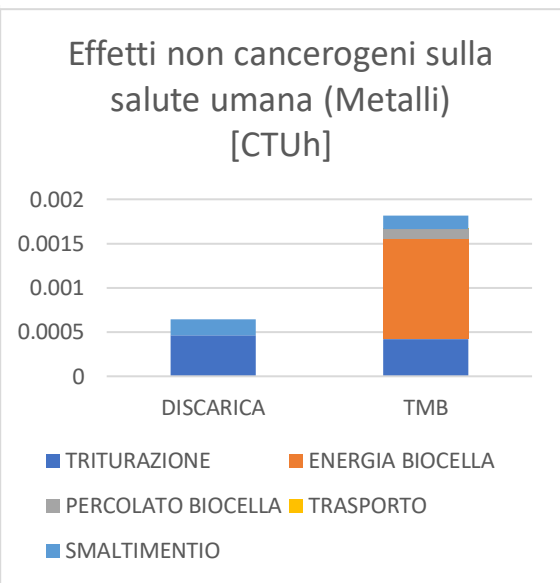
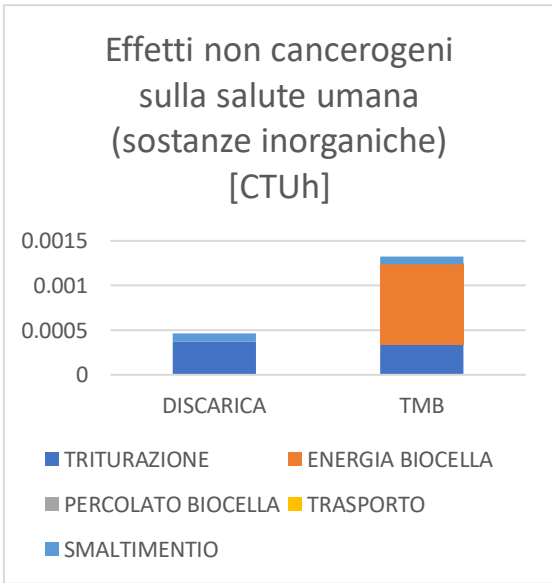
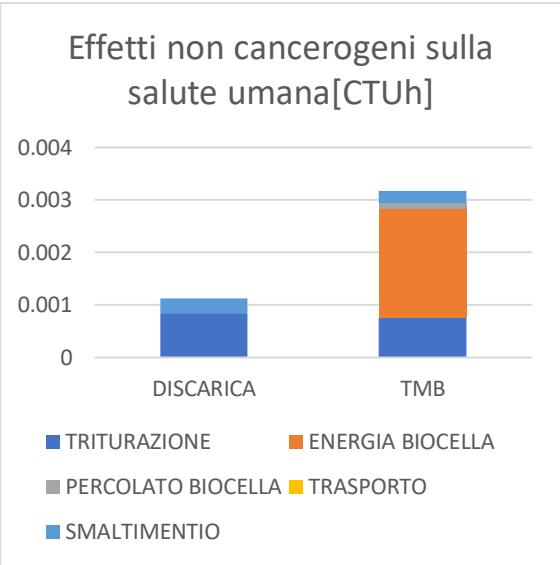
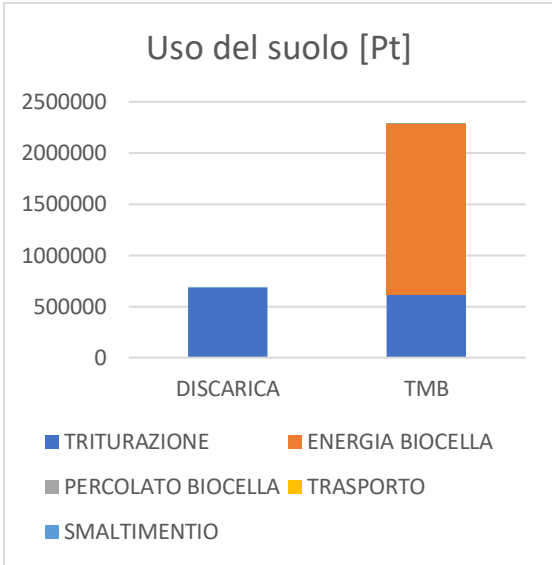
- *Emissione di contaminanti inorganici dannosi per le vie respiratorie [incidenze di malattie].* Gli inorganici respiratori sono rappresentate da polveri sottili (PM), spesso derivanti dalla combustione di combustibili fossili che emettono SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> i quali creano aerosol di solfato e nitrato. Questo particolato provoca difficoltà respiratorie.

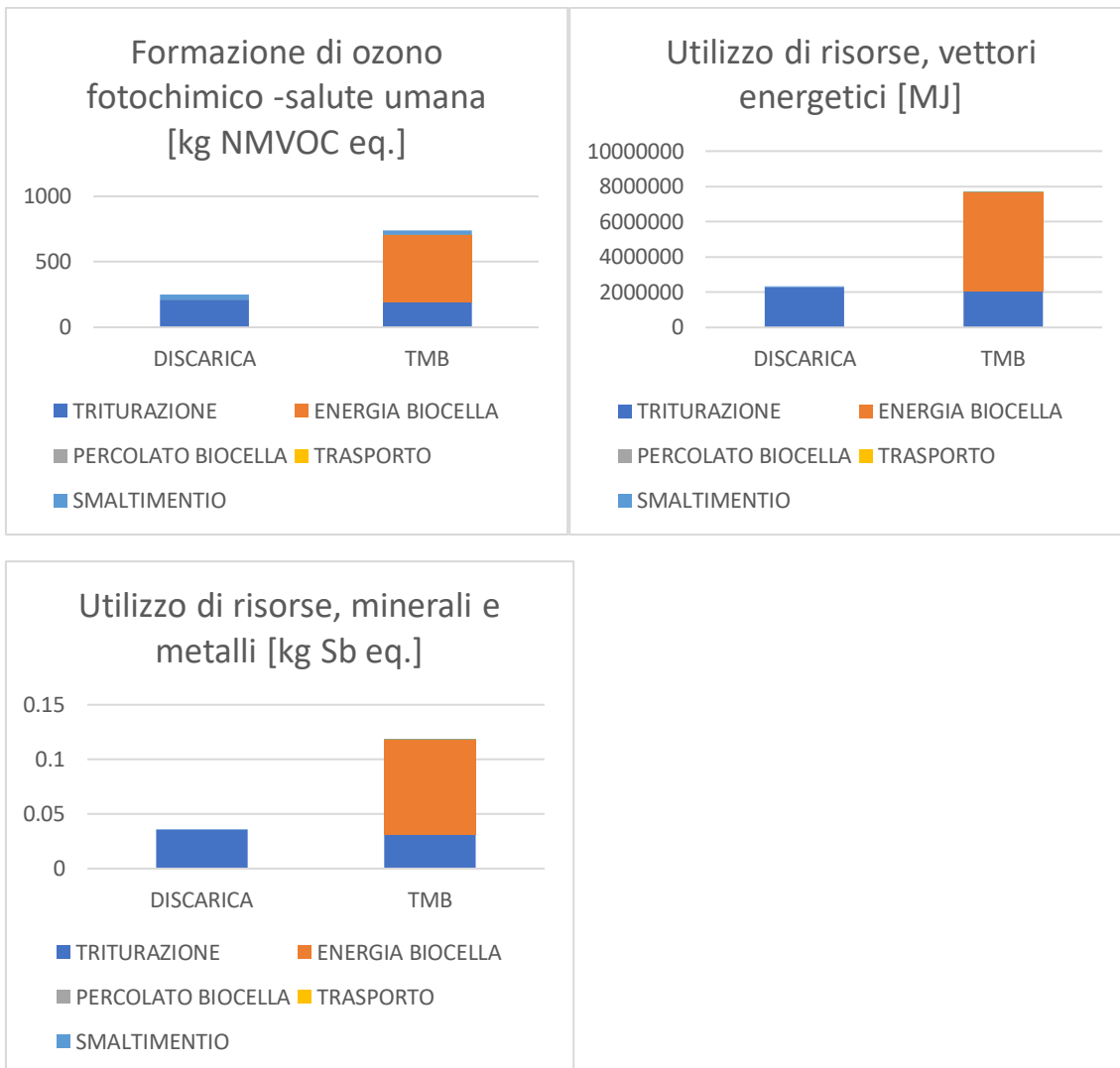












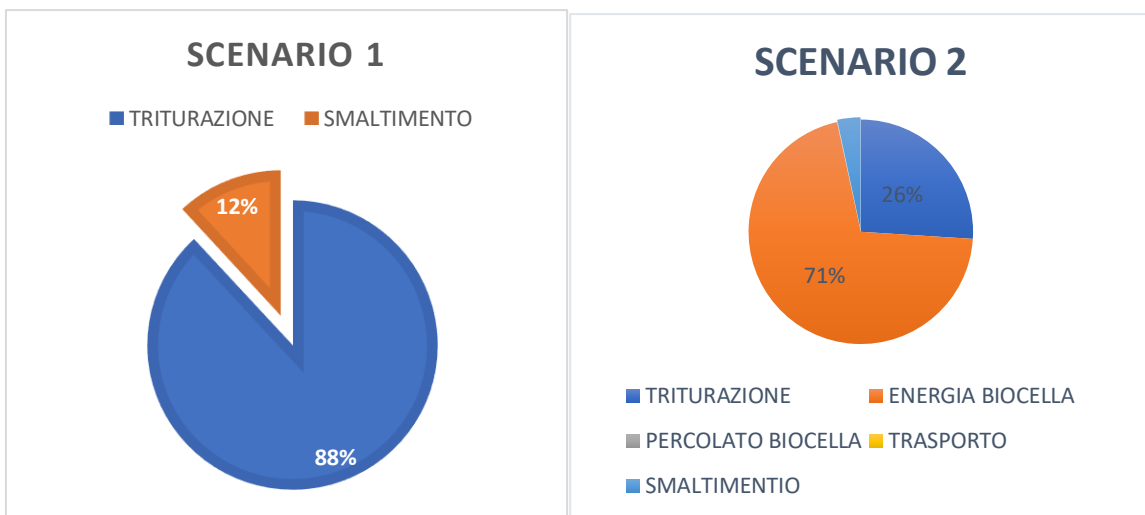
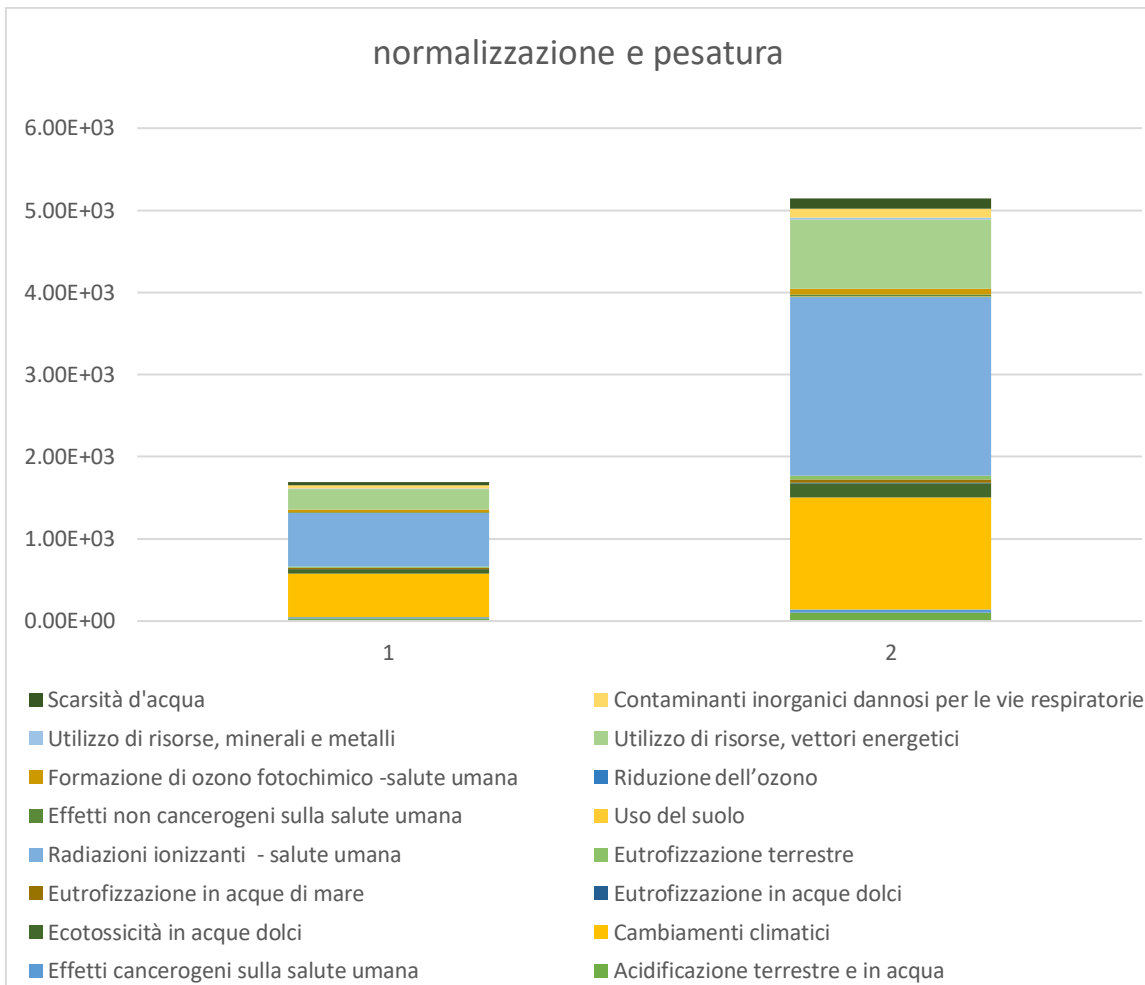
*Fig.5.5.1.1 : quantificazione degli impatti ambientali relativamente allo scenario 1 (solo discarica) e lo scenario 2 (TMB). (Unità funzionale: 70.000 kg rifiuti in ingresso).*

### *5.5.2 Normalizzazione e pesatura*

Nella presente fase gli impatti potenziali relativi a ciascuna delle categorie considerate, ottenuti dalla fase di caratterizzazione, sono rapportati a fattori di normalizzazione così da risultare espressi con la stessa unità di riferimento.

La pesatura infine, comporta l'assegnazione di un peso alle diverse categorie di impatto: gli impatti potenziali relativi a ciascuna delle categorie, tipicamente normalizzati, sono quindi moltiplicati per un fattore di pesatura.

La Figura 5.5.2.1 mostra i risultati normalizzati e pesati, identificando “radiazioni ionizzanti”, “cambiamenti climatici”, “uso di risorse e vettori di energia” come le categorie più colpite. Come indicato dai grafici a torta, il consumo di energia da parte del trituratore rappresenta la principale criticità per lo scenario 1, mentre il consumo di energia da parte della biocella rappresenta la maggiore criticità per lo scenario 2.



*Fig.5.5.2.1 : Output delle fasi di normalizzazione e pesatura dell'LCIA. Il grafico a torta mostra in dettaglio I contributi dei processi. (Unità funzionale: 70.000 kg rifiuti in ingresso).*

## 6. DISCUSSIONE

Il trattamento meccanico biologico (TMB) dei rifiuti solidi urbani, residui della raccolta differenziata, è stato imposto in Italia a seguito delle direttive europee 2018/850 e 2018/851 che fissano diversi obiettivi nell'ambito dello smaltimento e gestione dei rifiuti, e successivamente a seguito delle normative italiane Dlgs 205/, Dlgs 6/2003 e decreto del 29 gennaio 2007, che hanno ripreso queste ed altre direttive. Il TMB riceve i rifiuti prima dello smaltimento in discarica e ha lo scopo di ridurre il volume, di facilitarne il trasporto, di agevolare il recupero, di ridurre il carico per l'ambiente associato allo smaltimento in discarica. Il presente lavoro ha analizzato in dettaglio dati specifici prodotti nel corso del tempo da due casi di studio, situati nel territorio della Regione Marche: un impianto TMB e un impianto di smaltimento dei rifiuti. La disponibilità di tali dati ha consentito di mettere a confronto due scenari diversi: il primo caratterizzato dall'immediato conferimento in discarica della frazione indifferenziata (scenario tipico della più diffusa gestione di tale frazione fino al 2018), il secondo caratterizzato da un TMB seguito dal conferimento in discarica (scenario imposto dalla legislazione più recente). I due scenari sono stati messi a confronto utilizzando la metodologia di analisi del ciclo di vita (LCA), che consente la quantificazione degli impatti

nelle principali categorie che insieme concorrono alla sostenibilità ambientale dei processi.

Analizzando le varie categorie di impatto in entrambi gli scenari, le più colpite sono: “radiazioni ionizzanti”, “cambiamenti climatici”, “uso di risorse e vettori energetici”.

Alla fine dell’analisi possiamo constatare come lo scenario 1, ovvero quello con la sola presenza del trituratore e quindi senza TMB, risulti meno impattante, sia dal punto di vista degli impatti ambientali sia da un punto di vista energetico. L’elevata energia impiegata per il funzionamento della biocella nell’ambito del TMB fa pendere l’ago della bilancia a favore dello scenario in assenza dello stesso.

Si tiene a ricordare come le conclusioni di questo lavoro sono il risultato di uno studio realizzato, si meticolosamente, che richiede tuttavia ulteriori verifiche ai fini di una validazione maggiormente consistente.



## 7. BIBLIOGRAFIA

- Assessment of leachates from sanitary landfills: Impact of age, rainfall, and treatment; Paris HonglayChen.
- CCP Landfill Leachate Generation and Leachate Management (I. Kyle Baucom, Cedric H. Ruhl).
- DECRETO LEGISLATIVO 3 dicembre 2010 n 205.
- Direttiva Europea 2018/850
- Direttiva Europea 2018/851
- Dlgs 6/2003 (recepimento Direttiva 1999/31/CE).
- D.M. 27 settembre 2010 Definizione dei criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica
- GESTIONE A FREDDO DEI RIFIUTI. Lo stato dell'arte delle alternative all'incenerimento per la parte residua dei rifiuti municipali (EUNOMIA – Greenpeace).
- MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE, DECRETO 29 gennaio 2007.
- Lateral gas transport in soil adjacent to an old landfill: factors governing gas migration (Mette Christophersen, Peter Kjeldsen).
- Lateral gas transport in soil adjacent to an old landfill: factors governing emissions and methane oxidation (Mette Christophersen, Peter Kjeldsen, Helle Holst, Jeffrey Chanton).
- LEGGE 28 dicembre 2015, n. 221 Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali.
- Pattern of Characteristics of Leachate Generation from Municipal Solid Waste Landfill by Lysimeter Experiment (Kasam, Sarto, Siti Syamsiah, and Agus Prasetya).

- Rapporto rifiuti urbani (Edizione 2017 ISPRA)
- Rapporto rifiuti urbani (Edizione 2018 ISPRA)
- Rapporto rifiuti urbani (Edizione 2019 ISPRA)
- RAPPORTO SULLE TECNICHE DI TRATTAMENTO DEI RIFIUTI URBANI IN ITALIA (FederAmbiente- ENEA)
- Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis ( Kristina Lmde Ann-soft J6nsson, Roland Wimmerstedt).
- Valutazione sull'applicabilità dei trattamenti meccanico – biologici nel ciclo integrato dei rifiuti urbani della Provincia di Torino (ATOR ASSOCIAZIONE D'AMBITO TORINESE PER IL GOVERNO DEI RIFIUTI).

## 8. SITOGRAFIA

- <https://ec.europa.eu/eurostat/>
- <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/>
- <http://esper.it/>
- <https://lc-impact.eu/index.html>
- <https://rienergia.staffettaonline.com/>
- <https://wasteadvantagemag.com/>
- <https://waste-management-world.com/>
- <https://www.ambientesicurezzaweb.it/>
- <https://www.arpa.veneto.it/>
- <http://www.asambiente.it/>
- <https://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it/>
- <https://www.ecoprog.com/>
- <https://www.europarl.europa.eu/>
- <https://futureviro.es/en/drastic-changes-on-market-for-mechanical-biological-waste-treatment/>
- <https://www.gabi-software.com/>
- <http://www.greenreport.it/>
- <https://www.insic.it/>
- <http://www.isprambiente.gov.it/it>
- <http://www.provincia.ancona.it/Engine/RAServePG.php/P/1179310030300/M/1185110030300/T/Conversione-dellesistente-impianto-di-compostaggio-della-frazione-organica-dei-rifiuti-urbani-in-impianto-di-trattamento-meccanico-biologico>

- <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC105141/lb-na-28371-en-n.pdf>
- <https://www.smaltimentoassistito.it/elenco-cer/>

## **9. RINGRAZIAMENTI**

Un ringraziamento particolare a famiglia, nonni, zii, cugini e amici per il supporto, nonché alla professoressa che mi ha seguito in questo percorso, Francesca Beolchini.