

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

## Tesi di Laurea Magistrale

Sperimentazione di tecnologie per la deplastificazione  
del compost



**Politecnico  
di Torino**

Relatori:

Prof.ssa Rossana Bellopede

Prof.ssa Paola Marini

Candidato:

Andrea Saverio Sammito s267220

A.A 2020/21



## **Abstract**

Il lavoro di tesi riguarda una attività sperimentale volta all'individuazione di tecnologie che permettano di ridurre la quantità di plastica presente nel compost.

Il compostaggio è un processo industriale di trattamento che porta alla trasformazione dei rifiuti organici biodegradabili in compost, prodotto utilizzabile come fertilizzante per la coltivazione dei terreni agricoli o per il recupero ambientale, poiché ricco di nutrienti fondamentali come azoto, fosforo e potassio, evitandone quindi così lo smaltimento in discarica con evidenti conseguenze positive per l'ambiente e l'inquinamento.

Uno studio del 2020 svolto dal CIC (Consorzio Italiano Compostatori), in collaborazione con il COREPLA (consorzio italiano che si occupa del recupero degli imballaggi in plastica), ha dimostrato che negli ultimi anni è aumentata la quantità di bioplastiche compostabili usate nella raccolta degli scarti da cucina, così come anche sono aumentati i quantitativi di plastica tradizionale erroneamente conferiti nell'umido. Questo secondo aspetto comporta un peggioramento della qualità del compost prodotto, che già in termini di mercato soffre di alcune criticità legate allo scarso valore economico, rapportato ad una scarsa conoscenza del prodotto e dei benefici annessi al suo utilizzo. La tesi ricade nell'ambito del progetto di ricerca e sviluppo della regione Piemonte "SICOMPOSTA", che si propone appunto di incrementare il valore economico e la qualità del compost, ed è stata svolta in collaborazione con l'impianto di compostaggio G.A.I.A. S.p.A. e l'azienda TOSO S.r.l., la quale si è occupata della progettazione e realizzazione della

macchina deplastificatrice. Le finalità del presente elaborato sono state quindi quelle di analizzare il grado di impurità presente nel compost prodotto da G.A.I.A., testare l'efficacia del prototipo di macchina deplastificatrice, riportarne i risultati ottenuti e proporre infine una soluzione impiantistica efficace. Dopo quindi una fase preliminare di campionamento e analisi (granulometrica e merceologica), è stato possibile individuare innanzitutto le dimensioni e la composizione del materiale oggetto di studio.

E' stata quindi condotta una indagine di mercato per valutare, allo stato dell'arte, le soluzioni già adottate e disponibili sul mercato; dopodiché, si è proceduto alla realizzazione di un nastro trasportatore a rete metallica che, tramite l'utilizzo di rulli sbattitori in grado di far "sobbalzare" la rete, ha consentito di recuperare materiale fine e pulito caduto attraverso i fori della rete, separandolo così dalle impurità. I risultati così ottenuti sono stati soddisfacenti e hanno dimostrato che circa l'86% del materiale recuperato è costituito da compost pulito e da bassissime percentuali di sostanze indesiderate.

Tuttavia, per il raggiungimento degli obiettivi prefissati dal progetto, l'utilizzo di tale prototipo non è pienamente sufficiente: infatti, una volta inserita all'interno della linea di raffinazione dell'impianto di G.A.I.A., la soluzione impiantistica proposta consiste nell'utilizzare oltre al nastro a rete metallica anche un separatore aeraulico e una tavola densimetrica per completare la pulizia del compost finale, eliminando quindi così anche altre impurità come il vetro e le plastiche non ancora rimosse.

# Indice

Introduzione .....	8
Capitolo 1 .....	10
1.1 Il processo di compostaggio .....	10
1.2 Parametri e indici di evoluzione del processo .....	15
1.2.1 La temperatura.....	16
1.2.2 Presenza di ossigeno .....	17
1.2.3 Porosità.....	18
1.2.4 Umidità.....	19
1.2.5 Rapporto C/N.....	20
1.2.6 Il pH .....	21
1.3 La microbiologia del processo .....	26
1.4 Metodi di compostaggio .....	27
1.4.1 Il compostaggio in cumuli periodicamente rivoltati .	29
1.4.2 Compostaggio in cumuli statici aerati .....	31
1.4.3 Compostaggio in bioreattori.....	34
Capitolo 2.....	38
2.1 Rifiuti organici e compost prodotti in UE .....	38
2.2 Produzione di compost in Italia .....	43
2.2.1 Il Consorzio Italiano Compostatori (CIC) .....	43
2.3 Produzione di compost in Piemonte.....	44
Capitolo 3.....	47
3.1 Generalità su aspetti normativi .....	47
3.2 Normativa comunitaria .....	48

3.3 Normativa nazionale.....	54
Capitolo 4.....	71
4.1 Caso Studio: Impianto di compostaggio G.A.I.A S.p.A. ...	71
4.2 Progetto SICOMPOSTA .....	77
4.3 Metodi e macchinari esistenti per la rimozione delle frazioni plastiche dal compost .....	80
4.3.1 Separatore aeraulico.....	80
4.3.2 Tavola densimetrica a doppia separazione .....	81
4.3.3 Magnetic Density Separator (MDS).....	82
4.3.4 Separatore combinato ECOTEC – BIVITEC e BREEZER.....	83
4.3.5 Separatore NIR Steinert: UNISORT BLACK.....	84
4.3.6 Plastic Sort.....	85
4.3.7 Separatore gravimetrico a letto fluido .....	85
Capitolo 5.....	87
5.1 Caratteristiche granulometriche e merceologiche del compost di GAIA .....	87
5.2 Spettroscopia a infrarosso in trasformata di Fourier (FTIR) .....	96
5.3 Prove di separazione .....	103
Capitolo 6.....	109
6.1 Proposta di un metodo innovativo per la separazione della plastica dal compost .....	109
6.2 Soluzione impiantistica proposta .....	114
Conclusioni .....	117

Bibliografia .....	120
Sitografia.....	123
Allegato 1.....	125

## Introduzione

Il settore del compostaggio rappresenta un elemento di primaria importanza nel sistema di gestione dei rifiuti urbani e nel progressivo avvicinamento ad un'economia di tipo circolare, che rappresenta un *“modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile, in modo da estenderne il ciclo di vita, contribuendo a ridurre i rifiuti al minimo e generandone ulteriore valore”* ([www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu)), in quanto anello di congiunzione tra la generazione di rifiuti prodotti a valle della produzione di alimenti e la necessità di reintegrare la sostanza organica nei terreni coltivati.

Negli anni, il settore si è consolidato ed oggi la raccolta differenziata dei rifiuti organici è indispensabile per garantire elevati livelli di recupero di materia: nel 2016, la raccolta differenziata delle frazioni organiche ha superato il 40% del totale dei RSU raccolti in modo differenziato, per un totale di oltre 8,7Mt, con la produzione di oltre 1.9 Mt di compost.

I rifiuti organici da raccolta differenziata possono infatti essere interamente recuperati, a meno delle frazioni estranee presenti nelle matrici in ingresso come impurità, e il loro recupero dà origine ad un prodotto, ovvero il compost, i cui benefici in termini di restituzione al suolo di sostanza organica e humus sono innegabili, considerando inoltre che la sostanza organica costituisce un importante bacino per lo stoccaggio di carbonio.

Benché le tecnologie di trattamento siano oggi ben consolidate

(e l'Italia ricopre un ruolo di leadership nel settore della gestione rifiuti a livello Europeo e globale), sotto molti punti di vista è necessario promuovere ancora attività di ricerca e sviluppo con lo scopo innanzitutto di ottenere un compost finale di qualità, ridurre i costi di trattamento e, di conseguenza, incrementare i ricavi degli impianti.

Il presente elaborato di tesi si è quindi focalizzato sulla problematica riguardante l'ottenimento di un prodotto di qualità: infatti, una tra le principali criticità riscontrata riguarda la presenza nel compost finale di elementi indesiderati, come i film plastici, i quali dovrebbero essere rimossi a monte del processo di compostaggio tramite pre-trattamenti volti a selezionare il materiale da inviare a trattamento, eliminando quindi tutte le frazioni non compostabili; tuttavia spesso esse non vengono rimosse per intero e, di conseguenza, peggiorano la qualità del prodotto finale e ne limitano i possibili utilizzi in campo agronomico.

Ai fini quindi del miglioramento del compost prodotto, la progettazione e realizzazione di un prototipo di apparecchiatura per eliminare le frazioni di materiale plastico dalla matrice organica ha rappresentato un punto chiave per il lavoro di tesi; in quest'ottica, l'elaborato di tesi si lega con il progetto di ricerca, sviluppo tecnologico ed innovazione " SICOMPOSTA", che pone quindi come obiettivo principale quello di ottimizzare e migliorare il processo di compostaggio, e quindi il valore del prodotto finale, tramite lo sviluppo e l'implementazione di un sistema di deplastificazione del compost per la produzione di ammendanti e fertilizzanti organo minerali densificati di alta qualità.

# Capitolo 1

## 1.1 Il processo di compostaggio

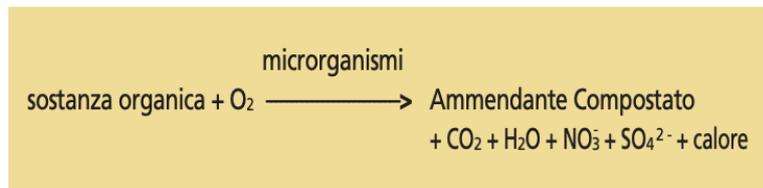
In natura avviene la trasformazione della sostanza organica presente nei residui animali e vegetali per effetto dei microorganismi presenti nel terreno come batteri, funghi, alghe e protozoi. Questi svolgono diverse funzioni ecologiche, come ad esempio quella di degradare la sostanza organica in parte sfruttandola per l'anabolismo cellulare, e quindi per la nascita e crescita di nuovi organismi, in parte convertendola in composti organici stabili, cioè le sostanze umiche.

L'humus è infatti una riserva di nutrimento per le piante, grazie alla capacità di liberare in modo lento, ma costante, nutrienti come l'azoto, il fosforo e il potassio; le sostanze umiche, infatti, conferiscono importanti proprietà chimico-fisiche al terreno, con la conseguente creazione di un ambiente fertile ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org))

Con il termine Compost si intende il risultato del processo di decomposizione della sostanza organica attuato dalle specie microbiche naturalmente presenti. A livello legislativo, secondo quanto riportato nella normativa nazionale sui fertilizzanti (*D.lgs 217/06*), il compost viene classificato in tre categorie:

- Ammendante compostato misto (ACM), costituito da rifiuti organici, rifiuti di origine animale e dall'agroindustria;
- Ammendante compostato verde (ACV), ovvero tutto ciò che è vegetale ad eccezione di alghe e piante marine;
- Ammendante torboso composto (ATC), costituito per il 50% da torba e per il restante 50% da ACM o ACV.

Il compostaggio è un trattamento attraverso il quale viene controllato, migliorato ed accelerato il processo naturale di degradazione microbica che avviene per qualsiasi sostanza organica; tale processo biologico consente quindi di ottenere un prodotto biologicamente stabile in cui la sostanza organica “si evolve”.



*Figura 1.1: Schema concettuale di processo biologico aerobico*

*Fonte: [www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)*

Come si può evincere dalla *Figura 1.1* i microorganismi svolgono un ruolo fondamentale nel processo di compostaggio in quanto consumano l'ossigeno per degradare la sostanza organica, e ne traggono energia per le loro attività metaboliche; il risultato di tale processo è la produzione di acqua, anidride carbonica, sali minerali e sostanza organica stabilizzata, cioè il compost.

In condizioni ottimali, il processo di compostaggio si svolge in tre stadi principali ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)):

1. la fase mesofila di latenza, che può durare da qualche ora fino ad alcuni giorni, in cui la matrice di partenza viene invasa dai microorganismi, la cui attività metabolica determina un brusco innalzamento delle temperature;

2. la fase termofila o di stabilizzazione, la cui durata varia da alcuni giorni a qualche settimana, caratterizzata da intense reazioni di bioossidazione;
3. la fase di raffreddamento o maturazione, la quale può durare anche qualche mese, in cui avvengono le reazioni di humificazione.

In realtà, da un punto di vista gestionale, il processo di compostaggio viene in genere suddiviso in due fasi temporali (USDA-NRCS, 2000):

- Una **fase di bioossidazione (1 e 2)**, ovvero la fase attiva caratterizzata da intensi processi di degradazione delle frazioni organiche facilmente biodegradabili;
- Una **fase di maturazione (3)**, caratterizzata da processi di invecchiamento e trasformazione della sostanza organica in sostanze umiche.

La **prima fase** è in genere caratterizzata da condizioni aerobiche ed esotermiche (ovvero è un processo naturale in cui si ha una variazione di entalpia tramite scambi di energia dal sistema verso l'ambiente esterno); la presenza, nel substrato di alimentazione, di composti facilmente biodegradabili (molecole semplici come zuccheri, acidi organici, aminoacidi) porta ad un elevato consumo di ossigeno, e parte dell'energia prodotta nelle reazioni di trasformazione viene dissipata sotto forma di calore ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)).

Con il progressivo accumulo di calore, la temperatura complessiva del substrato iniziale aumenta fino a superare il regime della termofilia; ogni aumento di temperatura vede l'inattivazione di una specie microbica e l'attivazione di un'altra ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)). Particolarmente interessante in questa prima fase è quindi l'aumento di temperatura che, dai

valori caratteristici atmosferici passa a circa 60 °C, e questo in relazione alla fermentescibilità del substrato e alla disponibilità di ossigeno. Tuttavia, dal momento che temperature al di sopra dei 65 °C uccidono la maggior parte della fauna microbica presente, comportando di conseguenza un minor tasso di decomposizione del substrato, nelle applicazioni biotecnologiche è fondamentale l'aerazione del substrato per mantenere costanti le condizioni aerobiche e la temperatura, ai fini del proseguimento del processo microbico (FINSTEIN *et al.*, 1983).

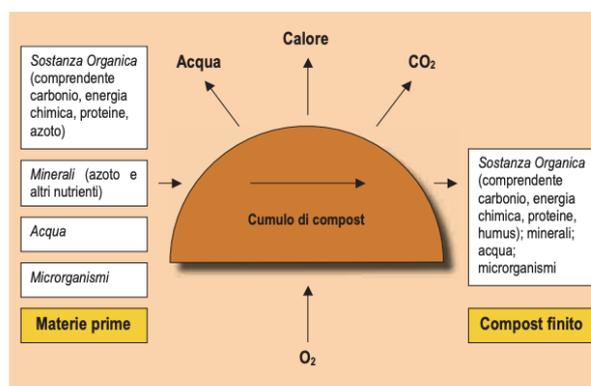


Figura 1.2: Il processo di compostaggio: dai materiali di partenza al prodotto finale  
 Fonte: [www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)

Alla fine di questa prima fase si ha il compost fresco, e cioè un materiale igienizzato e abbastanza stabile grazie al lavoro svolto dai batteri aerobi; una volta eliminati i composti facilmente biodegradabili, le trasformazioni metaboliche di degradazione continuano sfruttando molecole organiche più complesse e sono per tanto caratterizzate da una cinetica di reazione più lenta, anche a causa della bassa quantità di nutrimento e, quindi, alla morte di buona parte dei microorganismi. Di conseguenza la temperatura dei substrati in

trasformazione inizia a diminuire, consentendo ai batteri mesofili responsabili dei processi di humificazione di invadere e colonizzare il substrato (DE BERTOLDI *et al.*, 1985). È questa la **seconda fase**, chiamata anche *fase di maturazione*, durante la quale diminuisce l'intensità dei processi metabolici dei microrganismi e, pertanto, iniziano a degradare amido, cellulosa e lignina, che sono componenti essenziali dell'humus. In questa fase si osserva quindi una iniziale diminuzione delle temperature, che da valori termofili scendono fino a 40-45°C, per poi diminuire ulteriormente fino alla temperatura ambiente; il prodotto finale ottenuto a valle di questa seconda fase è il compost maturo, di colorazione scura e ricco in composti umici ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)). In definitiva, dunque, i microrganismi coinvolti nella degradazione della sostanza organica durante il processo di compostaggio possono esplicitare al meglio quella che è la loro funzione se l'ambiente che li ospita fornisce le sostanze nutritive necessarie e offre delle condizioni ottimali di sviluppo.

Tabella 1.1: Principali caratteristiche delle fasi costituenti il processo di compostaggio

Fonte: [www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)

	FASE DI BIODISSIDAZIONE	FASE DI MATURAZIONE
Tipologia di sostanza organica degradata	Molecole semplici, prontamente biodegradabili e fermentescibili, quali zuccheri, acidi organici, aminoacidi ecc.	Molecole organiche più complesse, sostanze recalcitranti rimaste nella matrice, quali lignina, amido e cellulosa
Tipo di microrganismi coinvolti	Microrganismi principalmente termofili (batteri, funghi ecc.)	Microrganismi prevalentemente mesofili e psicrofili (batteri, funghi, attinomiceti, eumiceti, ecc.)
Effetti della degradazione	Produzione di H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , intermedi fitotossici ed elevata produzione di sostanze odorogene (acidi grassi volatili, composti solforati ecc.)	Produzione di H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> in quantità limitata
Temperatura	Molto elevata, oltre i 60°C	Si abbassa (40-45°C) fino a temperatura ambiente
Prodotto finale	<i>Compost fresco</i>	<i>Compost maturo</i>

## **1.2 Parametri e indici di evoluzione del processo**

In un processo controllato di compostaggio è fondamentale creare e mantenere le condizioni ambientali necessarie per favorire ed accelerare le attività dei microorganismi aerobi responsabili della degradazione della sostanza organica.

Tali condizioni ottimali per i microorganismi dipendono dalla compresenza di diversi fattori, che devono essere valutati con attenzione se si vuole avere un processo di compostaggio con la massima efficienza.

I principali sono:

- La temperatura;
- La concentrazione di ossigeno;
- La porosità del substrato;
- Il contenuto d'acqua (o umidità);
- Il rapporto C/N e la presenza di nutrienti;
- Il pH.

Il controllo di questi indici è fondamentale soprattutto nelle prime fasi, cioè quando il materiale subisce le principali trasformazioni. Inoltre, le tipologie di substrati utilizzati, in relazione anche alla complessità delle reazioni di trasformazione, determinano le caratteristiche per il monitoraggio di tali parametri.

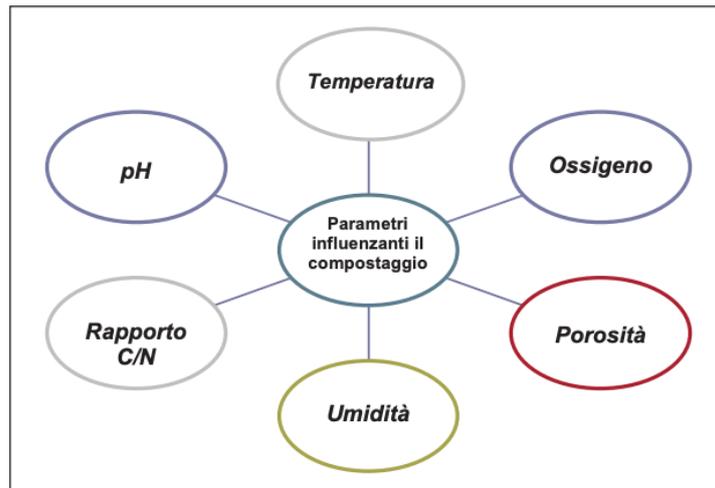


Figura 1.3: Parametri che concorrono per le condizioni ottimali di compostaggio

Fonte: [www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)

### 1.2.1 La temperatura

La temperatura è uno tra i parametri fondamentali da tenere sotto controllo, in quanto fornisce informazioni importanti sull'andamento del processo e, di conseguenza, sull'intensità delle reazioni in gioco. Durante la fase termofila del processo di compostaggio, l'innalzamento della temperatura consente di ottenere importanti risultati quali la riduzione dell'umidità dei materiali e l'igienizzazione del prodotto attraverso l'annullamento della carica patogena dei substrati alimentati.

Eventuali eccessi di temperatura possono essere facilmente controllati attraverso l'utilizzo di tecniche di aerazione, ventilazione forzata o rivoltamento che accelerano le perdite di calore, inducendo quindi un raffreddamento delle biomasse ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)).

## 1.2.2 Presenza di ossigeno

Il compostaggio, come ampiamente sottolineato nei paragrafi precedenti, è un processo aerobico e, pertanto, l'ossigeno è necessario per favorire l'attività di biodegradazione ad opera dei microrganismi. La quantità di ossigeno necessaria per lo svolgimento del processo è diversa a seconda della fase in cui ci troviamo: la maggior parte dell'ossigeno disponibile viene consumato durante la prima fase, ovvero la fase attiva in cui la presenza di sostanze facilmente biodegradabili favorisce da un lato la creazione di nuove cellule di microrganismi, che quindi si moltiplicano, e dall'altro l'attività microbica di degradazione con il conseguente innalzamento della temperatura (tra i 40 °C e i 70 °C) e produzione di anidride carbonica ( $CO_2$ ).

E' quindi importante, per mantenere le condizioni aerobiche, che il contenuto di ossigeno all'interno della massa in biodegradazione sia al di sopra del 10 - 12%; se diminuisce fino a valori al di sotto del 5% iniziano ad instaurarsi condizioni anaerobiche, portando a processi di tipo putrefattivo, con la conseguente formazione di composti ridotti (acidi grassi volatili, idrogeno solforato ed altri ancora) in genere caratterizzati da odore decisamente aggressivo ed elevata fitotossicità ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)). Per evitare quindi l'instaurarsi di condizioni anaerobiche, nei processi di compostaggio controllato si interviene con sistemi di miscelazione e/o aerazione forzata, con lo scopo di mantenere costanti le condizioni aerobiche e la temperatura, che così facendo saranno omogenee in tutto il cumulo.

### 1.2.3 Porosità

La porosità del substrato rappresenta la quantità di spazi vuoti presenti nella biomassa durante le fasi di compostaggio e si calcola tramite il rapporto, in termini percentuali, tra il volume degli spazi vuoti della biomassa rispetto al volume totale della biomassa stessa ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)).

Questo parametro è fondamentale poiché condiziona l'intero processo di compostaggio attraverso l'influenza sull'aerazione dei substrati trattati ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

La disponibilità di spazi vuoti è strettamente legata alla dimensione delle particelle e alla distribuzione granulometrica dei materiali (ovviamente in presenza di particelle più grandi e uniformi si ha un aumento della porosità). Essa è inoltre correlata alle proprietà fisiche delle sostanze sottoposte a compostaggio e condiziona quindi la distribuzione dell'aria insufflata.

Tale parametro può essere opportunamente ottenuto tramite operazioni di triturazione e macinazione dei substrati di partenza, oppure miscelando i substrati iniziali con matrici definite "di supporto" (bulking agents).

Poiché l'area superficiale di contatto aumenta con il diminuire della pezzatura, il tasso di degradazione aerobica si innalza quanto più piccole sono le dimensioni delle particelle presenti nella matrice organica. Tuttavia, particelle troppo piccole rischiano di compromettere la porosità, per cui risultati soddisfacenti si ottengono quindi con un diametro medio delle particelle tra 0,5 e 5 cm ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

## 1.2.4 Umidità

L'acqua svolge un ruolo di fondamentale importanza per la sopravvivenza e lo sviluppo dei microrganismi in quanto fornisce alimento, un mezzo per la diffusione dell'ossigeno atmosferico e dei principali nutrienti ed è inoltre importante per la termoregolazione del sistema. In teoria, infatti, l'attività biologica si svolge in maniera ottimale all'interno di un ambiente saturo ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)). Per questi motivi, i substrati avviati al compostaggio devono essere abbastanza umidi per poter consentire un'adeguata attività microbica senza però impedire l'ossigenazione della massa. Pertanto, il range ottimale di contenuto d'acqua è tra il 55 e il 65%.

È infatti dimostrato che per valori di umidità della sostanza organica intorno al 40% il processo di compostaggio inizia ad essere inibito (ovvero le reazioni di degradazione sono più lente); se invece l'umidità è al di sopra del 65%, nella maggior parte dei pori del substrato l'acqua va a sostituire l'ossigeno, ostacolando quindi la diffusione e favorendo l'insorgenza di condizioni anossiche. Poiché, durante le diverse fasi di compostaggio il contenuto d'acqua dei substrati di partenza diminuisce, è necessario che nel substrato di partenza esso sia ben superiore al 55%. Per tutto il corso del processo di compostaggio, compresa anche la fase di maturazione, l'umidità deve quindi mantenersi su valori al di sopra dei limiti necessari per l'evoluzione ed il proseguimento del processo. Infatti, un basso contenuto d'acqua nel substrato può portare ad una erroneamente interpretazione della diminuzione dell'attività microbica, che in tal caso non sarà quindi segno di avvenuta stabilizzazione ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)); infatti, il materiale così ottenuto sarà stabilizzato solo dal punto di vista fisico (disidratato).

### 1.2.5 Rapporto C/N

Elementi nutritivi come il carbonio, l'azoto, il fosforo e il potassio sono fondamentali per la crescita e lo sviluppo microorganismi; essi sono anche i principali nutrienti delle piante e, proprio per questo motivo, la loro presenza e concentrazione influenza il valore agronomico del compost ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

Tuttavia, è soprattutto la quantità di carbonio e azoto presente nella biomassa substrato che ne influenza la stabilizzazione durante il compostaggio. In generale, i microrganismi attivi nel processo di compostaggio necessitano di:

- carbonio come fonte energetica;
- azoto per sintetizzare le proteine.

Il rapporto C/N è quindi un indice attraverso il quale è possibile controllare l'attività microbica durante un tipico processo di compostaggio.

Un eccesso di carbonio determina un rallentamento dell'attività di decomposizione svolta dai microorganismi, mentre un eccesso di azoto determina perdite di ammoniaca per volatizzazione, soprattutto quando pH e temperatura sono elevati.

Attraverso quindi la miscelazione di scarti lignocellulosici ricchi di carbonio, con fanghi di depurazione, o rifiuti organici provenienti dalla raccolta differenziata (FORSU), che invece hanno un elevato contenuto di azoto, garantisce le condizioni perfette per la gestione del processo biologico ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)). Al fine quindi di ottenere un prodotto finale di buona qualità, le matrici organiche in ingresso dovrebbero avere valori di C/N compresi tra 20:1 e 30:1 ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

Con C/N inferiore a 20:1, tutto il carbonio disponibile viene completamente utilizzato senza che, però, sia stato stabilizzato l'azoto presente. L'eccesso di azoto può quindi essere perso in atmosfera in forma ammoniacale, causando emissioni maleodoranti.

Di contro, substrati con C/N superiore a 40:1 necessitano tempi di compostaggio più lunghi, a causa di una lenta crescita microbica in presenza di eccesso di carbonio.

Tuttavia, se il carbonio del substrato è scarsamente degradabile, il processo di compostaggio sarà decisamente rallentato; di conseguenza nel caso di matrici carboniose scarsamente degradabili, è possibile impostare il rapporto C/N di partenza su valori più alti di quelli ottimali, tenendo conto del conseguente allungamento del tempo necessario al completamento del processo di compostaggio ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

### **1.2.6 Il pH**

Il processo di compostaggio viene svolto con substrati il cui pH è estremamente variabile; tuttavia, esso risulta essere poco sensibile al pH per via dell'ampio spettro di microrganismi coinvolti nelle varie fasi del processo, anche se i batteri preferiscono valori molto prossimi alla neutralità ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)). Nel corso dell'intero processo di compostaggio si hanno inizialmente valori di pH acidi, con il conseguente sviluppo di anidride carbonica e la formazione di acidi organici; in seguito a meccanismi di aerazione il pH sale a valori compresi tra 8 e 9.

Alla fine del processo il pH si stabilizza nuovamente su valori prossimi alla neutralità (7-7,5) ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)).

Il pH inizia ad essere un parametro fondamentale da controllare quando abbiamo a che fare con substrati ricchi di azoto (es. deiezioni zootecniche); in tal caso, infatti, valori di pH > 8,5 facilitano la trasformazione dei composti azotati in ammoniaca per effetto di microrganismi ammonizzanti, con conseguente perdite di azoto tramite volatilizzazione di  $NO_3$ .

Tuttavia, quest'ultima determina l'impatto olfattivo sgradevole nelle emissioni gassose e, inoltre, un aumento dell'alcalinità. In tali circostanze si rende quindi necessaria la miscelazione con composti acidificanti (es. residui vegetali freschi). In Tabella 1.2 sono schematicamente riassunti i parametri fin qui elencati con i range ottimali di valori:

*Tabella 1.2: Parametri di processo con i relativi valori compatibili ed ottimali*

*Fonte: [www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)*

Parametro	Intervallo di compatibilità	Intervallo ottimale <sup>(a)</sup>
Rapporto C/N	20:1 - 40:1	25:1 - 30:1
Umidità	45 - 65%	57 - 63%
Concentrazione di $O_2$	≥ 5%	≥ 10%
Dimensione delle particelle (Ø cm)	0,5 - 5,0	variabile <sup>(b)</sup>
pH	5,5 - 9,0	6,5 - 8,5
Temperatura di processo (°C)	25 - 70	35 - 60
Densità apparente (kg/m <sup>3</sup> )	≤ 750	≤ 650

Ai fini quindi di ottenere un prodotto finale di qualità, che quindi rispetti tutti i vari parametri fin qui elencati, nella preparazione della matrice in ingresso al processo di compostaggio vengono generalmente miscelate tre componenti: il substrato principale, un eventuale correttivo o additivo che

funge da bilanciatore dei parametri e un agente di supporto ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

In genere, i materiali e i quantitativi da aggiungere per la composizione ottimale della miscela iniziale vengono definiti in base alle caratteristiche del substrato principale. Viene considerato come correttivo qualsiasi materiale che, aggiunto in piccola quantità rispetto al substrato principale, serve per integrare elementi nutritivi scarsi o addirittura assenti (soprattutto azoto). L'agente di supporto invece è un materiale ligneo-cellulosico, che in genere è refrattario alla biodegradazione, la cui funzione è quella di fornire struttura e porosità; spesso, inoltre, l'agente di supporto svolge anche il compito di mitigare e controllare l'umidità del substrato principale. In quest'ultimo caso, quindi, esso funge anche da agente correttivo. Alla fine del processo di compostaggio, l'agente di supporto che sarà scarsamente degradato, può essere separato tramite vagliatura dal substrato stabilizzato ed essere riutilizzato per la composizione di una nuova miscela ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

Durante la maturazione del compost le sostanze umiche, che rappresentano l'evoluzione della sostanza organica, aumentano sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo; valutare dunque le diverse frazioni di composti umici con diverso peso molecolare e il rapporto esistente tra essi sono importanti indici che quantificano l'evoluzione del processo di compostaggio. Oltre ai parametri chimico-fisici elencati in precedenza, l'andamento del processo e la qualità del prodotto finale dipendono da ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)):

- **saggio di fitotossicità**, che quantifica la presenza di sostanze minerali ed organiche che inibiscono la crescita dei microrganismi e la cui presenza determina un'insufficiente maturazione del compost;
- **saggio di mineralizzazione dell'azoto**, che indica il rapporto tra azoto organico e azoto minerale, rapporto che raggiunge una situazione di stabilità quando il prodotto è maturo;
- **saggio di respirazione**, che serve per valutare l'intensità dell'attività microbica e diminuisce gradualmente all'aumentare della maturazione del materiale;
- **agenti patogeni**, spesso presenti nelle matrici di partenza e che vengono eliminati durante il processo di compostaggio a causa delle elevate temperature raggiunte durante la prima fase.

Il processo di compostaggio svolge oggi un'importante funzione ecologico-ambientale, perché trasforma le biomasse provenienti dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (RSU) e dall'attività agricola e agro-industriale in un prodotto usato come fertilizzante nella coltivazione di terreni agricoli, poiché donatore di nutrienti e miglioratore delle caratteristiche strutturali del terreno.

Le matrici compostabili devono quindi contenere composti facili da degradare, per garantire nutrimento ai microrganismi coinvolti nella trasformazione. L'input ottimale nel processo di compostaggio è pertanto costituito da matrici organiche naturali con un basso contenuto di sostanze potenzialmente inquinanti.

È utile quindi disporre di informazioni sulle caratteristiche quali-quantitative delle varie tipologie di substrati organici utilizzabili, e sulla disponibilità di biomassa; parliamo ad esempio di ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)):

- **scarti vegetali**, come ad esempio i residui e/o sottoprodotti delle produzioni agricole, o anche derivanti da attività di produzione di vegetali orticoli, frutticoli o viticoli;
- **Frazione Organica dei Rifiuti Solidi Urbani (FORSU)**;
- **fanghi di depurazione** agroalimentari e/o urbani.

Aspetti negativi legati all'impiego delle matrici compostabili sono l'eventuale contaminazione da inerti (plastiche, vetro, ecc.) o da sostanze pericolose come metalli pesanti.

Le caratteristiche, granulometriche e merceologiche, delle diverse tipologie di substrati compostabili definiscono le varie opportunità di recupero attraverso il processo di compostaggio, oltre che la qualità del prodotto finale. Il risultato del processo di compostaggio dipende quindi da una corretta composizione iniziale dei substrati organici in ingresso e dal mantenimento delle condizioni ottimali di processo ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)).

### 1.3 La microbiologia del processo

I microrganismi naturalmente presenti nella matrice organica sono i protagonisti del processo di compostaggio e pertanto è di fondamentale importanza conoscere i vari gruppi microbici coinvolti e il loro ruolo. Come ampiamente descritto nel paragrafo 1.1, il compostaggio è un processo dinamico che evolve in fasi consecutive tra loro, nelle quali possono variare i parametri di processo fin qui descritti; questo genera di conseguenza una evoluzione nella comunità microbica che, fase dopo fase, vede coinvolta una specie piuttosto che un'altra ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)).

I microrganismi che operano nel processo di compostaggio possono quindi essere classificati in relazione alle diverse temperature che si instaurano nelle varie fasi del processo. Si distinguono tre classi:

- microrganismi psicrofili;
- microrganismi mesofili;
- microrganismi termofili.

Nella Tabella 1.3 sono indicati i regimi termici e le relative tipologie di microrganismi:

*Tabella 1.3: Microrganismi coinvolti al variare della temperatura di processo*

*Fonte: [www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)*

<b>Tipo di microrganismi</b>	<b>intervallo di temperatura (°C)</b>
Psicrofili	0 - 30
Mesofili	30 - 45
Termofili	45 - 75
Termofili estremi	75 - 90

Le principali famiglie di microrganismi che partecipano al processo sono: batteri, funghi, alghe e protozoi; in termini numerici i batteri rappresentano la parte preponderante, poiché risultano essere circa cento volte superiori alle altre famiglie di microrganismi. I batteri sono, quindi, la popolazione dominante l'intero processo, mentre funghi e attinomiceti generalmente si manifestano negli stadi più avanzati (cioè con condizioni prossime alla mesofilia).

#### **1.4 Metodi di compostaggio**

Oggigiorno sono numerosi i metodi di compostaggio utilizzabili, la cui scelta dipende da una serie concomitante di fattori; tra tutti, un ruolo di primo piano nella scelta del sistema da usare è rappresentato dal tipo di matrici organiche da trattare. Ad influenzare la scelta del metodo da utilizzare fattori importanti sono anche la quantità di rifiuto da trattare e stabilizzare, la disponibilità di spazio per la realizzazione dell'impianto di trattamento, l'entità dell'investimento necessario per le strutture ed i macchinari, l'incidenza della manodopera ed una molteplicità di considerazioni aggiuntive di natura ambientale, infrastrutturale e sociale. Sulla base di quanto detto, non è possibile definire a priori quale metodo di compostaggio sia più idoneo alle esigenze di un contesto specifico; tuttavia, anche se l'obiettivo di un corretto trattamento aerobico dei rifiuti organici può essere ottenuto mediante differenti strategie impiantistiche, è opportuno elencare e tenere ben presenti quelli che sono i limiti specifici di ciascuna soluzione impiantistica, evitando quindi l'adozione di metodi non appropriati. Come descritto nel paragrafo 1.1,

il requisito fondamentale per garantire un processo di degradazione rapido ed efficiente consiste nel mantenere costante la quantità di ossigeno presente nelle matrici che vengono trattate; di conseguenza, nelle diverse soluzioni operative, il metodo adottato determina il modo con cui la suddetta esigenza viene soddisfatta e, di conseguenza, finisce con l'influenzare altri aspetti importanti come il controllo della temperatura, il tempo necessario alla stabilizzazione delle matrici coinvolte, la movimentazione del materiale in trasformazione ed il controllo delle emissioni maleodoranti. Nel panorama tecnologico, esistono essenzialmente tre metodi generali di compostaggio ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)):

- a) il compostaggio in cumuli periodicamente rivoltati;
- b) il compostaggio in cumuli statici aerati;
- c) il compostaggio in bioreattori.

Esiste anche il compostaggio passivo, il quale però non è rilevante da un punto di vista tecnologico, poiché propone semplicemente di porre la matrice organica putrescibile al suolo, così da essere lasciata indisturbata per lunghi periodi (molti mesi), senza condizionare in alcun modo le reazioni di degradazione e le trasformazioni che si instaurano.

### 1.4.1 Il compostaggio in cumuli periodicamente rivoltati

Seguendo questo metodo, il processo di compostaggio viene svolto disponendo la matrice di partenza in andane (*windrows*), in genere a sezione triangolare o trapezoidale, le quali sono rivoltate periodicamente.



*Figura 1.4: Compostaggio con andane disposte per il rivoltamento*

*Fonte: [www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)*

L'altezza di questi sistemi varia a seconda delle caratteristiche fisiche del substrato e alla tipologia di macchina movimentatrice utilizzata: matrici molto dense, come ad esempio le deiezioni animali che generalmente tendono a compattarsi, devono essere posizionate in andane di 1,2-1,5 m, mentre con materiali piuttosto soffici, come possono essere i fanghi di depurazione, si possono fare andane di 2-3 m o anche più alte (questo perché le più comuni pale meccaniche riescono a lavorare anche su andane alte). Con questa soluzione, il ricambio d'aria all'interno del sistema dipende molto dalla

porosità del materiale che costituisce il cumulo. Infatti, cumuli troppo grandi possono in genere compattarsi, con il conseguente rischio di instaurazione di reazioni anaerobiche al centro; d'altra parte, però, andane di dimensioni modeste tendono a perdere calore troppo rapidamente e, di conseguenza, le temperature necessarie per il proseguimento del processo non vengono raggiunte. Il rivoltamento consente inoltre da un lato il rimescolamento dei materiali e dall'altro di ridurre le dimensioni, con un aumento quindi della superficie disponibile per l'attacco da parte dei microorganismi. Sebbene le andane, a seguito del rivoltamento, vengano aerate, l'ossigeno fornito grazie alla movimentazione del materiale viene consumato rapidamente dai microorganismi e, per questo, tramite il rivoltamento del cumulo si ottiene una variazione ciclica, all'interno del sistema, della concentrazione di ossigeno; di conseguenza essa diventa un fattore limitante tra una movimentazione e l'altra, proprio perché l'ossidazione biologica non può essere mantenuta alla massima efficienza in modo costante. La frequenza con cui vengono effettuati tali rivoltamenti dipende quindi innanzitutto dal tipo di substrato, e quindi dallo specifico tasso di decomposizione; altri parametri caratteristici sono poi l'umidità e la porosità del substrato. Dal momento che, come ampiamente spiegato nel paragrafo 1.1, il tasso di degradazione è molto alto negli stadi iniziali, la frequenza dei rivoltamenti generalmente diminuisce con l'avanzare delle varie fasi; infatti, negli stadi più avanzati, la frequenza delle movimentazioni può essere ridotta fino ad un rivoltamento a settimana. A seguito dell'adozione di tale metodo, la fase attiva del processo dura, in genere, da tre a nove settimane, in base alla tipologia di substrato e della frequenza delle movimentazioni ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)). Per quanto riguarda quindi la scelta delle macchine destinate al rivoltamento,

si deve tener conto non solo della quantità di materiale da trattare, ma anche della forma e delle dimensioni dei cumuli che costituiranno le andane.

### **1.4.2 Compostaggio in cumuli statici aerati**

Il metodo dei cumuli statici aerati, rispetto al precedente, non prevede la movimentazione del materiale, poiché l'ossigeno viene fornito attraverso appositi sistemi di tubazioni che lo diffondono all'interno del cumulo; questi apparati consentono inoltre un maggiore controllo del processo e, quindi, dei parametri ottimali, rispetto al metodo dei cumuli rivoltati. L'apporto di ossigeno all'interno del sistema può in genere essere effettuato in due modi: sfruttando l'aerazione passiva del cumulo o attraverso insufflazione forzata di aria ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

Nel caso di cumuli con aerazione passiva, il trasporto di aria all'interno della matrice in trasformazione si ottiene tramite un sistema di tubi bucherellati, che passano quindi all'interno del substrato e le cui estremità terminano fuori dal cumulo; l'aria quindi passa all'interno dei tubi e tramite i fori aperti presenti lungo la tubazione diffonde lungo tutto il profilo del cumulo, che in genere non supera l'1-1.2 m di altezza, per poi essere ricoperto con uno strato di 10 cm costituito generalmente da compost maturo o paglia allo scopo di assorbire le emissioni maleodoranti.

Per questa ragione tale metodo risulta essere particolarmente interessante nel caso di residui generati da industrie conserviere, spesso caratterizzati da un forte impatto olfattivo.

Per quanto riguarda invece la tecnica dei cumuli statici con aerazione forzata, viene in genere usato un apparato con cui l'aria viene forzata a fluire all'interno del cumulo in compostaggio; il rifornimento di aria alla matrice in trasformazione può essere eseguito in due modi, ovvero tramite aspirazione di aria dalla superficie del sistema oppure con insufflazione forzata. Usando quindi la tecnica dei cumuli aerati forzatamente, i substrati di partenza sono sistemati in cumuli sopra una platea, in genere ricoperta da uno strato di scaglie di legno che ospita il sistema di tubi per l'aerazione, opportunamente bucherellati. Tale sistema di tubazioni è poi connesso ad un ventilatore che ha la funzione di spingere l'aria attraverso la matrice organica; affinché si abbia una uniforme diffusione dell'aria nel cumulo, esso non deve superare i 2,5 m in altezza. Nel caso di cumuli "aspirati", si crea una depressione sfruttando i tubi posizionati sulla platea, i quali anche in questo caso sono poi connessi ad un ventilatore che, in tal caso, funge da aspiratore. L'aria viene quindi richiamata nel substrato passando per la superficie esterna, attraversa il profilo del cumulo e, al fondo, viene drenata da tubi dotati di fori; l'aria esausta viene poi successivamente veicolata all'esterno tramite un tubo di raccordo principale che permette il passaggio dell'aria all'interno di un sistema filtrante, per poi connettersi con l'aspiratore: ciò permette di abbattere eventuali emissioni maleodoranti. Tale sistema, detto anche BELTSVILLE presenta comunque alcuni inconvenienti riguardanti il controllo dei parametri di processo (EPSTEIN *et al.*, 1976): il passaggio di aria fredda dall'atmosfera all'interno del substrato determina il fatto che, nella zona centrale dei cumuli, si concentri molto il vapore acqueo. Ciò comporta, in primo luogo, la formazione di ristagni d'acqua che, andando ad occupare i pori, possono limitare la diffusione dell'ossigeno e la conseguente insorgenza di condizioni

anaerobiche nella matrice. Inoltre, ciò comporta una minore dissipazione del calore e, di conseguenza, un non corretto controllo della temperatura. Nel caso invece del sistema di aerazione forzata tramite insufflazione, il ventilatore funziona come un soffiante, inducendo quindi una pressione positiva dentro la matrice; così facendo, l'aria esausta viene spinta all'esterno del substrato e rimpiazzata da quella diffusa all'interno del substrato grazie al sistema di tubi alla base del cumulo. In generale, il sistema di biostabilizzazione tramite aerazione forzata per insufflazione rappresenta, tra le varie alternative di compostaggio in cumuli, la tecnica migliore per la gestione del processo. Infatti, l'insufflazione, rende migliore e più agevole il controllo della temperatura, parametro principale poiché condiziona l'intero processo metabolico dei microorganismi.

In Figura 1.5 viene riportato un esempio di sistema ad insufflazione forzata di aria:



*Figura 1.5: Soffiante per il compostaggio con cumuli aerati per insufflazione.*

*Fonte: [www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)*

### 1.4.3 Compostaggio in bioreattori

Parliamo della stabilizzazione della biomassa all'interno di particolari strutture dove vengono combinate tecniche di movimentazione e aerazione forzata; questi bioreattori possono essere sistemi chiusi o anche semplici vasche aperte. Generalmente però, tale sistema consente solo una prima parziale omogeneizzazione delle matrici organiche in trasformazione. Infatti, la vera e propria biostabilizzazione aerobica avviene, di solito, tramite uno dei sistemi in cumulo precedentemente descritti. I più diffusi sistemi di bioreattori sono:

- i cilindri rotanti;
- i silos;
- le biocelle;
- le trincee dinamiche aerate.

I cilindri rotanti sono grandi sistemi disposti in posizione orizzontale e sistemati su speciali ingranaggi che consentono un lento movimento rotatorio. In generale, la matrice organica viene inserita nel sistema attraverso una tramoggia e, a seguito di questo movimento rotatorio ottenuto tramite gli ingranaggi alla base, viene miscelata e spinta lungo tutta la lunghezza del cilindro; dopodiché viene scaricata dall'estremità opposta a quella di carico. Tipicamente tale sistema cilindrico ha una lunghezza di 35 metri ed un diametro di 3 metri; le suddette misure consentono di trattare giornalmente una quantità di rifiuti dell'ordine di 50 tonnellate, con tempi di residenza di tre giorni, i quali possono variare a seconda della velocità di rotazione del

sistema e alla sua inclinazione. L'aria viene inserita nel sistema dall'estremità di scarico della matrice e, pertanto, si muove nel cilindro in controcorrente rispetto alla direzione di avanzamento del materiale. Questi sistemi sono tuttavia costosi e, in generale, non portano ad alcun miglioramento significativo del processo, poiché per larga parte esso viene condotto all'esterno del bioreattore. Per quanto riguarda invece *i silos*, essi sono reattori cilindrici, posizionati verticalmente e, di solito, completamente chiusi, in cui l'aerazione è attuata da un sistema di diffusori posti sul fondo del silo, consentendo così all'aria di passare lungo tutto il profilo del materiale. Una volta arrivata in cima al reattore, l'aria esausta viene fatta convogliare in un filtro necessario per l'abbattimento degli odori. Il tempo di residenza all'interno dei silos è normalmente di circa due settimane; una volta estratta dai silos, la matrice passa alla fase di stabilizzazione in cumulo. Tale metodo presenta tuttavia delle criticità, come ad esempio la tendenza del substrato a compattarsi, con conseguente difficoltà nell'aerazione uniforme del cumulo. Altro fattore limitante può essere la condensazione del vapore sulle pareti fredde del reattore, che può ostacolare la progressiva perdita di umidità. Tutto ciò può quindi limitare il proseguimento delle reazioni aerobiche e rendere di conseguenza difficile il controllo della temperatura; in generale quindi i silos vengono utilizzati nel caso di compostaggio di sostanze organiche soffici e ben strutturate. Altro sistema è quello delle *biocelle*; tale metodo rappresenta, un sistema statico e, perciò, richiede una minuziosa preparazione dei substrati da miscelare, sia in termini di apporto complessivo di nutrienti, sia, soprattutto, in termini di porosità e resistenza al compattamento.

L'intero ciclo di trattamento richiede in genere 9-10 settimane; inoltre, come tutti i processi di compostaggio svolti in reattori chiusi, anche le biocelle offrono sia la possibilità di controllare le emissioni tramite l'utilizzo di biofiltri per il trattamento dell'aria, sia di gestire in maniera corretta e razionale il percolato. Ultimo sistema, infine, è quello delle *trincee dinamiche aerate*; questi sistemi combinano le tecniche di aerazione controllata del substrato e il periodico rivoltamento dello stesso. Il processo di compostaggio avviene in strette corsie (trincee), delimitate le une dalle altre tramite pareti che corrono lungo l'asse longitudinale; sul culmine di ogni parete si ha una rotaia che consente il movimento di una macchina rivoltatrice, la quale si trova quindi a cavallo di ogni corsia. In un tipico sistema a trincea quindi, il substrato è alimentato da una estremità della corsia, la macchina rivoltatrice si muove sulle rotaie e, di conseguenza, la matrice viene rivoltata per poi essere scaricata alle spalle della macchina, che ha quindi la funzione di miscelare i substrati in trasformazione, favorendone quindi l'omogeneizzazione e incrementandone il rilascio di vapore acqueo e calore. Sul pavimento delle trincee invece, corrono in senso longitudinale le canalette per l'iniezione dell'aria, connesse ad una serie di soffianti. Poiché, lungo una stessa corsia, il substrato si può trovare in stadi diversi di maturazione, essa viene generalmente suddivisa in sezioni, e a ciascuna può essere fornita una quantità d'aria diversa dalle altre. In base alle caratteristiche della biomassa utilizzata, i tempi di ritenzione all'interno delle trincee variano (3-5 settimane), dopodiché il materiale viene avviato alla fase di maturazione. Questa tipologia di bioreattori risulta essere particolarmente efficace per la produzione di compost di alta qualità quando abbiamo a che fare con il

trattamento di biomasse molto umide come, ad esempio, i rifiuti generati dai mercati ortofrutticoli (VALLINI *et al.*, 1990; VALLINI *et al.*, 1993).

## Capitolo 2

### 2.1 Rifiuti organici e compost prodotti in UE

L'economia circolare europea e le conseguenti politiche comunitarie sui rifiuti ritengono “*quelli organici una tra le principali chiavi per una moderna gestione dei rifiuti*” ([www.snpambiente.it](http://www.snpambiente.it)). Proprio in virtù della loro importanza, è stato recentemente redatto un report “*THE CIRCULAR ECONOMY AND THE BIOECONOMY- PARTNERS IN SUSTAINABILITY* (EEA, 2018)”, pubblicato dall’Agenzia Europea per l’Ambiente (EEA), il quale va ad approfondire questo tema:

- spiega l’importanza strategica del trattamento dei rifiuti organici;
- offre una panoramica completa di quelli che sono gli attuali sistemi di gestione e raccolta dei rifiuti organici, elencando inoltre quelli che sono gli output derivanti dal loro corretto trattamento;
- focalizza l’attenzione sui rifiuti di origine alimentare, con un occhio di riguardo sulle politiche e sulle misure necessarie per ridurne al minimo la produzione;
- fa il punto della situazione sulla produzione e gestione del compost e del digestato;
- è finalizzato all’innovazione e alla ricerca di metodi sempre più all’avanguardia per valorizzare i rifiuti e trasformarli in nuovi prodotti.

I rifiuti organici rappresentano infatti più del 34% del totale di rifiuti urbani prodotti, raggiungendo, nel 2017, 86 milioni di tonnellate nell’UE

(EUROSTAT, 2019). Partendo da questo dato, è facile comprendere il motivo per cui trovare un modo per riciclare i rifiuti organici costituisce un punto fondamentale per il raggiungimento dell'obiettivo posto dall'UE, ovvero quello di “raggiungere il 65% di riciclo dei rifiuti urbani entro il 2035” (*Waste Framework Directive (WFD)*, 2018). Inoltre, la corretta gestione dei rifiuti organici consentirà di dimezzare la quantità di rifiuti urbani prodotta entro il 2030 (questo perché una buona parte è spesso costituita da rifiuti organici non differenziati); secondo Eurostat, infatti, nel 2019 la quantità di rifiuti pro-capite prodotta è stata di oltre mezza tonnellata, dato più alto dell'ultimo decennio ([www.confservizi.emr.it](http://www.confservizi.emr.it)). Tale crescita risulta essere stabile in molti paesi UE: nel 2019 la Danimarca ha prodotto il maggior volume di rifiuti di tutta l'Europa (844 kg) e lo stesso dicasi per Norvegia (776 kg), Svizzera (709 kg) e Lussemburgo (791 kg). La Germania occupa, in questa triste classifica, il settimo posto (609 kg); in decima posizione la Francia (546 kg), alla quale seguono poi Grecia (524 kg), Portogallo (513 kg) e Olanda (508 kg). Anche l'Italia dimostra una lieve crescita (504 kg) posizionandosi al quattordicesimo posto, mentre Paesi più virtuosi risultano essere Polonia (336kg), Estonia (369 kg), e Ungheria (387 kg) ([www.confservizi.emr.it](http://www.confservizi.emr.it)). Per quanto riguarda i dati su riciclo e compostaggio essi dimostrano come, nel periodo 1995-2019, sono stati dimezzati i quantitativi di rifiuti smaltiti in discarica, e addirittura triplicati i rifiuti riciclati, che sono passati da 37 milioni di tonnellate (circa 87 kg per persona) a 107 milioni di tonnellate (ovvero 239 kg a persona), tutto ciò grazie ad una migliore gestione della raccolta differenziata, all'innovazione tecnologica dei processi produttivi e di trattamento, così come anche grazie alla sempre maggiore consapevolezza dei cittadini sull'importanza della

raccolta differenziata e del recupero dei rifiuti organici. Per raggiungere quindi gli obiettivi contenuti all'interno dell'Action Plan sull'economia circolare dell'Unione Europea, è necessario che gli amministratori delle varie nazioni, ma anche quelli a livello regionale e locale, prendano importanti decisioni per una corretta gestione di questa tipologia di rifiuti. Tuttavia ad oggi il livello di raccolta differenziata e, nello specifico, di raccolta dei rifiuti organici, differisce in modo considerevole da un paese all'altro: ciò dipende sicuramente dal fatto che non tutti i paesi producono la stessa quantità di rifiuti, ma oltre ciò la principale problematica riguarda il fatto che non esistono delle linee guida unitarie a cui i vari stati membri debbano allinearsi, ma viene lasciata ampia discrezionalità sui sistemi e i metodi di gestione da adottare. In Figura 2.1 e Figura 2.2 viene riportato uno schema sulla situazione europea riguardante la produzione di rifiuti organici:

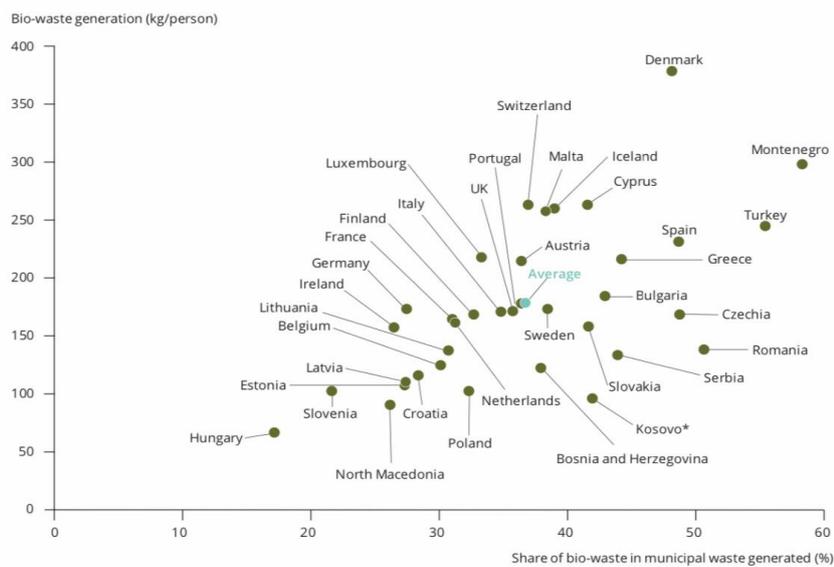


Figura 2.1: Produzione pro-capite di rifiuti organici su scala comunitaria (www.snpambiente.it)

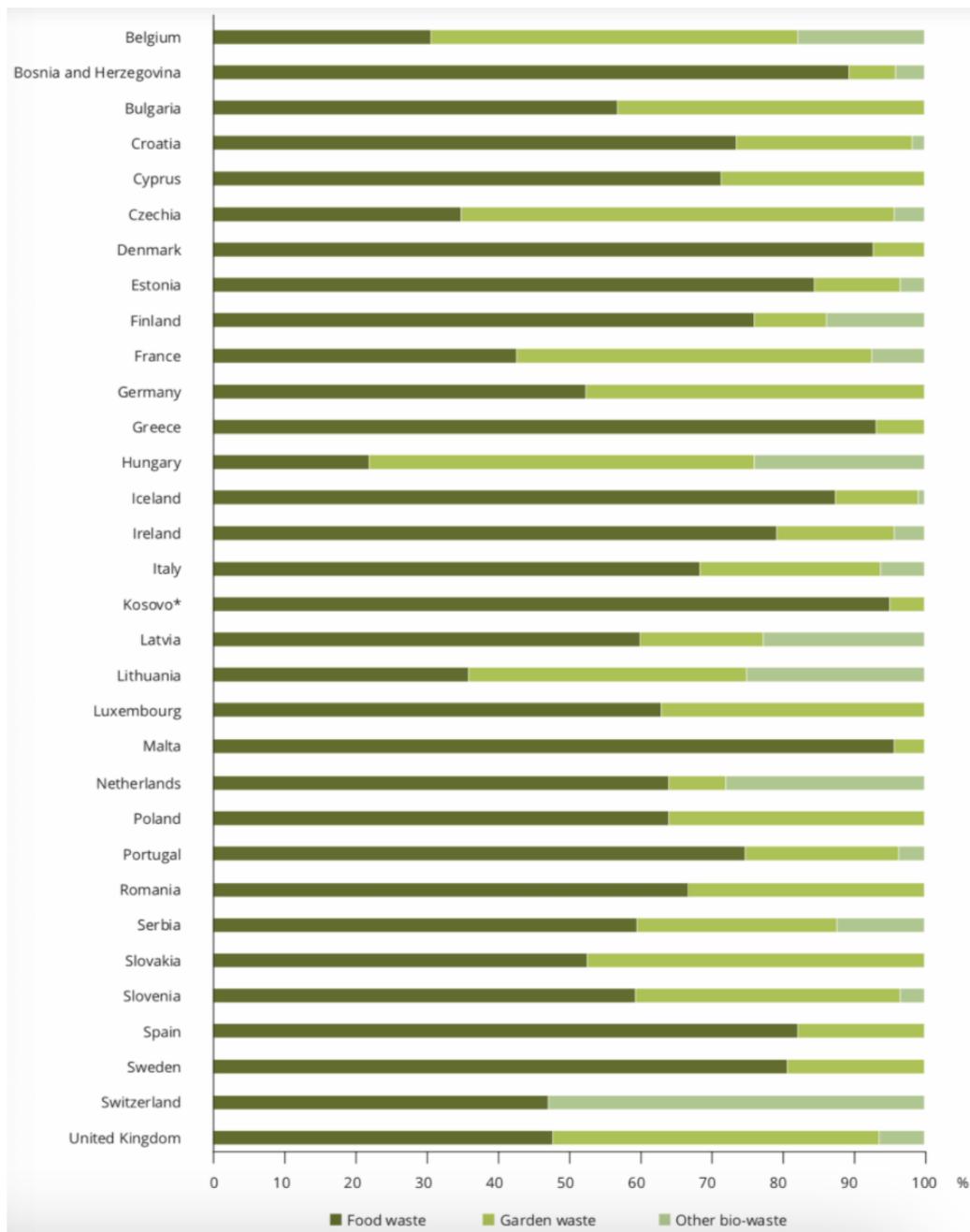


Figura 2.2: Composizione dei rifiuti organici dei 32 paesi membri dell'EEA, 2017 (www.snpambiente.it)

Per superare queste differenze è dunque necessaria una politica europea sui rifiuti coordinata, che comprenda anche quelle che possono essere le migliori strategie per la gestione dei rifiuti organici, insieme a quelle volte al raggiungimento di un'economia di tipo "circolare". In particolare, può essere necessario puntare su ([www.snpambiente.it](http://www.snpambiente.it)):

- il principio di pagare in base a quanti rifiuti vengono prodotti;
- incentivi economici che spingano a differenziare i rifiuti organici dagli altri;
- consapevolezza e corretta informazione;
- migliorare la capacità di trattare i rifiuti organici in modo differenziato

Ad oggi, il compostaggio aerobico e la digestione anaerobica sono le due tecniche principalmente utilizzate per il recupero dei rifiuti organici; tuttavia, per creare un mercato per compost e digestato è necessario che essi siano di alta qualità, così come anche di alta qualità devono essere i processi produttivi svolti, in modo da stimolare il consumatore finale al loro acquisto, e questo può essere ottenuto solo se a monte di tali processi di trattamento della sostanza organica si ha una corretta raccolta differenziata dei rifiuti. Tra i paesi coinvolti da questo report, 24 di essi hanno già definito o stanno sviluppando degli standard nazionali per il compost di qualità; inoltre, 12 di questi hanno già un sistema completo di gestione e schemi di garanzia del processo.

## **2.2 Produzione di compost in Italia**

I dati riguardanti i quantitativi di rifiuti organici trattati in impianti di compostaggio, nel periodo che va dal 1993 al 2004, indicano un picco, nel 2002, di 2.824.000 tonnellate, mentre nel 2004 i rifiuti trattati sono stati 2.669.000 tonnellate, con una quantità di frazione organica recuperata pari a 1.958.000 tonnellate. Sempre con riferimento al 2004, l'incidenza percentuale indica che il 5,4% dei rifiuti raccolti è stato trattato facendo ricorso al compostaggio. I dati del 2004 dimostrano inoltre che, con riferimento ai substrati di partenza utilizzati per compostaggio, il 39% del compost prodotto è ottenuto partendo dall'umido, il 34% da sfalci e potature, il 17% da fanghi di depurazione e il 10% rimanente da altre biomasse (*www.regione.piemonte.it*)

### **2.2.1 Il Consorzio Italiano Compostatori (CIC)**

In Italia, il settore del compostaggio è rappresentato dal Consorzio Italiano Compostatori (CIC), organizzazione senza scopi di lucro che raggruppa in sé tutte le principali aziende del settore; il CIC fornisce innanzitutto assistenza tecnica alle aziende ed è il promotore di numerose iniziative per un continuo sviluppo del compostaggio, necessario per tenere il passo con la continua evoluzione del contesto normativo, tecnologico ed economico europeo.

Tra le proprie attività, il CIC attesta la qualità del compost ottenuto da alcune aziende che, del tutto volontariamente, si sottopongono ad un programma di controllo; inoltre, esso è supportato da un Comitato Tecnico Scientifico, i cui

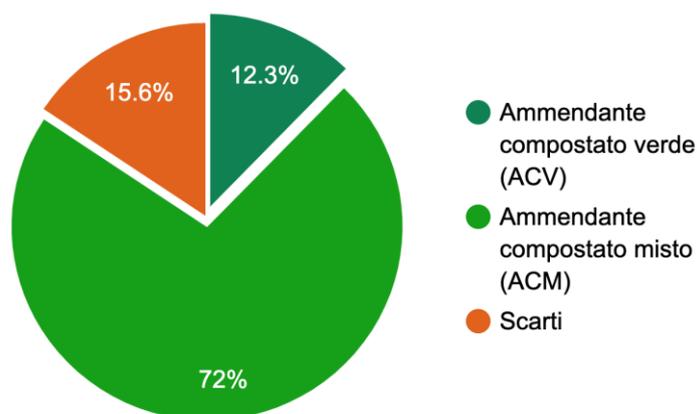
membri sono tra i maggiori esperti del settore, e che, inoltre, aggiorna continuamente i suoi parametri per essere al passo con lo sviluppo tecnologico e legislativo mondiale e comunitario.

Il Consorzio promuove anche attività di ricerca con lo scopo di sperimentare nuove tecniche di trattamento e nuove metodologie di laboratorio per l'analisi della qualità del prodotto finale: infatti, ogni prodotto su cui si vuole apporre il marchio "Compost di qualità CIC" viene esaminato valutando la qualità delle frazioni organiche in ingresso, le diverse operazioni meccaniche di trasformazione eseguite e le conseguenti caratteristiche biochimiche ed agronomiche del compost ottenuto. Inoltre, il CIC intende anche migliorare un aspetto che ad oggi non è sviluppato a pieno, ovvero l'incontro tra domanda e offerta, soprattutto diffondendo la conoscenza sulla qualità del prodotto e sui benefici legati al suo utilizzo verso quelli che possono essere i potenziali utilizzatori, consolidando quindi il concetto di "*qualificazione agronomica delle iniziative di compostaggio*".

### **2.3 Produzione di compost in Piemonte**

In Piemonte, i rifiuti organici destinati al compostaggio (e quindi non smaltiti in discarica) erano circa 170.000 t/anno (1998). Inoltre, nel 2003 erano attivi 47 impianti che, complessivamente, trattavano 352.000 t/anno, contro però una potenzialità superiore alle 589.000 t/anno ([www.regione.piemonte.it](http://www.regione.piemonte.it)). Gli ultimi dati sulla regione Piemonte (2019), riportati sul sito del catasto dei rifiuti, dimostrano che ([www.catasto-rifiuti.isprambiente.it](http://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it)):

- Quantità totale autorizzata: **422.899** tonnellate;
- Ammendante compostato verde prodotto nell'anno: **16.409** tonnellate;
- Ammendante compostato misto prodotto nell'anno: **96.044** tonnellate;
- Altri ammendanti prodotti nell'anno: tonnellate;
- Scarti: **20.864** tonnellate.



*Figura 2.3: Quantità percentuale delle varie tipologie di compost prodotto in Piemonte  
Fonte: [www.catasto-rifiuti.isprambiente.it](http://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it)*

Di seguito, in Tabella 2.1, vengono riportati quelli che sono quindi i substrati in genere utilizzati, e le relative quantità, per la produzione di compost negli impianti della regione Piemonte, mentre in Figura 2.4 i quantitativi in percentuale:

Tabella 2.1: Dati quantitativi sui substrati usati nel compostaggio in Piemonte  
 Fonte: [www.catasto-rifiuti.isprambiente.it](http://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it)

Regione	Frazione organica (t)	Verde (t)	Tot. RU (t)	Fanghi (t)	Altro (t)	Totale (t)
Piemonte	62.193,0	130.319,0	<b>192.512,0</b>	48.307,0	26.651,0	<b>267.470</b>

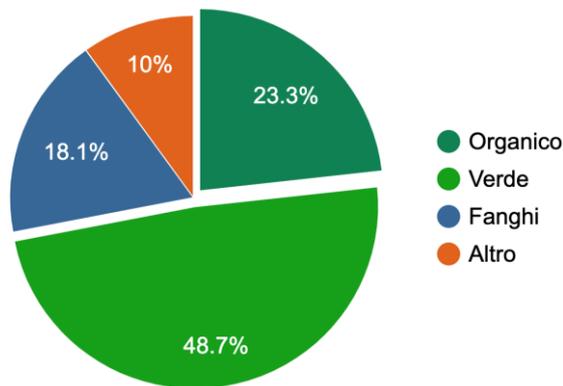


Figura 2.4: Composizione percentuale dei substrati usati per compostaggio  
 Fonte: [www.catasto-rifiuti.isprambiente.it](http://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it)

Come detto in precedenza, migliorare il sistema di raccolta differenziata, la contestuale innovazione dei processi produttivi a seguito dello sviluppo tecnologico e la crescente consapevolezza dei cittadini hanno contribuito significativamente a questo risultato; tuttavia, per un cambio di rotta decisivo è necessaria una strategia comunitaria unica, così come l'adozione di modelli, ad esempio quello dell'economia circolare, che riescano a ridurre la quantità di rifiuti prodotti.

## Capitolo 3

### 3.1 Generalità su aspetti normativi

Il compostaggio controllato rappresenta una tipologia di processo produttivo che ha impatti su diverse componenti socio-ambientali e, pertanto, è regolato da normative riguardanti diversi settori. Il compostaggio, come detto ampiamente descritto nel paragrafo 1.1, è un processo che permette di ottenere, utilizzando rifiuti organici selezionati a monte del processo, un ammendante compostato di validità agronomica, ovvero il compost. Inoltre, ad oggi, esso ricopre un ruolo di fondamentale importanza non solo nell'ambito delle strategie di gestione rifiuti, ma anche per la salvaguardia dell'ambiente, con una particolare attenzione per il suolo e sottosuolo. A monte quindi di un processo di compostaggio è indispensabile sviluppare un sistema di gestione dei rifiuti che miri, tramite il riutilizzo e/o riciclaggio, al recupero di materia ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)). In quest'ottica si è quindi sviluppata negli anni una strategia il cui obiettivo è quello della gestione integrata dei rifiuti; in particolare, sono state definite, all'interno della Direttiva 2008/98/CE tutta una serie di azioni da intraprendere seguendo un preciso ordine di priorità:

- prevenzione (riduzione della produzione di rifiuti);
- preparazione per il riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di materia ed energia;
- smaltimento finale in discarica.

Il raggiungimento degli obiettivi prefissati, quali la raccolta differenziata e la conseguente riduzione dei Rifiuti Urbani Biodegradabili avviati a smaltimento in discarica è possibile solo tramite la raccolta separata della frazione organica, funzionale alla filiera del compostaggio.

### 3.2 Normativa comunitaria

Nell'ambito della politica ambientale europea particolare attenzione è stata riservata negli anni allo sviluppo di una regolamentazione in materia di gestione dei rifiuti, come riportato in Figura 3.1:

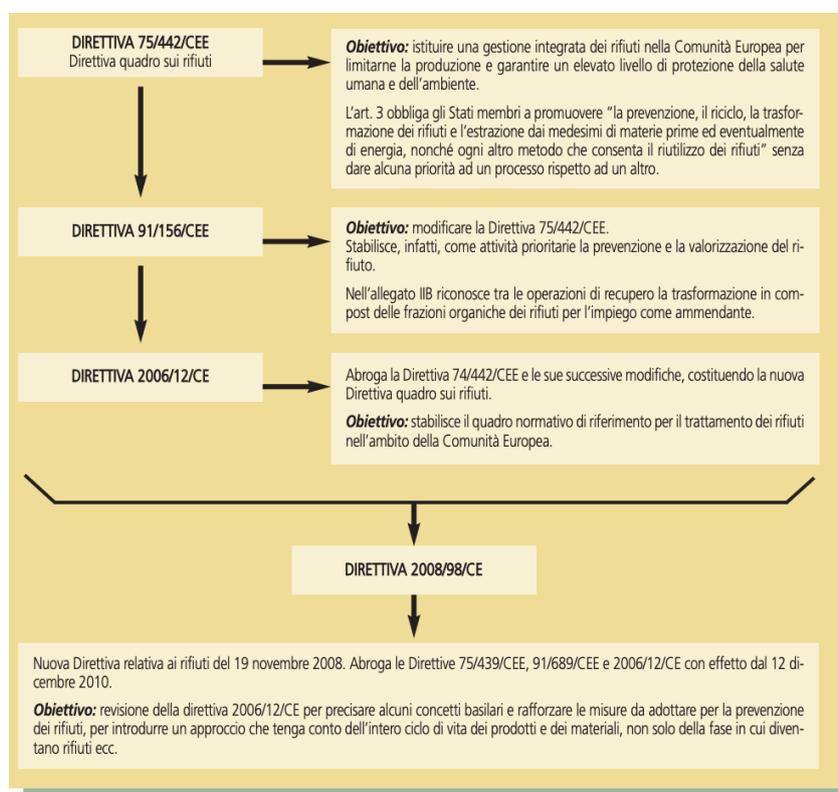


Figura 3.1: Evoluzione della direttiva quadro sui rifiuti ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org))

Criteri quindi come ridurre la produzione di rifiuti, promuovere attività per il recupero di materia ed energia e tanti altri ancora devono essere il denominatore comune delle varie norme riguardanti i rifiuti, sia a livello comunitario che nazionale e/o regionale.

Tabella 3.1: Criteri specificati nelle diverse legislazioni (R.Vismara, C.Darriulat, 1994)

Fonte: <https://www.osti.gov>

Stato	definiz. legale del compost	numero di classe di qualità	metodo di produz. specificato	limiti per i metalli nel compost	limiti per qualità agronomiche del compost	metodi analitici	procedure di controllo di qualità
Austria	sì	3	no	sì	sì	sì	sì
Belgio	sì	2	sì	sì	sì	sì	?
Danimarca	sì	2	sì	sì	no	sì	sì
Finlandia	no	0	no	no	no	no	no
Francia	sì	2	sì	sì	sì	sì	sì
Germania	no*	3	no	sì	sì	sì	sì
Gran Bretagna	no	0	sì	no	no	no	no
Grecia	sì	1	no	no	no	no	no
Irlanda	no	0	no	no	no	no	no
Italia	sì	1	sì	sì	sì	sì	sì
Olanda	sì	3	no	sì	no	sì	?
Spagna	no	1	no	sì	sì	sì	no
Svezia	no	0	no	no	no	no	no
Svizzera	sì	1	no	sì	no	no	sì

Come si può notare nella Tabella 3.1 riportata sopra, nel 1994 tutti questi criteri non erano ancora stati specificati in modo chiaro e univoco dalle varie legislazioni nazionali e, anzi, ad ogni paese veniva lasciata ampia discrezionalità circa le decisioni e l'iter procedurale per la gestione dei rifiuti e, in particolare, per il compostaggio.

Infatti, la poca chiarezza sulla gerarchia delle operazioni da seguire in una corretta gestione dei rifiuti, così come riportato nella prima direttiva quadro

sui rifiuti - *Direttiva 75/442/CEE e ss.mm.ii* -, venne risolta solo nel 1996, quando il Parlamento Europeo emise una **Risoluzione di legge** nella quale venne specificato in modo chiaro e non fraintendibile l'ordine gerarchico delle attività e dei processi connessi al trattamento dei rifiuti.

All'interno di tale Risoluzione di legge, infatti, "*Il Parlamento) richiede al Consiglio e alla Commissione (...) di definire una strategia di gestione dei rifiuti appropriata e che sia in conformità con il principio dello sviluppo sostenibile (...) e che rispetti la gerarchia di prevenzione, riutilizzo, riciclaggio, recupero di materiali, recupero di energia e smaltimento finale in discarica*".

A rafforzare ciò, a seguito dell'emanazione della **Direttiva 99/31/CE sulle Discariche**, fu definito che in discarica debbano finire solo materiali non riciclabili, o comunque a basso contenuto di carbonio organico; ciò si traduce nel fatto che la Direttiva definiva riciclaggio e compostaggio come strategie di primaria importanza per la gestione dei rifiuti, dando quindi priorità al recupero di materia.

Sempre all'interno di tale direttiva, l'art.5 stabiliva che, entro e non oltre due anni dall'emanazione della Direttiva stessa, gli Stati membri dovevano elaborare specifiche strategie volte a minimizzare la quantità di rifiuti biodegradabili destinati allo smaltimento. Tuttavia, le modalità per il raggiungimento di tali obiettivi non vennero definite con rigidità ma venne lasciata ampia libertà agli Stati Membri sulla scelta dei sistemi di gestione da usare. In linea generale, tra le misure necessarie al contenimento della quantità di rifiuti biodegradabili conferiti in discarica furono indicati:

- la raccolta differenziata dei rifiuti biodegradabili;
- il riciclaggio;
- il recupero di materia e di energia (tramite compostaggio e digestione anaerobica);
- il trattamento dei rifiuti urbani residui (tramite il trattamento meccanico biologico e l'incenerimento).

Il compostaggio, dunque, gioca un ruolo fondamentale e di primo piano nella strategia comunitaria per una corretta gestione integrata dei rifiuti ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)).

L'evoluzione del quadro normativo comunitario mise poi in relazione i temi di recupero e gestione della sostanza organica e, quindi, dei rifiuti organici, con la tutela del suolo e dei terreni, oltre alle ampie tematiche sulla protezione del pianeta e sui cambiamenti climatici affrontati dal Protocollo di Kyoto (1997), il cui obiettivo era quello di ridurre l'emissione di gas ad effetto serra, come  $CO_2$  e  $CH_4$ , del 5% nel periodo 2008/2012 rispetto ai valori registrati nel 1990; il periodo di validità di tale protocollo fu prolungato, a seguito della Conferenza di Doha del 2012, fino al 2020 ponendo come nuovo obiettivo quello di ridurre l'emissione globale di gas serra del 20% rispetto al 1990. Il **VI Programma d'Azione Ambientale Comunitario** pubblicato il **24 gennaio 2001** impose che *“la frazione organica debba essere riciclata e rimessa, dopo un trattamento di compostaggio, nell'ambiente al fine di apportare sostanze utili al terreno”*.

In particolare, la **COM(2006)231 “Strategia tematica per la protezione del suolo”** individuò quelle che sono le “minacce” all'integrità del suolo come risorsa, tra le quali vengono menzionate l'erosione e la riduzione di sostanza organica presente nel terreno.

Tali “minacce” possono essere contenute scegliendo opportune tecniche colturali (la lavorazione minima o la non lavorazione, l’utilizzo delle rotazioni e/o la pratica del sovescio), così come anche aumentando il contenuto di carbonio nel suolo tramite l’utilizzo di ammendanti. La stessa Comunicazione sottolinea inoltre che *“non tutti i tipi di materia organica sono potenzialmente in grado di risolvere il problema; gli ammendanti organici del suolo come il letame e il compost e, in misura molto minore, i fanghi di depurazione e i liquami animali contengono materia organica stabile ed è proprio questa frazione stabile che contribuisce a costituire l’humus, che a sua volta migliora le caratteristiche del suolo”*. Inoltre, sempre all’interno di tale programma d’azione si trova anche la **Bozza di Direttiva sul Trattamento Biologico dei Rifiuti Biodegradabili** che propone una regolamentazione a sé e completa contenente tutte le linee guida necessarie per le attività di compostaggio ([www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)). Tale bozza redatta dalla Commissione Europea costituì il primo tentativo di definire una direttiva unica per il settore del compostaggio dal momento che, a livello comunitario, non esisteva ancora una direttiva specifica.

Andando quindi ad affrontare i collegamenti tra compost e tutela dei terreni, di importante valore strategico fu la Direttiva Nitrati (**Direttiva 91/676/CEE**) che ha dettato quelli che sono i principi fondamentali riguardanti le pratiche di fertilizzazione dei terreni coltivabili, con un occhio di riguardo sulla protezione e salvaguardia delle acque, superficiali e sotterranee, dall’inquinamento causato dai nitrati. A livello comunitario attualmente sono in vigore norme specifiche in merito agli SGA (Sistemi di Gestione Ambientale), come ad esempio il marchio di qualità ecologica Ecolabel, applicabile a diverse tipologie di prodotti, il quale costituisce un sistema

volontario di certificazione ambientale la cui procedura di assegnazione è sottoscritta all'interno del Regolamento 1980/2000/CE, il quale sostituì il Regolamento del Consiglio 880/92/CEE ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)). Tale regolamento stabilì che il marchio di qualità Ecolabel può essere assegnato a tutti quei prodotti che contribuiscono in modo significativo a risolvere problematiche ambientali di primaria importanza (articolo 3) e definisce anche i diversi criteri di assegnazione per le diverse tipologie di prodotti (articolo 4). Valutando quindi quelle che sono le procedure per la definizione dei criteri necessari all'assegnazione del marchio ecologico Ecolabel per ciascun gruppo di prodotti, previste e definite all'interno dell'articolo 6 del suddetto regolamento, sono state elaborate, con riferimento agli ammendanti del suolo ed i substrati di coltivazione, una serie di misure definite ed elencate all'interno della Decisione della Commissione 2001/688/CE. Con questa decisione furono definiti rispettivamente come ammendanti del suolo e substrati di coltivazione *“i materiali da aggiungere al suolo in situ per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche, chimiche e/o biologiche (articolo 1)”*. Tale decisione individua inoltre, all'interno dell'allegato 1, i criteri necessari ad un prodotto per ottenere il marchio di qualità ecologica; questa etichetta ecologica quindi garantisce, a livello europeo, che il prodotto su cui è applicata ha un ridotto impatto ambientale e consente quindi al consumatore di avere la certezza della conformità ai requisiti prestabiliti. Va comunque sottolineato ancora una volta che l'adesione al sistema Ecolabel è del tutto volontaria e che prodotti privi di tale certificazione non sono soggetti a penalizzazioni nel mercato comunitario.

### 3.3 Normativa nazionale

Il processo di compostaggio rappresenta per l'Italia un elemento fondamentale nella strategia della gestione integrata dei rifiuti, costituendo quindi il metodo più idoneo per il recupero di materia organica.

La produzione di compost, ed in particolare di compost di qualità ottenuto a partire da specifiche matrici selezionate a valle della raccolta differenziata, ha quindi l'importanza strategica di rendere disponibili ammendanti utilizzati per il ripristino e/o il miglioramento della fertilità tramite il mantenimento di un adeguato tenore di sostanza organica nei suoli e la conseguente limitazione di fenomeni quali erosione e desertificazione, presenti in maniera non trascurabile in alcune zone del paese ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

A livello nazionale furono inizialmente emanate normative che definivano ed individuavano due tipologie di compost:

- compost di elevata qualità, ottenuto esclusivamente a partire da matrici organiche selezionate ed incluso nella lista degli ammendanti commerciali riferita alla Legge 748/84 (norme per la disciplina dei fertilizzanti), denominati come “ammendante compostato verde” o “ammendante compostato misto”.

Questo tipo di compost si configura come prodotto e, pertanto, è utilizzabile senza ulteriori vincoli diversi da quelli della corretta pratica agricola;

- compost di qualità inferiore, che può comunque essere destinato all'attività agricola, ma è vincolato al rispetto di alcuni standard qualitativi, quantitativi e all'analisi preliminare dei terreni su cui lo si intende utilizzare.

I dati riguardanti il mercato del compost di qualità mostrano che la sua disponibilità risponde in modo marginale alla domanda presente nel nostro Paese: infatti, anche nel caso di intercettazione massima dello scarto organico compostabile (100 kg/ab/anno) e conseguente valorizzazione dello stesso mediante processi di compostaggio, non si avrebbero comunque problemi di eccesso di offerta in relazione alla domanda. Ciò si traduce nel fatto che la produzione potenziale di compost su territorio nazionale risponderebbe al fabbisogno di non oltre l'1,2% della superficie agricola presente nell'intero Paese. In base quindi al DPR 748/84 si definiva compost *“un prodotto ottenuto mediante un processo biologico aerobico, dalla componente organica dei rifiuti solidi urbani, da materiali organici naturali fermentescibili o da loro miscele con fanghi derivanti dalla depurazione delle acque reflue civili, come definiti dall'art 1-quarter, lettera b) della legge 8 ottobre 1976 n.960”*. Con riferimento alla conduzione del processo, tale delibera si limitava ad un'unica prescrizione con cui veniva definito che *“nella fase termofila, il materiale organico in maturazione permanga per almeno 3 giorni ad una temperatura non inferiore ai 55°C”*, senza quindi riportare ulteriori criteri, al quanto basilari, per garantire un compost di qualità privo di agenti patogeni, biologicamente stabile e con un alto contenuto di humus. Riguardo alle caratteristiche del prodotto finale, la normativa stabiliva che, ai fini della tutela ambientale, *“al termine del processo produttivo il compost deve avere le caratteristiche agronomiche indicate nella Tabella 3.1 e rispettare i valori limite di accettabilità indicati nella Tabella 3.2”*. Era inoltre previsto che *“il compost non può essere addizionato con elementi fertilizzanti minerali prima della sua distribuzione agli utilizzatori”*

Tab. 3.1 - CARATTERISTICHE AGRONOMICHE DEL COMPOST

Parametri	Unità di misura	Limiti di accettabilità
Materiali inerti .....	% sostanza secca .....	≤ 3
Vetri (vaglio) .....	mm .....	≤ 3
Vetri (quantità) .....	% sostanza secca .....	≤ 3
Materie plastiche .....	% sostanza secca .....	≤ 1
Materiali ferrosi .....	% sostanza secca .....	≤ 0,5
Umidità .....	% sostanza secca .....	< 45
Sostanza organica .....	% sostanza secca .....	> 40
Sostanza umificata .....	% sostanza secca .....	> 20
Rapporto C/N .....	-	< 30
Azoto totale .....	% sostanza secca .....	> 1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	% sostanza secca .....	> 0,5
K <sub>2</sub> O .....	% sostanza secca .....	> 0,4
Granulometria .....	mm .....	0,5 ÷ 25

Tab. 3.2 - LIMITI DI ACCETTABILITÀ PER IL COMPOST AI FINI DELLA TUTELA AMBIENTALE

Parametri	Unità di misura	Valori limite
Salmonelle .....	N°/50 g .....	assenti
Semi infestanti .....	N°/50 g .....	assenti
pH .....	unità di pH .....	6÷8.5
Arsenico .....	mg/kg di sostanza secca .....	10
Cadmio .....	mg/kg di sostanza secca .....	10
Cromo III .....	mg/kg di sostanza secca .....	500
Cromo VI .....	mg/kg di sostanza secca .....	10
Mercurio .....	mg/kg di sostanza secca .....	10
Nichel .....	mg/kg di sostanza secca .....	200
Piombo .....	mg/kg di sostanza secca .....	500
Rame .....	mg/kg di sostanza secca .....	600
Zinco .....	mg/kg di sostanza secca .....	2.500

Figura 3.2: Estratto del DPR 748/84 sui limiti di accettabilità del compost

Dopodiché furono imposte alcune limitazioni, di cui vengono riportati alcuni esempi, circa il suo utilizzo:

- non può essere impiegato in terreni ove presenti colture frutticole a seguito della fioritura, o comunque nei 3 mesi precedenti alla raccolta del prodotto;
- non può essere impiegato in terreni il cui pH < 6;
- può essere utilizzato nelle colture arboree con destinazione industriale, previo interrimento e lavorazione del terreno;
- può essere usato nelle colture con destinazione forestale produttiva, previo interrimento e lavorazione del terreno.

Nel quadro legislativo nazionale quindi la suddetta legge:

1. Inseriva il compost ottenuto da rifiuti urbani come ammendante organico naturale;
2. Non viene considerato tra gli ammendanti il compost da rifiuti speciali;
3. Definiva i limiti di accettabilità (nella Tabella 2.1 della stessa);
4. Riservava la definizione ed assegnazione dei limiti sul contenuto massimo di metalli pesanti ai successivi decreti del Ministero dell'Agricoltura.

Una importante svolta sulla normativa nazionale di riferimento per la gestione dei rifiuti è rappresentata dal D.lgs 22/97, noto anche come Decreto Ronchi; tale decreto, in ottemperanza delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE riguardante imballaggi e rifiuti da imballaggio indica all'art 6, comma 1, lettera q) il **Compost da rifiuti**

come *“prodotto ottenuto dal compostaggio della frazione organica dei rifiuti urbani, nel rispetto di apposite norme tecniche finalizzate a definire contenuti e usi compatibili con la tutela ambientale e sanitaria, e in particolare a definirne i gradi di qualità”*.

All'interno dell'Allegato C del suddetto decreto, il compostaggio viene citato tra le operazioni di recupero (in particolare è contraddistinta dal codice **R3** *“Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche)”*, operazioni il cui svolgimento deve essere condotto all'interno di impianti autorizzati.

Con riferimento dunque al sistema autorizzativo, l'articolo 27, comma 1 del suddetto Decreto Ronchi prevede che *“i soggetti che intendono realizzare nuovi impianti di smaltimento o recupero di rifiuti, anche pericolosi, devono presentare apposita domanda alla Regione competente allegando il progetto definitivo dell'impianto e la documentazione tecnica prevista per la realizzazione del progetto stesso, dalle disposizioni in materia di urbanistica, di tutela ambientale, di salute e sicurezza sul lavoro e di igiene pubblica”*.

Inoltre, l'autorizzazione definisce le condizioni e prescrizioni tecniche ed operative necessarie; ad esempio:

- Tipo e quantità di rifiuto da smaltire/recuperare;
- Requisiti tecnici come la compatibilità del sito, le attrezzature da usare, la conformità dell'impianto;
- Le precauzioni necessarie in materia di salute e sicurezza sul luogo di lavoro;
- La metodologia di trattamento o recupero;
- I valori limite di emissione in atmosfera;

- Le garanzie finanziarie;
- L' idoneità di colui che richiede l' autorizzazione.

Tale autorizzazione ha una validità di 5 anni ed è rinnovabile, inoltrandone apposita domanda alla Regione competente, entro 180 giorni dalla sua scadenza ([www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it)).

Inoltre, l' articolo 31 del Decreto Ronchi stabilisce *“l' adozione di norme tecniche che fissino, per ciascun tipo di attività, i tipi e le quantità di rifiuti e le condizioni in base alle quali le attività di recupero di cui all' allegato C, sono sottoposte alle procedure semplificate ai sensi dell' art. 33”*; tali procedure semplificate devono però comunque garantire elevati livelli di protezione ambientale. Per fare ciò, le norme fissate devono quindi garantire che il tipo, le quantità e le varie metodologie di recupero siano tali da non arrecare danni all' uomo e all' ambiente.

Nel caso quindi di procedure semplificate, le operazioni di trattamento possono essere intraprese una volta decorsi 90 giorni dalla comunicazione, da inoltrare alla provincia competente, di inizio attività.

Tale comunicazione deve quindi essere corredata da una relazione ove riportati:

- Il rispetto delle norme tecniche di cui al comma 1;
- Il possesso dei requisiti richiesti;
- Le attività di recupero che si intende svolgere;
- Informazioni sullo stabilimento, la capacità di recupero e sul processo di trattamento;
- Le caratteristiche del prodotto finale.

Decorsi 90 giorni dall' inoltramento della domanda, la provincia iscrive l' impresa in apposito registro, il quale, per la sua tenuta e per l' effettuazione di controlli

periodici, richiede che l'interessato versi alla provincia una quota annuale d'iscrizione, in base alle modalità previste dal Decreto Ministeriale 21 luglio 1998, n. 350.

Il 2006 fu poi un anno di fondamentale importanza poiché furono introdotte numerose novità normative, anche con riferimento al settore del compostaggio; infatti, le due norme di riferimento fino a quel momento in vigore, ovvero il D.lgs 22/97 sulla gestione rifiuti e la legge n.748/84 che invece definiva limiti e condizioni sulle caratteristiche di qualità e la commercializzazione di tutti i fertilizzanti furono abrogate e sostituite da due nuovi decreti ([www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it)):

- D.lgs 3 aprile 2006 n.152, noto come Testo Unico Ambientale, che ebbe l'importanza strategica di unificare e rielaborare tutte le norme ambientali fino a quel momento in vigore;
- D.lgs 29 aprile 2006 n. 217 (noto anche come “la nuova 748”) che ridefinì il panorama dei fertilizzanti in Italia.

Inoltre, anche la procedura semplificata per le attività di recupero ricomprese negli articoli 31 e 33 del D.lgs 22/97 fu modificata in modo sostanziale dal D.M 186/06

Nel settore dei fertilizzanti quindi, il **D.lgs 217/2006** “*Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti*”, ha abrogato la legge 748 del 1984 “*Norme in materia di fertilizzanti*”, e ha uniformato la normativa nazionale a quella comunitaria, secondo quanto definito dal Regolamento (CE) 2003/2003 relativo ai concimi.

Vale la pena dire che il D.lgs 22/97 aveva attribuito alla legge n.748 del 1984 tutte le competenze sulla definizione delle caratteristiche di qualità del

compost utilizzabile in agricoltura, superando quello che era un contesto normativo confusionario nel panorama del compostaggio dovuto alla coesistenza di due leggi (la 784/84 e la D.C.I del 27/07/1984), le quali disciplinavano congiuntamente la produzione e le destinazioni d'uso del compost di qualità senza che fosse ben chiaro il rapporto tra di esse.

Ad oggi tali competenze sono quindi attribuite al D.lgs. 217/2006;

in Tab 3.2 sono riportate le diverse tipologie di compost con le rispettive caratteristiche di qualità secondo quanto riportato nell'allegato 2 del suddetto decreto.

Tabella 3.2: Caratteristiche di ACV, ACM e ATC definite dal D.lgs 217/06

	Processo produttivo e caratteristiche compositive	Caratteristiche da dichiarare	Requisiti richiesti	Note
<b>ACV</b>	Prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale con esclusione di aghi e altre piante marine	Umidità pH C organico su s.s. C umico e fulvico su s.s. N organico su s.s. C/N Cu totale su s.s. Zn totale su s.s. Salinità	max 50% compreso tra 6 e 8,5 min. 3,0% min. 2,5% min. 80% del N totale max 50 max 150 mg/kg max 500 mg/kg -	È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm non può superare lo 0,45% sulla sostanza secca. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,05% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,9% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,1% sulla sostanza secca. Materiali plastici ed inerti di diametro superiore a 10 mm devono essere assenti. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: ➤ Salmonelle: assenti in 25 g di campione tal quale, dopo la rivivificazione ➤ Enterobacteriaceae totali: massimo $1,0 \times 10^4$ unità formanti colonie per g ➤ Streptococchi fecali: massimo $1,0 \times 10^4$ (MPN x g) ➤ Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale ➤ Tematodi: assenti in 50 g sul tal quale ➤ Cistodi: assenti in 50 g sul tal quale
<b>ACM</b>	Prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi i liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde	Umidità pH C organico su s.s. C umico e fulvico su s.s. N organico su s.s. C/N Cu totale su s.s. Zn totale su s.s. Salinità	max 50% compreso tra 6 e 8,5 min. 2,5% min. 7% min. 80% del N totale max 25 max 150 mg/kg max 500 mg/kg -	Per fanghi si intendono quelli definiti dal decreto legislativo 27 gennaio 1992, n°99, di attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura. I fanghi, tanne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (PIP) della miscela iniziale. È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,45% sulla sostanza secca. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,05% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,9% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,1% sulla sostanza secca. Materiali plastici ed inerti di diametro superiore a 10 mm devono essere assenti. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: ➤ Salmonelle: assenti in 25 g di campione tal quale, dopo la rivivificazione ➤ Enterobacteriaceae totali: massimo $1,0 \times 10^4$ unità formanti colonie per g ➤ Streptococchi fecali: massimo $1,0 \times 10^4$ (MPN x g) ➤ Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale ➤ Tematodi: assenti in 50 g sul tal quale ➤ Cistodi: assenti in 50 g sul tal quale
<b>ATC</b>	Prodotto ottenuto per miscela di torba (min 50%) con ammendante compostato verde e/o misto	C organico su s.s. C umico e fulvico su s.s. N organico su s.s. C/N Cu totale su s.s. Zn totale su s.s. Salinità	min. 3,0% min. 7% min. 80% del N totale max 50 max 150 mg/kg max 500 mg/kg -	È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm non può superare lo 0,45% sulla sostanza secca. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,05% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,9% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,1% sulla sostanza secca. Materiali plastici ed inerti di diametro superiore a 10 mm devono essere assenti. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: ➤ Salmonelle: assenti in 25 g di campione tal quale, dopo la rivivificazione ➤ Enterobacteriaceae totali: massimo $1,0 \times 10^4$ unità formanti colonie per g ➤ Streptococchi fecali: massimo $1,0 \times 10^4$ (MPN x g) ➤ Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale ➤ Tematodi: assenti in 50 g sul tal quale ➤ Cistodi: assenti in 50 g sul tal quale

Per ottenere quindi un compost di qualità è necessario innanzitutto scegliere substrati di partenza con specifiche caratteristiche (in quest'ottica, infatti, il D.lgs 217/06 definisce alcuni limiti).

Per quanto riguarda ad esempio la FORSU, la sua qualità viene misurata sulla base del quantitativo di materiale non compostabile presente.

In base a ciò è possibile suddividerla in 3 classi di qualità, come riportato in Tabella 3.3:

*Tabella 3.3: Limiti quantitativi di MNC nella FORSU (D.lgs 217/06)*

<b>PARAMETRO</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
Materiale non compostabile (MNC)	% s.t.q.	<2.5	2.5-5	>5

Per la produzione quindi di compost ad uso agricolo è necessario usare FORSU di Classe A, ovvero con una quantità di materiali non compostabili minore del 2,5%, calcolata sui solidi tal quali.

Sempre all'interno del D.lgs 217/06, sono stati definiti anche specifici requisiti da rispettare per le varie tipologie di compost prodotto; ad esempio:

### **1. Ammendante compostato verde (ACV)**

Per questo tipo di compost, elementi come i metalli pesanti vengono calcolati sulla sostanza secca, la quale però deve contenere il 40% di materiale organico (normalizzazione).

Con riferimento invece alla presenza di altre impurità, ed in particolare di materiale plastico:

- con diametro compreso tra 3,33 mm e 10 mm non deve superare lo 0,05% di sostanza secca;
- con diametro fino a 3,33 mm non deve superare lo 0,45% di sostanza secca;
- altri materiali inerti, con diametro fino a 3,33 mm non possono superare lo 0,9% di sostanza secca;
- altri materiali inerti, con diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non possono superare lo 0,1% di sostanza secca;
- con diametro maggiore di 10 mm, materiali plastici e altri inerti devono essere assenti.

## **2. Ammendante compostato misto (ACM)**

Come per l'ACV il contenuto di metalli pesanti viene calcolato sulla sostanza secca, la quale però deve contenere il 40 % di materiale organico (normalizzazione). Per quanto riguarda le altre sostanze non compostabili:

- il materiale plastico del diametro massimo di 3,33 mm non può superare lo 0,45% di sostanza secca;
- il materiale plastico, del diametro compreso tra 3,33 mm e 10 mm non può superare lo 0,05% di sostanza secca;
- altri materiali inerti del diametro massimo di 3,33 mm non possono superare lo 0,9% di sostanza secca;
- altri materiali inerti, del diametro compreso tra 3,33 mm e 10 mm non possono superare lo 0,1% di sostanza secca;

- materiali plastici ed inerti con un diametro superiore a 10 mm non devono essere presenti;
- il contenuto di vetro, metalli e plastiche nel prodotto finale (con dimensione maglie > 2 mm) deve essere minore dello 0,5 % o, se di maglia inferiore:
- vetro  $\leq 1$  % sost. secca;
- plastica  $\leq 0,5$  % sost. secca.

### **3. Ammendante torboso composto (ATC)**

Il discorso sul calcolo del contenuto di metalli pesanti è identico a quello fatto per i due casi precedenti; per quanto riguarda invece i materiali inerti:

- il materiale plastico, con diametro massimo di 3,33 mm non deve superare lo 0,45% di sostanza secca.
- il materiale plastico, del diametro compreso tra 3,33 mm e 10 mm non deve superare lo 0,05% di sostanza secca.
- altri materiali inerti del diametro massimo di 3,33 mm non possono superare lo 0,9% di sostanza secca.
- altri materiali inerti, del diametro compreso tra 3,33 mm e 10 mm non possono superare lo 0,1% di sostanza secca.
- materiali plastici ed inerti con un diametro superiore a 10 mm non devono essere presenti.

Infine, il decreto sottolinea che tutti e tre le tipologie di compost appena descritte, ai fini di una corretta commercializzazione, devono dichiarare

sull'etichetta tutti i parametri importanti, come umidità, pH, carbonio organico presente nella sostanza secca, carbonio umico e fulvico su secco, azoto, rame e zinco sul totale del secco e rapporto C/N.

Nella G.U. del 26 maggio 2010, n.126, è stato pubblicato il D.lgs 75/2010, il quale dalla data di entrata in vigore abrogò il D.lgs 217/2006; in particolare, esso ridefinì e aggiornò la disciplina in materia di fertilizzanti.

Il presente decreto, entrato in vigore in data 29 aprile 2010, si applicava ai prodotti immessi come concimi CE sul mercato, definiti tramite regolamento (CE) n. 2003/2003, e a concimi nazionali, ammendanti, e prodotti correlati presenti sul mercato classificati negli allegati 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 13 del presente Decreto.

In particolare, l'art 2, di cui viene riportato un estratto, definisce come fertilizzanti:

- a) “Concimi”: prodotti il cui scopo è fornire nutrimento alle piante, i quali si suddividono in “concimi CE” e “concimi nazionali”, le cui caratteristiche sono riportate rispettivamente nel regolamento (CE) n.2003/2002 e all'interno dell'allegato 1;
- b) “elementi chimici naturali”, suddivisi in elementi nutritivi principali (azoto, fosforo e potassio) ed elementi nutritivi secondari (calcio, magnesio, sodio e zolfo);
- c) “Carbonio organico biologico”, ovvero carbonio organico presente in prodotti di origine animale o vegetale, ad esclusione del carbonio organico di sintesi;
- d) “azoto organico”, contenuto in composti chimici organici, i quali possono essere di origine animale o vegetale;

- e) “concime minerale”, concime in cui gli elementi nutritivi sono presenti in forma di composti minerali, ottenuti tramite estrazione o tramite processi industriali fisici e chimici;
- f) “concime organico”, derivato cioè da materia organica di origine animale o vegetale, a cui gli elementi principali della fertilità sono chimicamente legati in forma organica;
- g) “concime organo-minerale”, ottenuto tramite reazioni o miscelazione tra più concimi organici o concimi minerali;

All'interno dell'Art.3 del suddetto decreto sono invece riportati i Limiti di Tolleranza; tali limiti di cui al comma 1 devono tenere in considerazione possibili variazioni di fabbricazione, campionamento o analisi.

Per tale motivo, le tolleranze includono le incertezze sulle misure effettuate, associate a quelli che sono i metodi analitici usati per il controllo. Venne inoltre anche normata quella che è l'immissione sul mercato di tali fertilizzanti, i cui criteri sono raccolti ed elaborati all'interno dell'Art 4; in particolare i prodotti elencati negli allegati 1, 2, 5, 6 e 13 possono essere immessi sul mercato se conformi alle norme e ai requisiti riportati nel regolamento (CE) n.1774/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, sempre che tali prodotti ricadano nel campo di applicazione del regolamento sopra citato.

I fertilizzanti quindi immessi sul mercato sono sottoposti a controlli per l'accertamento della conformità su quanto definito dal regolamento (CE) n.2003/2003 e dal presente decreto. L'Art 6, al punto 2 afferma inoltre che *“L'osservanza delle disposizioni riguardanti la conformità dei vari tipi di fertilizzanti e dei titoli dichiarati di elementi fertilizzanti oppure dei titoli*

*dichiarati delle forme e delle solubilità di tali elementi e' accertata, all'atto dei controlli ufficiali, con i metodi di campionamento ed analisi adottati con decreto del Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali, sentito il parere della Commissione di cui all'articolo 44 della legge 20 febbraio 2006, n. 82, tenendo conto delle tolleranze indicate nell'allegato 7. Il Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, previo parere della Commissione di cui all'articolo 44 della citata legge n. 82 del 2006, aggiorna le modalità necessarie per evitare lo sfruttamento sistematico delle tolleranze, di cui all'allegato 12”.*

Ad oggi, l'ultimo decreto legislativo riguardante i rifiuti organici è il D.lgs 116/2020, il quale modificò il D.lgs 152/2006 con lo scopo di adeguarlo ed uniformarlo alla direttiva UE n.851 del 2018. Innanzitutto, in conformità all'art.3, punto 4 della Direttiva UE del 2018, si definiscono rifiuti organici *«rifiuti biodegradabili di giardini e parchi, rifiuti alimentari e di cucina prodotti da nuclei domestici, ristoranti, uffici, attività all'ingrosso, mense, servizi di ristorazione e punti vendita al dettaglio e rifiuti equiparabili prodotti dagli impianti dell'industria alimentare» [art. 183, comma 1, lett. d), d.lgs. n. 152/06]; dove, rispetto alla definizione precedente (ricalcata dalla precedente direttiva del 2008) compare l'aggiunta relativa a «uffici, attività all'ingrosso, mense» e l'aggettivo «simili» risulta sostituito con «equiparabili»; sempre l'art.3 classifica i rifiuti organici tra i rifiuti urbani.*

Se si va quindi ad esaminare la regolamentazione in merito ai rifiuti organici, è evidente come la normativa preesistente alla nuova direttiva ed al D.lgs 116/2020, si basava su tre strumenti-obiettivi:

- raccolta differenziata;
- compostaggio;

- trattamento tale da ottenere un elevato livello di protezione ambientale e la produzione di materiali sicuri per l'ambiente.

Tuttavia, per valutare al meglio l'operato del legislatore italiano, occorre tener presente anche del *Dettato della legge di delegazione europea 2018*, da cui il suddetto decreto deriva la sua legittimità.

In particolare, viene riportato che *«Nell'esercizio della delega per l'attuazione della direttiva (UE) 2018/851 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, e della direttiva (UE) 2018/852 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, il Governo è tenuto a seguire, oltre ai principi e criteri direttivi generali di cui all'articolo 1, comma 1, anche i seguenti principi e criteri direttivi specifici:*

*g) al fine di garantire il raggiungimento dei nuovi obiettivi in materia di raccolta e di riciclo dei rifiuti urbani stabiliti dalle disposizioni di cui all'articolo 1, numero 12), della direttiva (UE) 2018/851 e in attuazione delle disposizioni di cui all'articolo 1, numero 19), della medesima direttiva, prevedere che entro il 31 dicembre 2020 i rifiuti organici siano raccolti in modo differenziato su tutto il territorio nazionale, nonché misure atte a favorire la qualità dei rifiuti organici raccolti e di quelli consegnati agli impianti di trattamento nonché lo sviluppo di sistemi di controllo della qualità dei processi di compostaggio e di digestione anaerobica, predisponendo altresì sistemi di promozione e di sostegno per lo sviluppo della raccolta differenziata e del riciclo dei rifiuti organici, anche attraverso l'organizzazione di idonei sistemi di gestione dei rifiuti, l'incentivazione di pratiche di compostaggio di prossimità come quello domestico e di comunità e l'attuazione delle disposizioni dell'articolo 35, comma 2, del decreto legge*

*12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 1645 ;*

*h) prevedere che i rifiuti aventi analoghe proprietà di biodegradabilità e compostabilità, che rispettano gli standard europei per gli imballaggi recuperabili mediante compostaggio e biodegradazione, siano raccolti insieme ai rifiuti organici, assicurando la tracciabilità di tali flussi e dei rispettivi dati, al fine di computare il relativo riciclo organico negli obiettivi nazionali di riciclaggio dei rifiuti urbani e dei rifiuti di imballaggi (...)*»

L'attuale normativa quindi, nazionale e comunitaria, non solo ha riconfermato per i rifiuti organici strumenti quali la raccolta differenziata e il riciclaggio (privilegiando inoltre il compostaggio e l'utilizzo sul luogo di produzione), ma ne ha notevolmente accentuato la rilevanza.

In conclusione, *“i rifiuti organici devono essere destinati, con priorità assoluta, al compostaggio e lo Stato deve provvedere al più presto a completare una rete di impianti per il compostaggio che copra tutto il territorio nazionale”*.

## Capitolo 4

### 4.1 Caso Studio: Impianto di compostaggio G.A.I.A S.p.A.

L'impianto di compostaggio di G.A.I.A (Gestione Ambientale Integrata dell'Astigiano), situato nella provincia di Asti, dal 2003 recupera 24mila tonnellate/anno di rifiuti biodegradabili provenienti dai Comuni Azionisti (115 comuni), per un totale di circa 210.000 abitanti, trasformandoli in compost di qualità; fino al 2016 era una società pubblica, a cui potevano quindi partecipare esclusivamente enti pubblici locali. Nel febbraio del 2017 gli azionisti divennero 116, poiché entrò in società IREN AMBIENTE, diventando il maggior azionista (45% dell'intero pacchetto azionario dell'azienda), come mostrato in Figura 4.1:



Figura 4.1: Assetto societario di GAIA dal 2017 (BdS 2016)

Per gestire al meglio il flusso massivo di rifiuti in ingresso, l'azienda GAIA dispone di vari siti dove stoccare, trattare e smaltire le varie tipologie di rifiuti raccolti; in particolare l'azienda detiene un "Polo di trattamento rifiuti", presso Asti frazione Quarto Inferiore, un "Impianto di compostaggio" presso San Damiano d'Asti (Borgata Martinetta), una discarica di rifiuti non pericolosi in località Cerro Tanaro, una discarica esaurita nella frazione di Vallemanina ed, infine, diverse ecostazioni disseminate in tutto il territorio provinciale per supportare la raccolta differenziata.

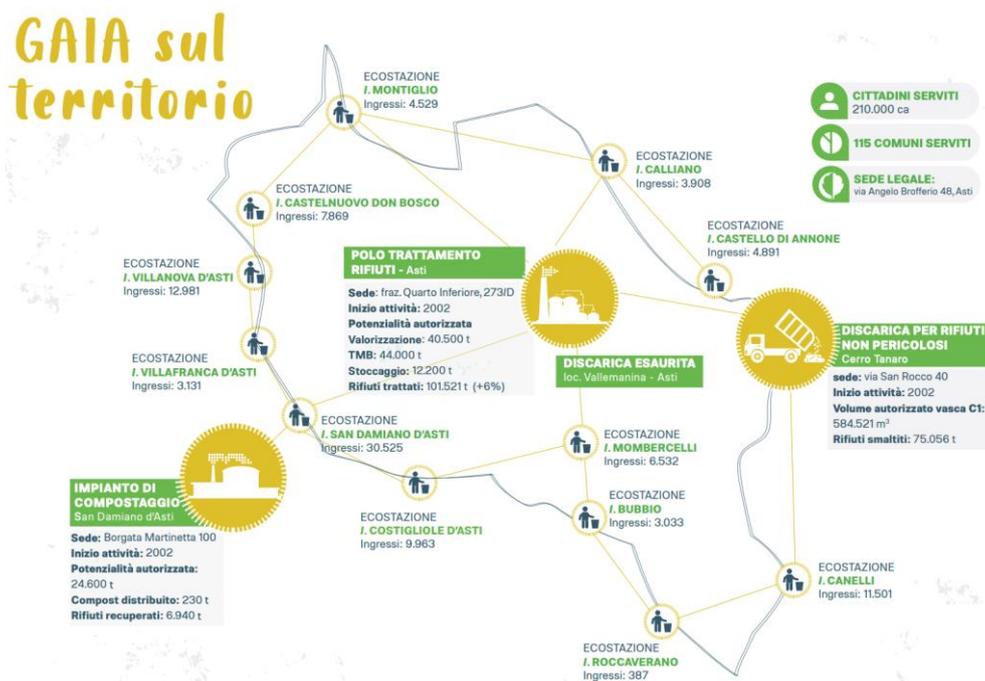


Figura 4.2: Dislocazione territoriale siti operativi GAIA

Fonte: BdS 2016

I primi 3 impianti sopra citati rappresentano il cuore pulsante delle attività svolte da GAIA; infatti, in questi siti vengono svolte circa il 90% delle attività

volte al recupero dei materiali e, di conseguenza, allo smaltimento. Tutti i siti operativi di GAIA sono strettamente collegati fra loro e tutti svolgono compiti indispensabili per l'ottenimento dei risultati attesi. Nella Figura 4.3 viene schematizzato l'intero flusso di servizi ed attività fornite dall'azienda.

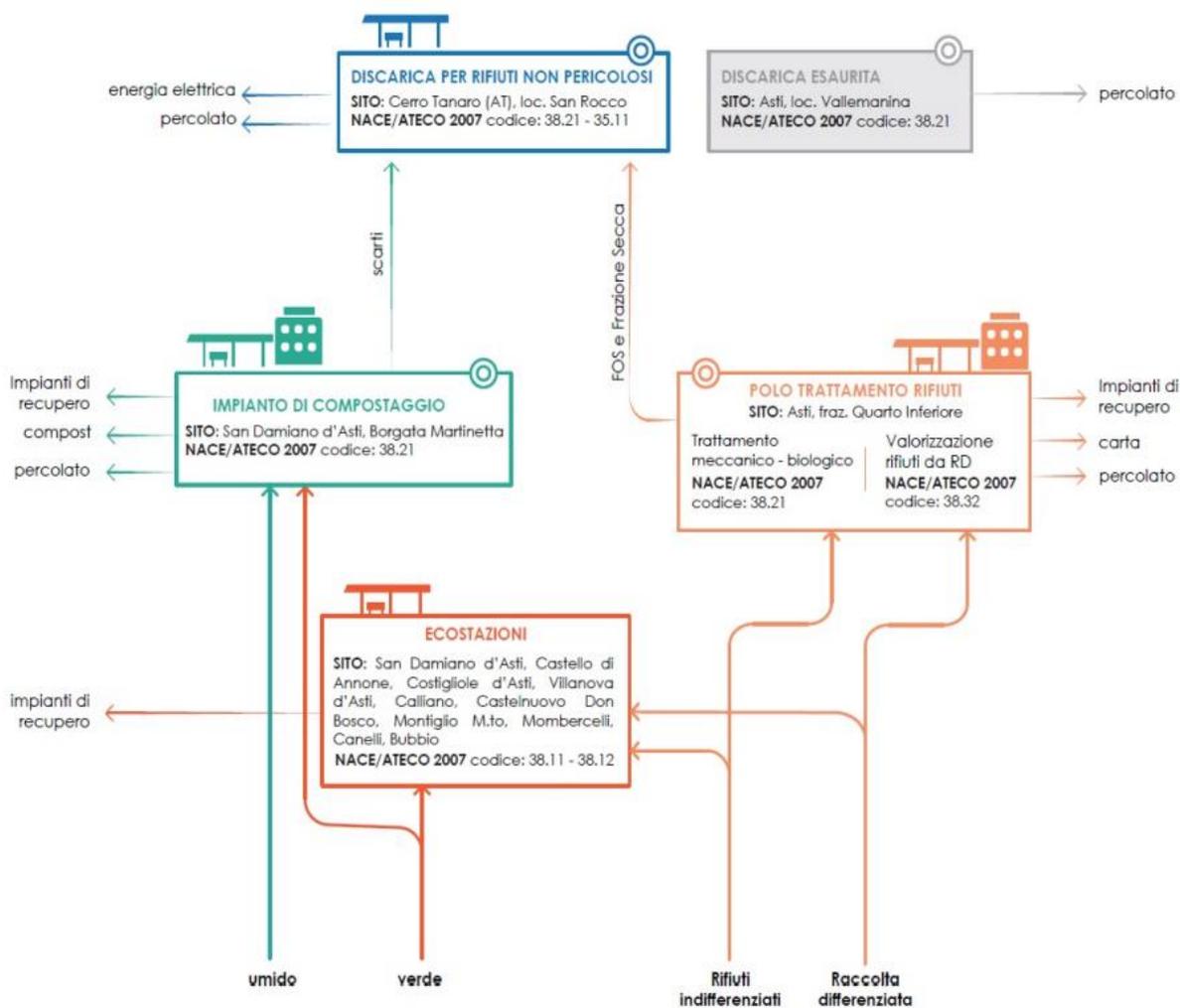


Figura 4.3: Riepilogo sedi operative GAIA ed attività svolte

Fonte: "Descrizione Impianti", documento interno aziendale

Con riferimento quindi all'impianto di compostaggio oggetto di studio, nel 2017 l'azienda ha deciso di apportare delle modifiche, ancora oggi in fase di realizzazione, al fine di ampliare le loro competenze attraverso l'introduzione di un sistema di digestione anaerobica, il quale precederà il normale processo di compostaggio.

Il compost così ottenuto verrà arricchito da una componente in più, ovvero il fango di risulta dal processo di digestione anaerobica.

Tale strategia consentirà inoltre, senza ampliare l'area dello stabilimento, di triplicare il materiale recuperabile (si parla infatti di 70mila tonnellate/anno di organico domestico e 20mila tonnellate/anno di sfalci e potature) ed inoltre si avrà anche la produzione di biometano tramite successivi processi di Upgrading del biogas prodotto in condizioni anaerobiche.

Dalla raccolta differenziata arrivano due tipi di flussi:

1. la frazione umida, composta da scarti alimentari;
2. la frazione verde, costituita invece da sfalci e potature.

Nella zona di ricezione i rifiuti vengono pesati e controllati prima di essere avviati al successivo processo di recupero; la frazione umida, dopo una prima triturazione, viene vagliata e sottoposta ad un processo di deferrizzazione in modo da eliminare le parti non compostabili come plastica e metalli.

Una volta realizzata e completata la linea di digestione anaerobica, parte della FORSU e degli scarti ligneo-cellulosici in ingresso all'impianto entrerà nel digestore, ovvero un reattore cilindrico chiuso in cui i rifiuti, senza apporto di ossigeno, vengono degradati e continuamente rimescolati; tramite tale processo, dopo un tempo di 20 giorni, i microorganismi anaerobi presenti trasformano il materiale in ingresso in un impasto uniforme, ovvero il digestato, di particolare interesse per il suo successivo impiego nella linea di

compostaggio; infatti, una volta prodotto, esso verrà miscelato con la matrice ligno-cellulosica e successivamente introdotta all'interno di biocelle in cui inizia la fase vera e propria di compostaggio aerobico. All'interno di tali biocelle vengono generalmente mantenute, tramite un terminale, le condizioni aerobiche perfette per il proseguimento del processo iniettando aria dal basso e modificando, così, l'umidità e la temperatura del cumulo. Dopo circa 40 giorni, la miscela organica è pronta per passare alla fase di raffinazione; durante tutto il processo vengono generate esalazioni odorigene sgradevoli, che vengono aspirate e condotte tramite tubazioni al sistema di lavaggio e biofiltrazione per evitare possibili impatti negativi sull'ambiente. Nella fase di raffinazione, il materiale in uscita dalle biocelle è sottoposto a vagliatura (tramite due sistemi in serie costituiti da un vaglio a tamburo ed un successivo vaglio a dischi) per eliminare eventuali frazioni estranee non rimosse dal deferrizzatore, così da fornire agli agricoltori un ammendante conforme al marchio "compost di qualità" del CIC. In Tabella 4.1 vengono di seguito riportati i dati, aggiornati al 2016, sulla quantità di rifiuti in ingresso, in uscita, e di compost in uscita prodotti dall'impianto di compostaggio di GAIA:

*Tabella 4.1: Quantità di rifiuti in ingresso ed in uscita all'impianto di San Damiano d'Asti (BdS 2016)*

Impianto di compostaggio		2011	2012	2013	2014	2015	2016
Rifiuti in ingresso (t)	Umido	17.861	16.644	18.402	17.810	18.091	18.384
	Verde	6.653	7.333	5.738	8.221	5.970	5.571
Rifiuti in uscita (t)	Inerti e materiale non compostabile	3.261	3.204	1.889	3.089	3.411	1694*
	Metalli ferrosi	26	5	21	8	7	6*
Prodotto in uscita (t)	Compost (consegnato)	3.861	6.826	6.933	4.915	6.985	5.996

Prima, comunque, di essere immesso sul mercato, il compost prodotto viene sottoposto ad analisi per verificarne la conformità ai requisiti di legge.

Tramite quindi tale processo di recupero, che di conseguenza evita quello che altresì sarebbe stato un tradizionale processo di smaltimento in discarica, l'impianto di G.A.I.A soddisfa pienamente i principi dell'economia circolare; infatti, tramite il processo effettuato, dagli scarti di cibo si ottiene un fertilizzante biologicamente stabile, molto simile all'humus, che restituisce sostanza organica al suolo, da nutrimento ai terreni agricoli, e contemporaneamente produce energia rinnovabile per il paese.



*Figura 4.4 Vista dall'alto impianto di compostaggio di San Damiano d'Asti (gaia.at.it)*

## 4.2 Progetto SICOMPOSTA

Il progetto SICOMPOSTA, finanziato dalla regione Piemonte e che ricade nell'obiettivo tematico "Ricerca, Sviluppo tecnologico ed innovazione", si pone come principale obiettivo quello di incrementare la qualità e quindi il valore del compost dell'impianto oggetto di studio.

Per ottenere tali risultati, il progetto SICOMPOSTA agisce contemporaneamente su due fronti: l'innovazione di processo, tramite la realizzazione di una macchina deplastificatrice che ha la funzione di ridurre al minimo la quantità di frazioni plastiche e altre impurità nel sovrullo, con lo scopo quindi di migliorare la qualità del compost maturo prodotto, e l'innovazione di prodotto, con l'obiettivo di incrementarne il valore di mercato, renderlo facilmente movimentabile e, oltre ciò, veicolo per il riutilizzo dei composti azotati generati dall'impianto stesso.

Ad oggi, infatti, il compost prodotto viene ceduto agli agricoltori, in alcuni casi anche gratuitamente, proprio a causa delle caratteristiche peculiari che ne condizionano i possibili utilizzi:

- ha una bassa massa volumica e presenta elevati costi di movimentazione e stoccaggio, se rapportati al valore commerciale;
- la distribuzione in campo necessita l'impiego di attrezzature spesso non presenti nel parco macchine delle aziende agricole;
- l'ambito delle possibili destinazioni d'uso è ristretto e ciò ne rende difficile la commercializzazione;
- il suo valore commerciale non ne riflette il valore reale e i successivi benefici che esso può apportare al suolo e alle coltivazioni.

SICOMPOSTA agisce dunque contemporaneamente sull'innovazione di processo e di prodotto per trasformare alcune criticità caratteristiche dell'impianto di compostaggio di GAIA in opportunità di sviluppo, e questo è di particolare valore strategico in prospettiva di quello che sarà il potenziamento produttivo dell'impianto una volta realizzata la linea di digestione anaerobica.

Inoltre, il progetto è pertinente agli obiettivi proposti in quanto punta ad un miglioramento sostanziale del processo di raffinazione del compost e, di conseguenza, all'ottenimento di fertilizzanti più evoluti e di qualità superiore, la cui distribuzione sui terreni coltivabili risulti più agevole ed in grado di soddisfare le esigenze dell'agricoltura moderna; inoltre, costituisce la base di partenza per l'introduzione sul mercato di una nuova macchina in grado di raffinare la matrice organica. I partner del progetto sono quindi:

- **GAIA S.p.A.**, ovvero l'impianto di gestione rifiuti proponente;
- **TOSO S.r.l.**, ovvero l'azienda che si è occupata della realizzazione del prototipo di macchina deplastificatrice;
- **POLITECNICO DI TORINO – DIATI**, il cui gruppo di ricerca di Materie Prime ha messo a disposizione le proprie competenze in materia di gestione rifiuti, sviluppo di processi innovativi per la lavorazione dei rifiuti e l'ottimizzazione di tecnologie meccaniche per recupero/riciclaggio di materie prime secondarie.

C'è anche il Dipartimento di Agraria dell'Università di Torino che si occupa di migliorare le caratteristiche agronomiche del compost.

Nell'ambito del progetto SICOMPOSTA, G.A.I.A si propone i seguenti obiettivi di miglioramento:

1. separare le impurità dal prodotto finale per migliorarne la qualità;
2. produrre un concime di maggior valore e adatto a specifici ambiti agricoli.

Gli specifici vantaggi ottenuti da G.A.I.A, quindi, sono la progettazione e realizzazione di una macchina deplastificatrice da inserire all'interno della linea di raffinazione, ottimizzare il processo ai fini dell'ottenimento di un prodotto di qualità, con la conseguente riduzione degli scarti da smaltire in discarica e, infine, dopo una prima fase di sperimentazione, sviluppare nuovi concimi e ammendanti pellettati. Come detto in precedenza, l'impianto è stato autorizzato ad effettuare un revamping che, in un periodo non superiore ai 18 mesi, porterà a raddoppiarne la potenzialità.

In prospettiva quindi, le principali criticità a cui il progetto SICOMPOSTA vuole porre rimedio assumeranno una importanza maggiore:

- ridurre i costi di smaltimento degli scarti;
- ridurre volumi e tempi di stoccaggio del prodotto finale;
- facilitarne la commercializzazione
- darne un valore aggiunto.

Ai fini, dunque, del miglioramento del compost prodotto la progettazione e la realizzazione del prototipo di macchina deplastificatrice per separare le frazioni plastiche dalla matrice organica rappresenta un punto nodale dell'intero progetto.

### 4.3 Metodi e macchinari esistenti per la rimozione delle frazioni plastiche dal compost

Ad oggi i metodi già utilizzati, o ancora in fase di sperimentazione, per rimuovere dalla frazione organica materiali indesiderati come la plastica sono:

#### 4.3.1 Separatore aeraulico

La separazione tramite aria viene spesso adottata come tecnica per separare la plastica dalle particelle legnose sovradimensionate durante la vagliatura del prodotto negli impianti di compostaggio. In Figura 4.5 è riportata l'immagine ed il meccanismo di funzionamento di un tipico separatore aeraulico. Questo particolare dispositivo presenta un ventilatore a pressione positiva, che tende a far fluttuare la frazione plastica, e un ventilatore a pressione negativa per rimuovere e quindi aspirare tali contaminanti leggeri. La densità del materiale è la caratteristica principale tramite cui avviene la separazione e la velocità dell'aria è il meccanismo di commutazione.

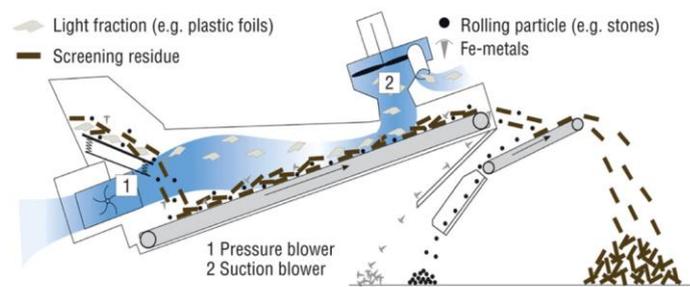


Figura 4.5: Schema di funzionamento di un separatore aeraulico ([www.komptech.com](http://www.komptech.com))

### 4.3.2 Tavola densimetrica a doppia separazione

Tale macchinario è pensato per separare materiali leggeri, come la plastica, da materiali pesanti, sfruttando simultaneamente un moto ondulatorio e uno sussultorio. Il sistema lavora a secco sfruttando delle masse eccentriche ed esercita una vibrazione del piano, che in genere è leggermente inclinato, su cui scorre il materiale; ciò che avviene quindi è che il materiale pesante cade, mentre quello leggero sale. Posta quindi all'interno di una camera sottopressione, il materiale si muove sul piano in direzione opposta rispetto ai flussi d'aria, i quali sono modificabili tramite l'utilizzo di serrande pneumatiche. Tali flussi d'aria garantiscono quindi la separazione di corpi più o meno pesanti, meccanismo che avviene sfruttando parametri specifici del materiale come la dimensione e il peso specifico. A valle di un trattamento con tavola densimetrica, il materiale raggiunge un grado di purezza pari al 98%; un esempio di tavola densimetrica è riportata in Figura 4.6:



Figura 4.6: Tavola densimetrica (<http://www.camec.net>)

### 4.3.3 Magnetic Density Separator (MDS)

Il principio di funzionamento di questa tecnica consiste nel realizzare un separatore densimetrico in grado di separare con efficacia la plastica sfruttando un magnete e un fluido ferromagnetico; sono infatti stati condotti degli esperimenti con un mix di scaglie plastiche di varia natura, opportunamente introdotto all'interno di tale fluido ferromagnetico costituito da acqua e ossido di ferro in nanoparticelle. Tramite tale tecnologia le scaglie vengono separate in base alla loro densità, caratteristica peculiare che distingue i vari polimeri presenti nella miscela.

Tale tecnologia sfrutta quindi il galleggiamento dei materiali; poiché ogni polimero può, fisicamente, galleggiare solo su un fluido con densità maggiore, sfruttare un fluido con diversi gradi di densità permette la separazione dei diversi tipi di polimero. In pratica nel fluido si instaura un gradiente di densità per effetto del campo magnetico lungo la verticale, per cui tanto minore è la distanza dal magnete tanto maggiore sarà la densità del fluido; per cui i diversi polimeri possono essere separati tra loro in quanto galleggeranno in corrispondenza di flussi caratterizzati da differente densità magnetica, ovvero posti a diverse altezze. L'effetto netto di questo fenomeno si osserva in una significativa separazione verticale delle particelle plastiche di diversa densità. Tale metodo, ad oggi, è generalmente utilizzato negli impianti di riciclaggio della plastica per separare tra loro diversi polimeri, per cui allo stato dell'arte non risulta alcuna applicazione di tale tecnologia nel settore del compostaggio (*Fonte: <https://www.crit-research.it>*)

#### **4.3.4 Separatore combinato ECOTEC – BIVITEC e BREEZER**

L'azienda ECOTEC fornisce la seguente soluzione: combinando un vaglio vibrante BIVITEC ed un separatore ad aria BREEZER si ottiene una soluzione semplice e altamente efficiente per la lavorazione del compost. In particolare, il vaglio flip flow BIVITEC sfrutta il principio della doppia oscillazione: la superficie di vagliatura viene flessa e distesa in maniera alternata grazie al movimento indotto da un motore elettrico ed uno eccentrico. In questo modo il compost viene sottoposto ad alti valori di accelerazione facendolo "saltare" sul tappeto; questo movimento, coadiuvato dall'inclinazione del tappeto vagliante consente al materiale di scorrere senza problemi mantenendo inoltre i fori aperti. Tramite quindi il passaggio attraverso BIVITEC si riesce a separare la parte fine dal resto del materiale: la prima viene raccolta sotto la macchina dopo essere caduta per semplice gravità, mentre il resto del materiale passa per il separatore ad aria BREEZER, in cui tramite un sistema balistico/aeraulico vengono separate, tramite un getto d'aria opportunamente tarato e calibrato le parti leggere e volatili da quelle più pesanti.



*Figura 4.7: Nastro flessibile BIVITEC*

*Fonte: <https://www.ecotecsolution.com>*

### 4.3.5 Separatore NIR Steinert: UNISORT BLACK

Dopo una fase iniziale in cui il materiale subisce dei pretrattamenti tramite diverse tipologie di vagli e/o separatori aeraulici, dei nastri fanno convogliare il materiale verso Unisort Black, macchinario prodotto dall'azienda statunitense Steinert, il quale riesce a rimuovere dalla massa totale tutte le plastiche (comprese quelle nere); tramite l'utilizzo di tale apparecchiatura si è inoltre in grado di rimuovere altre tipologie di materiali inerti come vetri rotti, pietre o ceramica, con un grado di pulizia dalle contaminazioni pari al 98%.

Unisort Black sfrutta un sensore che legge nel **vicino infrarosso (NIR)**, tramite cui si riescono ad individuare e distinguere tutti i tipi di plastica riconoscibili; inoltre, viene sfruttata la tecnologia **Imaging Iperspettrale (HSI)**, che permette di riconoscere simultaneamente plastiche scure e nere, per poi quindi separarli.

In Figura 4.8 viene riportato il rendering della macchina:



Figura 4.8: Unisort Black

Fonte: <https://steinertglobal.com>

### **4.3.6 Plastic Sort**

L'idea, apparentemente semplice, sviluppata da questa start up è quella di creare una calamita per la plastica sfruttando il principio secondo cui diverse tipologie di materiali reagiscono in modo diverso all'applicazione di campi energetici.

In tal modo, il sistema permette di separare i diversi materiali e, al contempo, riconoscerli e distinguerli tra loro, con percentuali di errore minime per tutte le principali tipologie di materiali plastici oggi in commercio, come polietilene, PVC, polipropilene, nylon e PET. Tuttavia, allo stato attuale tale idea è solo sperimentale e perciò senza alcuna applicazione pratica ([www.gsanews.it /plasticsort.com](http://www.gsanews.it/plasticsort.com)).

### **4.3.7 Separatore gravimetrico a letto fluido**

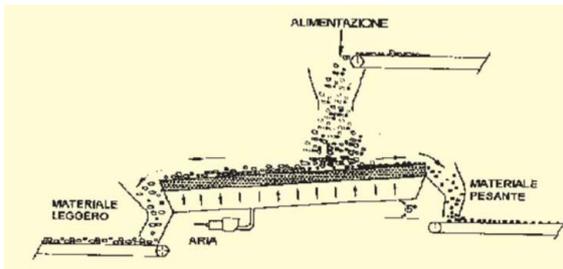
I separatori a letto fluido sono in genere costituiti da un piano vibrante e poroso, con una leggera inclinazione (circa cinque gradi) e attraversato in direzione perpendicolare da un flusso d'aria.

L'azione combinata data dall'aria e dalla vibrazione, fornita direttamente dal piano di appoggio, consente di ottenere un effetto di stratificazione del rifiuto, a seconda delle diverse velocità di sedimentazione.

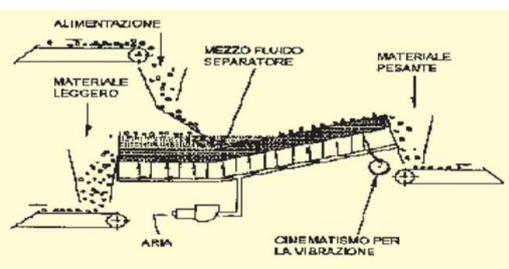
Come illustrato in *Figura 4.9* il materiale più leggero, il quale è tenuto in sospensione dai getti di aria che creano appunto un "letto fluido", si accumula nella parte bassa del piano, mentre quelli più pesanti tramite la vibrazione del

piano scivolano verso la parte alta; tale sistema è detto “a secco”. Ne esiste anche un'altra tipologia, detta “a umido”, in cui oltre all'azione simultanea dell'aria e delle vibrazioni del piano interviene anche un fluido separatore (acqua miscelata con soluzioni saline oppure polveri di magnesite e ferrosilicati). Questo, avendo densità e peso specifico proprio, si insinua tra i vari materiali costituenti il rifiuto determinando un'azione “meccanica” grazie alla quale riesce a separare le componenti più leggere (che vengono sospinte verso la superficie) da quelle più pesanti (che invece sono fatte depositare sul piano sottostante).

Tale sistema a umido è illustrato in *Figura 4.10*:



*Figura 4.9: Separatore “a secco”*



*Figura 4.10: Separatore “a umido”*

## Capitolo 5

### 5.1 Caratteristiche granulometriche e merceologiche del compost di GAIA

Individuate quindi, nell'ambito del progetto SICOMPOSTA, le principali criticità da risolvere ai fini dell'assegnazione della denominazione "compost di qualità" nei confronti del prodotto finale ottenuto dall'impianto di compostaggio di G.A.I.A, la prima fase di analisi ha visto necessaria l'individuazione delle caratteristiche dimensionali e merceologiche dei campioni prelevati presso l'impianto. Uno schema della linea di raffinazione dell'impianto di G.A.I.A è riportato in Figura 5.1.

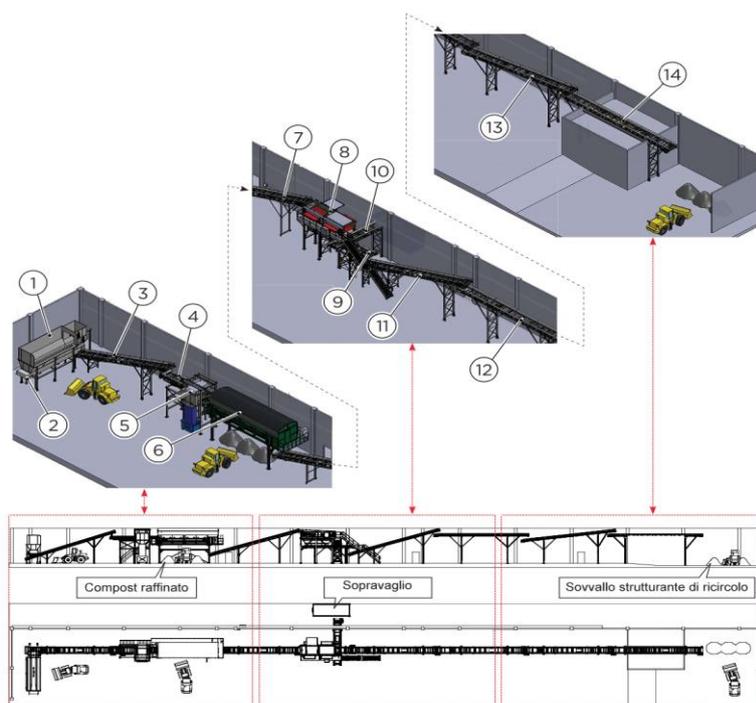
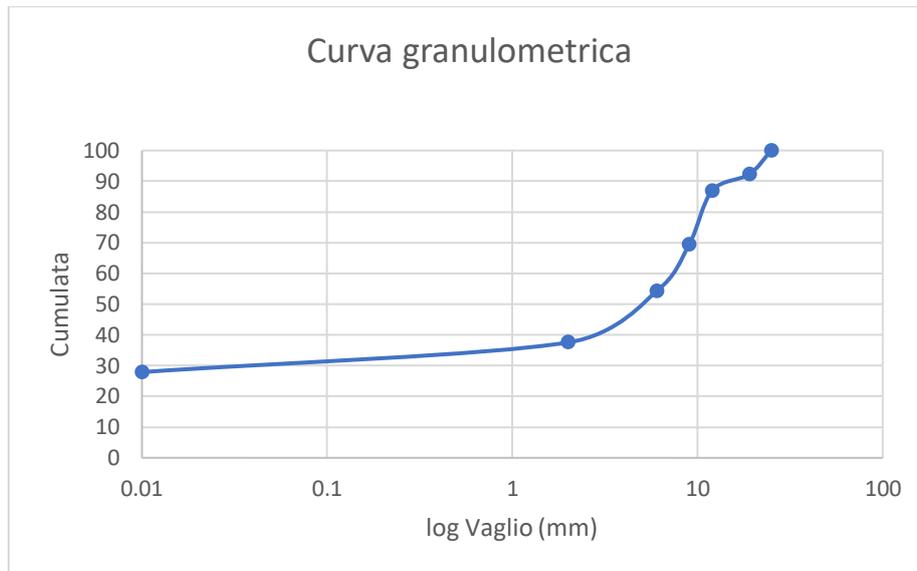


Figura 5.1: Linea di raffinazione dell'impianto di G.A.I.A

In particolare, essa è costituita da due sistemi di vagliatura in serie: il primo è un trommel (6), con cui viene recuperato compost raffinato e pulito che cade al suolo per gravità; il sopravaglio invece, tramite nastro trasportatore, viene fatto passare attraverso un vaglio a dischi (8), macchinario che grazie all'apertura tra i dischi consente di separare il materiale leggero (in genere sacchetti di plastica di grandi dimensioni, definito "plasticone") successivamente avviato a smaltimento in discarica dal materiale organico grossolano, ovvero il sottovaglio del vaglio a dischi, che generalmente viene ricircolato in testa alla linea di raffinazione, senza mai essere recuperato. Dopo quindi essere stati presso l'impianto ed aver prelevato un campione di circa 11 kg (oggetto di analisi è stato il sottovaglio del vaglio a dischi), il primo passo è stato quello di ottenerne la distribuzione granulometrica per valutarne le dimensioni. Per fare ciò, presso i laboratori di Materie Prime del Politecnico di Torino, è stata utilizzata una setacciatrice all'interno della quale sono stati predisposti setacci di diverse dimensioni (25, 19, 12, 9, 6 e 2 mm) e messa in funzione per 10 minuti. In Tabella 5.1 sono riportati i pesi delle diverse classi granulometriche e le relative percentuali trattenute, mentre la rappresentazione grafica della curva granulometrica così ottenuta è riportata in Figura 5.2:

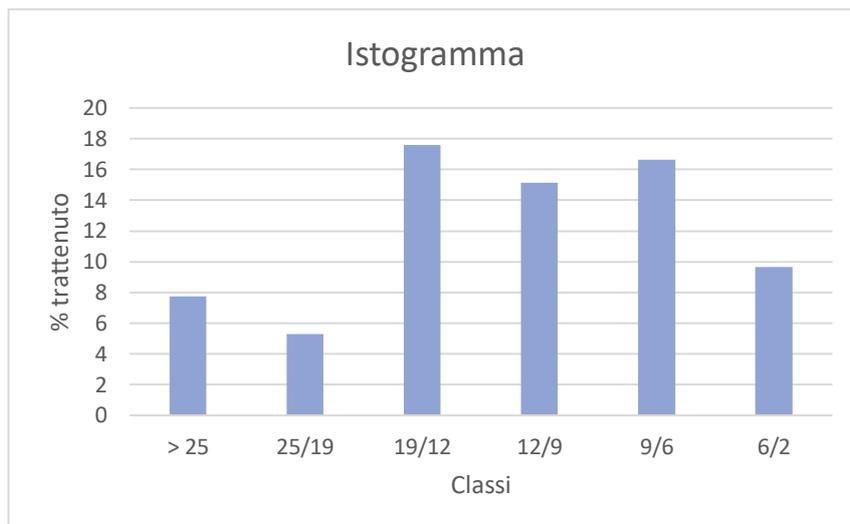
*Tabella 5.1: Caratteristiche, in peso ed in percentuale, del sottovaglio analizzato*

CLASSI	SETACCI	TRATTENUTO (g)	%	CUMULATA
>25 mm	25	850	7.75	100
25/19 mm	19	582	5.31	92.24
19/12 mm	12	1929	17.60	86.93
12/9 mm	9	1659	15.14	69.33
9/6 mm	6	1824	16.64	54.19
6/2 mm	2	1058	9.65	37.55
< 2 mm	0.01	3057	27.89	27.89
TOTALE		10959	100	



*Figura 5.2: Curva granulometrica sottovaglio del vaglio a dischi*

Come facilmente visibile in Figura 5.2 circa il 70% dell'intero campione ha dimensione minore di 10 mm, aspetto che risulta essere in contrasto con i dati a disposizione dell'impianto di G.A.I.A secondo cui invece il materiale prelevato doveva avere dimensioni comprese tra i 12 e i 50 mm; ciò è facilmente visibile anche nell'istogramma riportato in Figura 5.3:



*Figura 5.3: Istogramma delle diverse classi granulometriche*

Pertanto, una ulteriore problematica dell'impianto di compostaggio di G.A.I.A è che, lungo la linea di raffinazione, si perde troppo prodotto fine e pulito che anziché essere commercializzato viene ricircolato in testa all'impianto e sottoposto ad ulteriore trattamento, senza però essere mai recuperato.

Di conseguenza è stata riscontrata la necessità di migliorare l'efficienza della linea di raffinazione dell'impianto, evitando così di perdere tutto questo prodotto organico potenzialmente utilizzabile come ammendante. Una volta appurato ciò, si è proceduto facendo un'analisi merceologica del campione analizzato.

L'analisi merceologica è stata eseguita mediante riconoscimento macroscopico e separazione manuale del materiale trattenuto al setaccio classe per classe, con lo scopo di valutare la composizione dell'intero

campione sia in termini di peso che in termini percentuali sull'intero campione.

Nel caso di classi granulometriche troppo fini, o comunque le cui quantità erano considerevoli, l'analisi merceologica è stata preceduta da una fase di campionamento tramite la tecnica del "Coning and Quartering": qualora infatti il campione di un rifiuto solido si presenti in volumi tali da necessitare una riduzione volumetrica, si procede alla riduzione di volume tramite il metodo della quartatura fino a raggiungere un volume idoneo per effettuare le successive analisi. Utilizzando quindi idonea attrezzatura, si distribuisce in modo uniforme il materiale da esaminare formando un cumulo o una 'torta' con un'altezza circa un quarto del raggio della stessa.

Questa va successivamente divisa in quattro parti di uguale dimensione: i due quarti opposti vengono scartati, mentre i due quarti rimanenti vengono mescolati e ridistribuiti in una nuova "torta".

Qualora il volume ottenuto risultasse ancora eccessivo si ripetono le operazioni descritte fino al volume necessario alla formazione del campione secondario, garantendo comunque sempre la rappresentatività del campione. Uno schema concettuale di tale tecnica di campionamento è riportato in Figura 5.4:

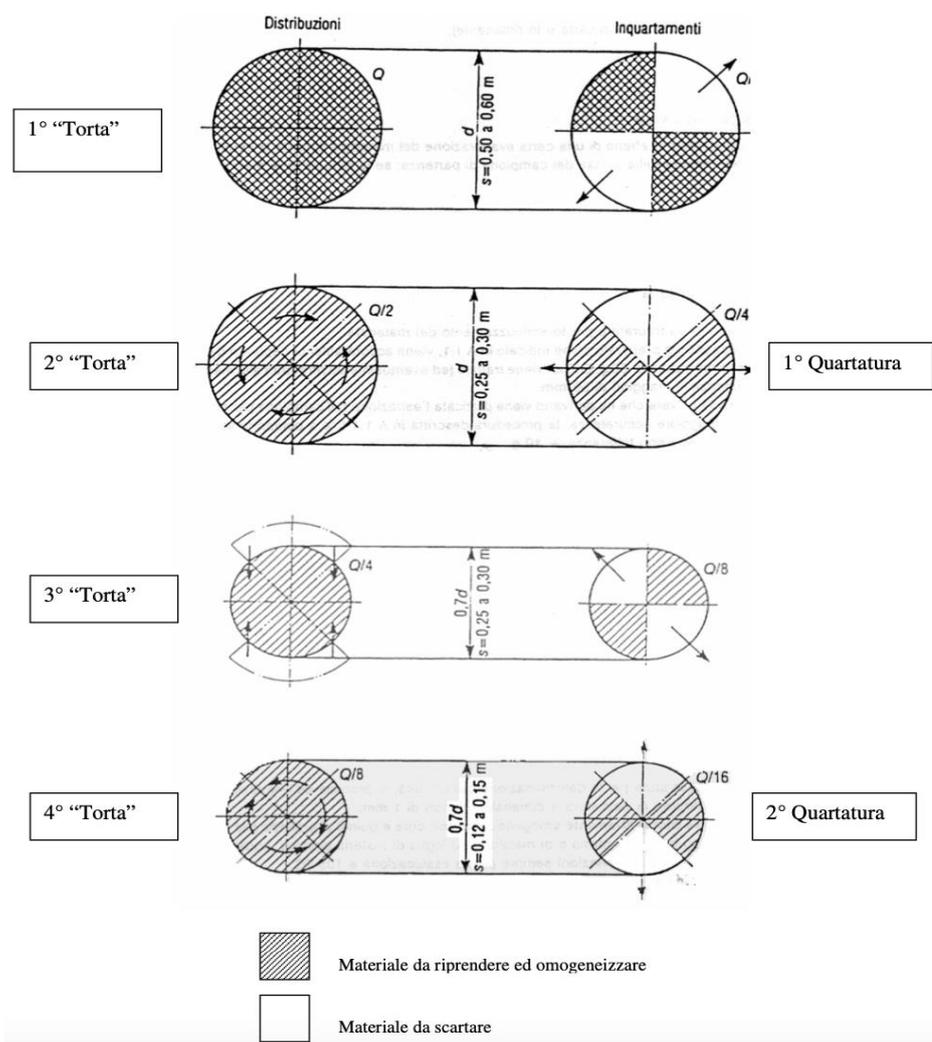


Figura 5.4: Metodo di campionamento "Coning and Quartering"

L'analisi merceologica così condotta ha permesso di individuare nel compost di G.A.I.A, oltre alle frazioni plastiche oggetto di studio, anche altre impurità; i risultati ottenuti sono riportati in Figura 5.5:

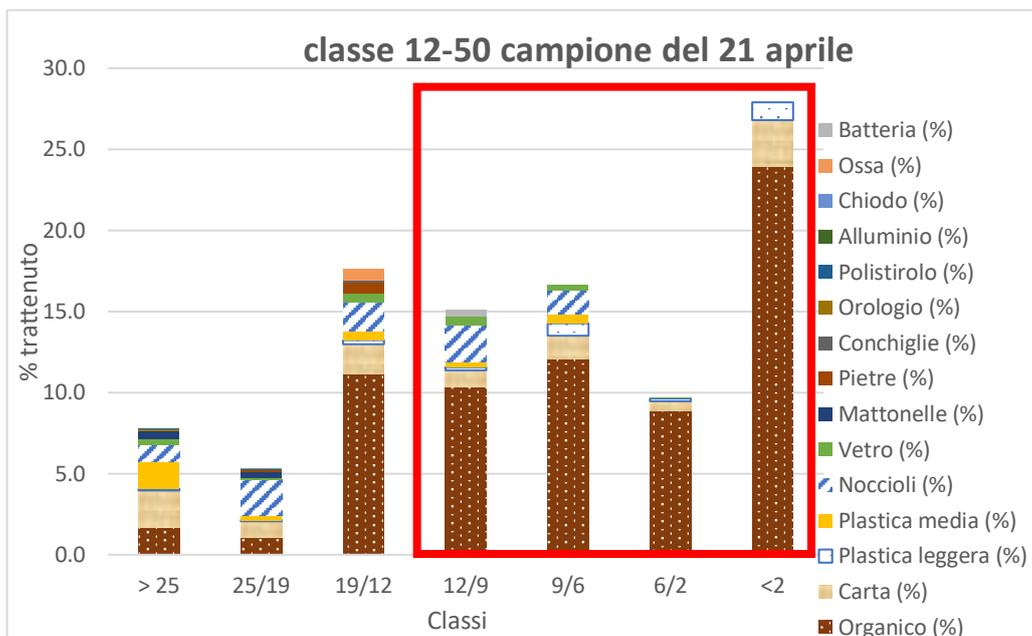
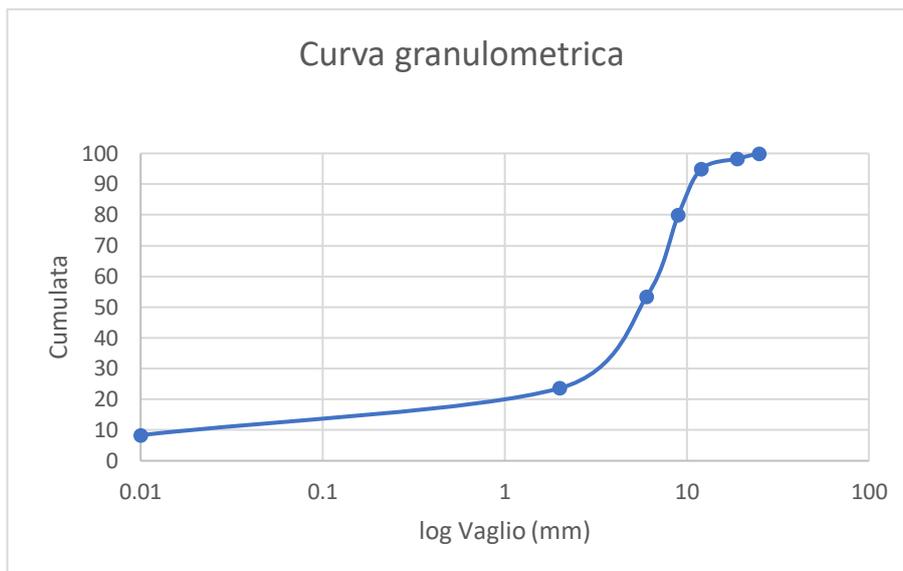
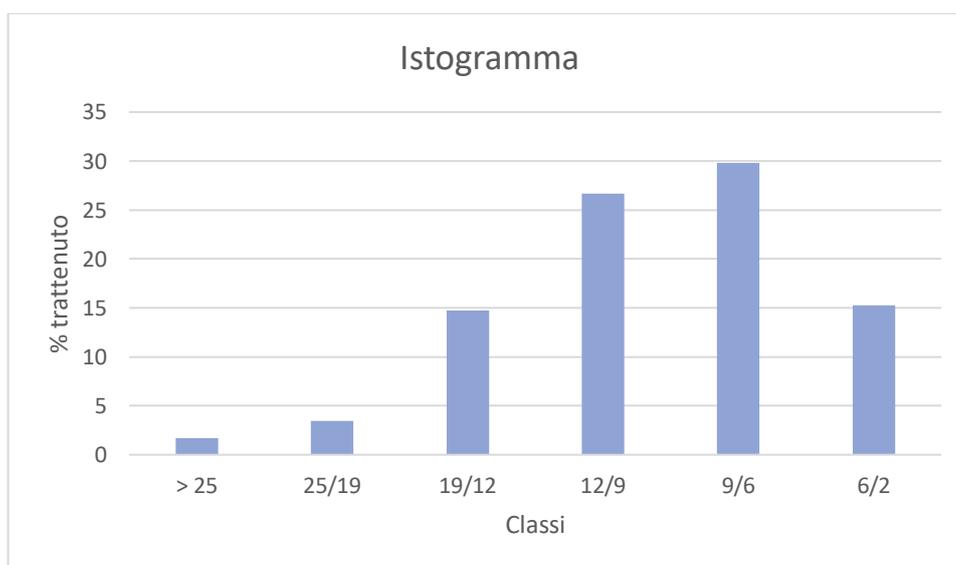


Figura 5.5: Istogramma analisi merceologica

Osservando il grafico riportato sopra, si può notare come il campione analizzato contiene principalmente plastica leggera e pesante, carta, vetro, pietre e altre sostanze in quantità minore come mattonelle, chiodi, alluminio etc. Inoltre, sempre facendo riferimento alla Figura 5.5, le classi granulometriche comprese tra 12/9 mm e 6/2 mm contengono una ingente quantità di sostanza organica pulita, a riprova di quanto detto prima sulla scarsa efficienza della linea di raffinazione e sulla quantità di prodotto pulito che viene perso. Per confermare quanto visto nel primo campione sono state condotte analoghe analisi su altri campioni di sottovaglio (C2) prelevati successivamente; rispettivamente in Figura 5.6, Figura 5.7 e Figura 5.8 sono riportati i risultati:



*Figura 5.6: Curva granulometrica campione C2*



*Figura 5.7: Istogramma classi granulometriche campione C2*

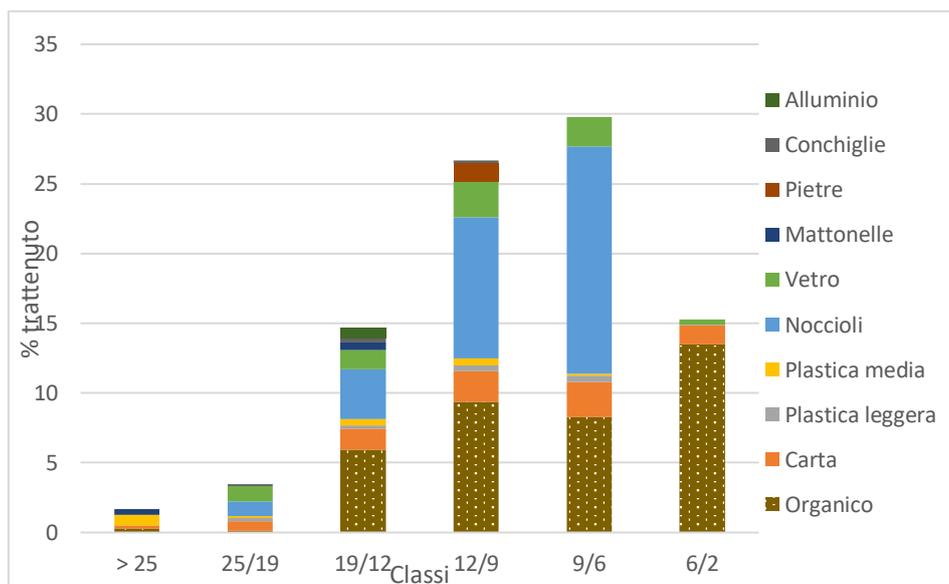


Figura 5.8: Analisi merceologica delle diverse classi granulometriche campione C2

Anche tali analisi hanno dimostrato la presenza considerevole di materiale fine sotto i 12 mm e di sostanza organica non sfruttata come ammendante, ma ricircolata in testa alla linea di raffinazione senza essere recuperata.

## 5.2 Spettroscopia a infrarosso in trasformata di Fourier (FTIR)

Dopo quindi aver caratterizzato da un punto di vista granulometrico e merceologico il compost di G.A.I.A ed aver appurato l'effettiva presenza di materiali plastici in quantità non trascurabile, si è proceduto con l'effettuazione di indagini spettroscopiche per individuare le diverse tipologie di polimeri riscontrate, e valutare quindi la presenza o meno di bioplastiche non del tutto degradate dal processo di compostaggio aerobico.

La spettroscopia infrarossa (o IR) è una tecnica spettroscopica ad assorbimento spesso utilizzata per la caratterizzazione dei materiali; in genere, un tipico spettro infrarosso presenta in ascissa la frequenza, espressa in numero d'onda ( $cm^{-1}$ ), mentre in ordinata la trasmittanza.

Quando una molecola assorbe un fotone infrarosso, questa passa dallo stato vibrazionale fondamentale ad uno eccitato: se il materiale è trasparente alla luce infrarossa il suo spettro sarà una linea parallela all'asse x, mentre se il materiale non è completamente trasparente avremo degli assorbimenti, e quindi delle variazioni nei livelli energetici vibrazionali. In tal caso, lo spettro registrato avrà una serie di picchi, con diverse altezze, per ciascuna variazione.

Nello specifico del caso studio, è stata utilizzata la **Spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (o FTIR)**, tecnica che consente di ottenere lo spettro infrarosso di una sostanza prima creandone il relativo interferogramma tramite l'uso dell'interferometro di Michelson (inventato da Albert Abraham Michelson nel 1880) per poi, tramite la trasformata di Fourier, ottenerne lo spettro.

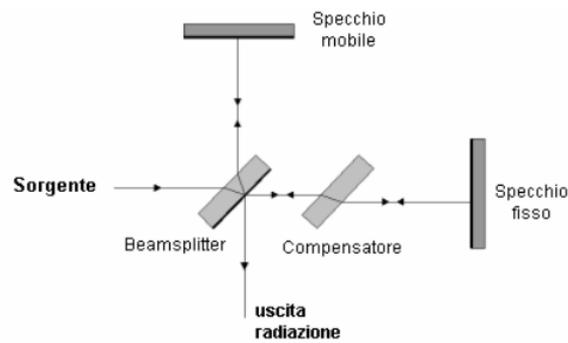


Figura 5.9: Schema interferometro di Michelson (fonte: Web)

Tale interferometro è costituito da quattro bracci, dove nel primo è presente la sorgente a infrarossi, il secondo ha uno specchio fisso e un compensatore, il terzo presenta uno specchio mobile mentre l'ultimo braccio è aperto. Centralmente, all'intersezione tra i quattro bracci, c'è un beamsplitter, con una inclinazione di  $45^\circ$  rispetto agli specchi, che in parte trasmette la radiazione incidente su di esso (la quale va a colpire lo specchio fisso presente nel secondo braccio), mentre la restante parte di radiazione viene riflessa e va a colpire lo specchio mobile situato nel terzo braccio. Dopodiché, i due fasci di luce tornano indietro e si ricombinano al beamsplitter per poi successivamente interagire col campione sotto analisi. In tutto ciò, come detto, nel secondo braccio è presente anche un compensatore che ha la funzione appunto di "compensare" il differente cammino tra il fascio riflesso e quello trasmesso dal beamsplitter: quest'ultimo, infatti, passa per il beamsplitter solo una volta, mentre il fascio riflesso lo attraversa tre volte. Introducendo quindi tale compensatore, che ha stesso spessore e materiale (vetro) del beamsplitter, il percorso compiuto dai due fasci è lo stesso. Traslando quindi lo specchio mobile ed allontanandolo dal beamsplitter, si

ottiene una differenza di cammino tra i due fasci: misurando quindi l'intensità trasmessa dall'interferometro, rapportata con la differenza di cammino dei due fasci, si ottiene l'interferogramma della radiazione incidente da cui, una volta calcolata la trasformata di Fourier, è possibile determinare la firma spettrale del materiale analizzato; in Figura 5.10 viene riportato un esempio di interferogramma e del relativo spettro ottenuto:

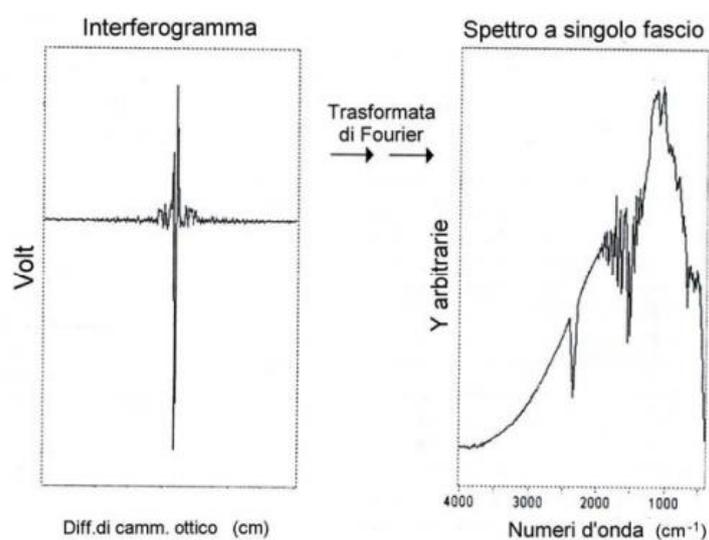
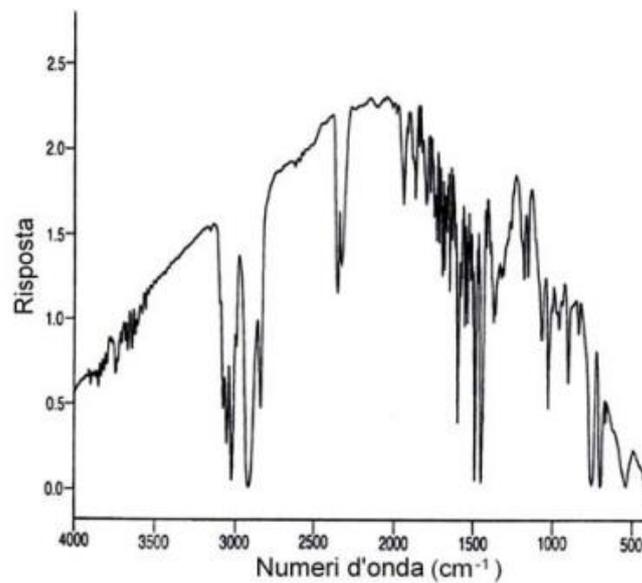


Figura 5.10: Interferogramma e spettro derivato dalla relativa trasformata di Fourier (fonte: B. C. Smith. *Foundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. CRC Press (1996)).

Tuttavia, quello riportato in Figura 5.10 è detto “*background spectrum*”, ovvero è lo spettro che si ottiene nel caso in cui all'uscita dall'interferometro non vi sia nessun campione; quando invece si misura l'interferogramma con

un campione posto all'uscita dell'interferometro, si ottiene uno spettro come quello riportato in Figura 5.11:



*Figura 5.11: Spettro a singolo fascio in presenza di un campione all'uscita dall'interferometro (fonte: B. C. Smith. *Foundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. CRC Press (1996))*

Facendo quindi poi il rapporto, punto per punto, dei grafici in Figura 5.10 e Figura 5.11, si ottiene lo spettro di trasmissione del campione analizzato:

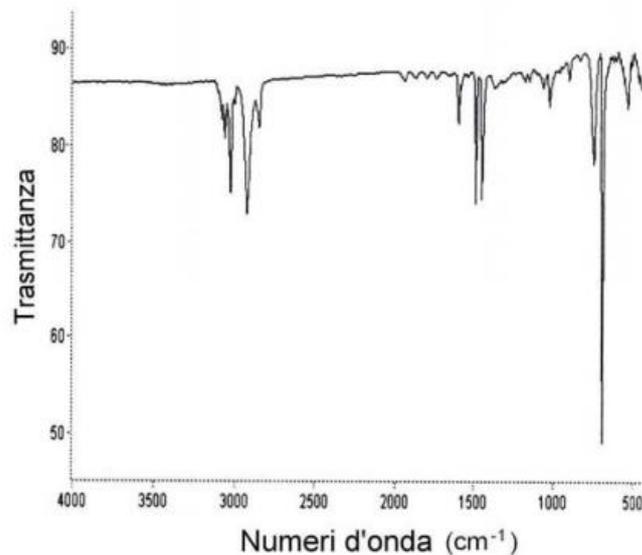
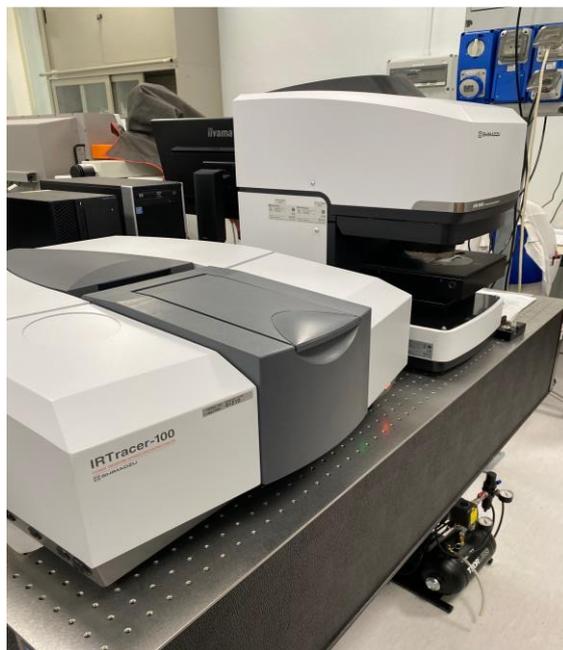


Figura 5.12: Spettro di trasmissione (fonte: B. C. Smith. *Foundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. CRC Press (1996)).

Seguendo tale approccio, sono stati analizzati 12 campioni di materiale plastico prelevati dal compost di G.A.I.A; questi sono stati inizialmente lavati con acqua e sapone, dopodiché sono stati messi in un backer, immersi in etanolo e sottoposti ad un trattamento ad ultrasuoni per cinque minuti, allo scopo di rimuovere l'eventuale sporcizia residua. Una volta quindi ripuliti, sono stati sottoposti ad analisi utilizzando un IRTracer-100 accoppiato con un AIM-9000 (utile per effettuare indagini puntuali), riportati in Figura 5.13:



*Figura 5.13: IRTracer-100 e AIM-9000 utilizzati per analisi spettroscopiche FTIR*

Tale apparecchiatura è collegata ad un computer che possiede, nel suo database, una banca-dati con le firme spettrali di varie tipologie di polimero; una volta quindi messa in funzione la macchina e ottenuto lo spettro infrarosso del materiale in analisi, essa è andata a confrontare lo spettro registrato con tutti quelli presenti nel database fino a riscontrare la congruenza nelle immagini e poter quindi poi definire la tipologia di polimero analizzato. I risultati ottenuti sui 12 campioni analizzati hanno mostrato la presenza di plastiche non biodegradabili all'interno del compost di G.A.I.A, prevalentemente polietilene, come nell'esempio riportato in Figura 5.14:

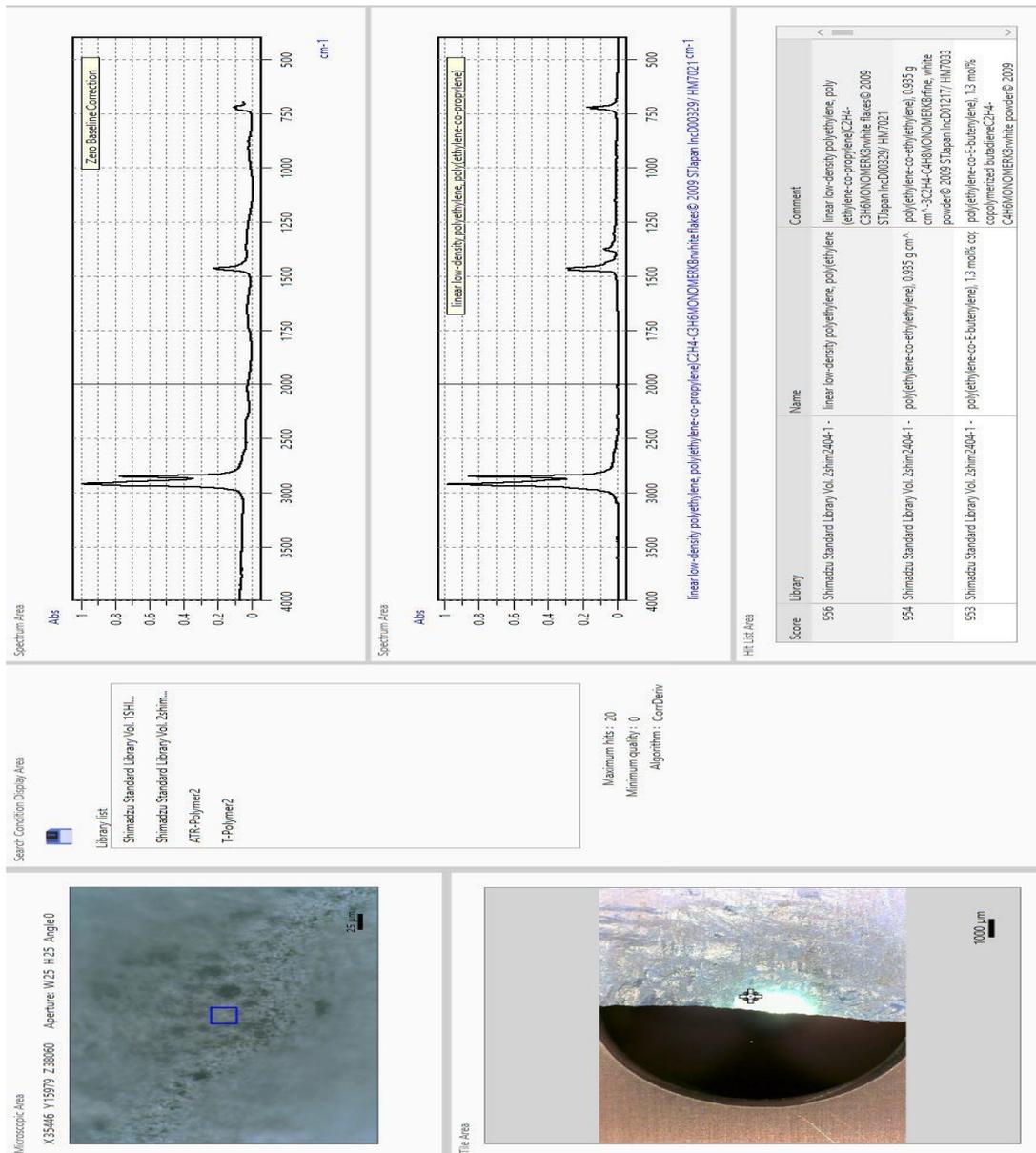


Figura 5.14: Esempio di risultato ottenuto tramite lo FTIR

L'aver quindi riscontrato la presenza di plastica tradizionale nel compost, e non di bioplastiche, indica da un lato il fatto che le bioplastiche ormai da

tempo utilizzate per la raccolta degli scarti da cucina effettivamente subiscono processi di degradazione durante il trattamento di compostaggio tali da consentirne l'eliminazione e, quindi, l'assenza dal compost maturo; d'altra parte, però, questo è sicuramente sinonimo di una non corretta raccolta differenziata, che di conseguenza comporta innanzitutto la presenza di plastica tradizionale erroneamente conferita nell'umido, e quindi, di conseguenza, il peggioramento delle caratteristiche qualitative del prodotto finale. Nell'*Allegato 1* sono riportate tutte le firme spettrali, con il relativo confronto tramite FTIR, dei diversi campioni di plastica analizzati.

### **5.3 Prove di separazione**

Verificate le principali criticità dell'impianto di G.A.I.A, sono state condotte in situ delle prove di separazione tramite l'utilizzo di un separatore aeraulico (Figura 4.5), che come descritto in precedenza è un macchinario che sfrutta un getto d'aria per separare tra loro materiali leggeri, come la plastica, da materiali pesanti che cadono per gravità; tali prove sono state effettuate con lo scopo di valutare il funzionamento della macchina e i risultati ottenuti tramite il suo utilizzo. Tali prove sono state condotte sotto diversi regimi di velocità del nastro e di forza dell'aria iniettata al fine di trovare quello che è il miglior compromesso per ottenere il massimo risultato possibile. In particolare, quindi, sono stati utilizzati due regimi di velocità dell'aria (65% e 100%) e due di velocità del nastro (50% e 100%), dove la prova con aria 65% e velocità del nastro 50% è stata effettuata sulla frazione leggera separata

nel primo caso, ovvero con il separatore aeraulico tarato su aria 100% e velocità del nastro 100%; di seguito vengono riportati i risultati ottenuti:

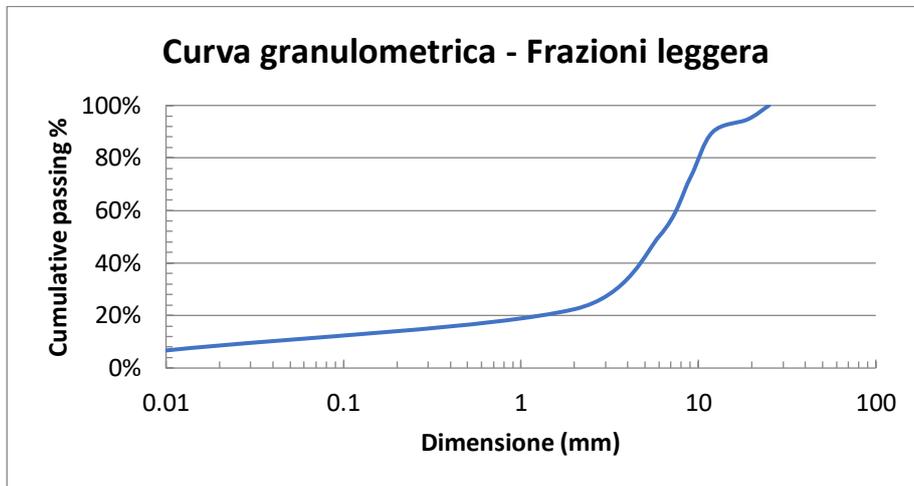


Figura 5.15: Curva granulometrica aria 100% frazione leggera

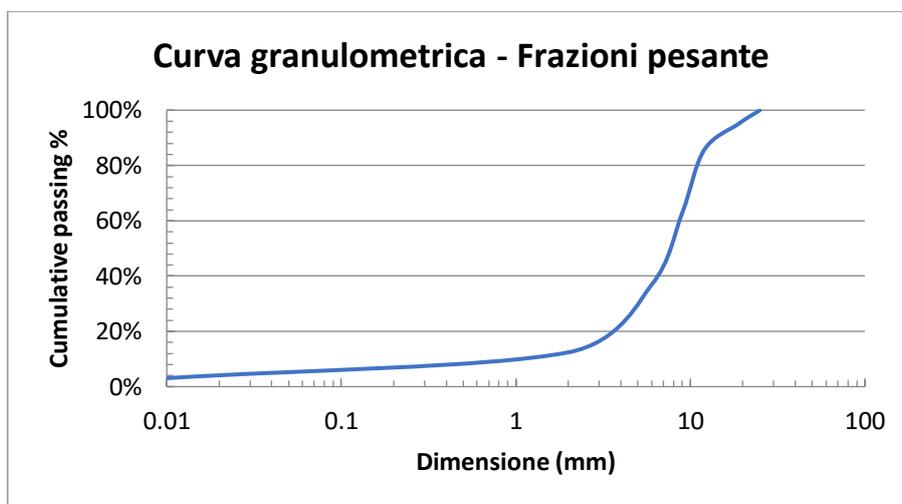


Figura 5.16: Curva granulometrica aria 100% frazione pesante

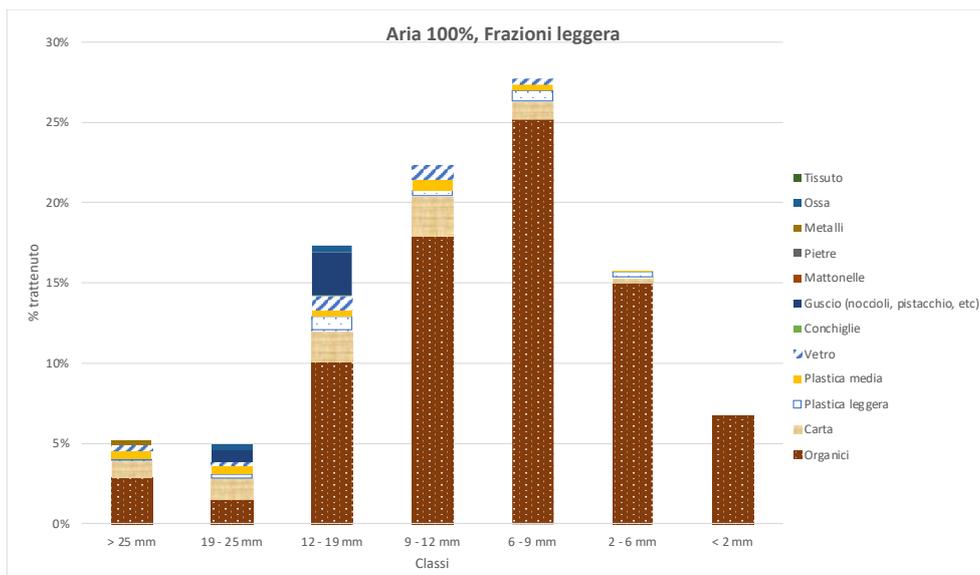


Figura 5.17: Analisi merceologica aria 100% frazione leggera

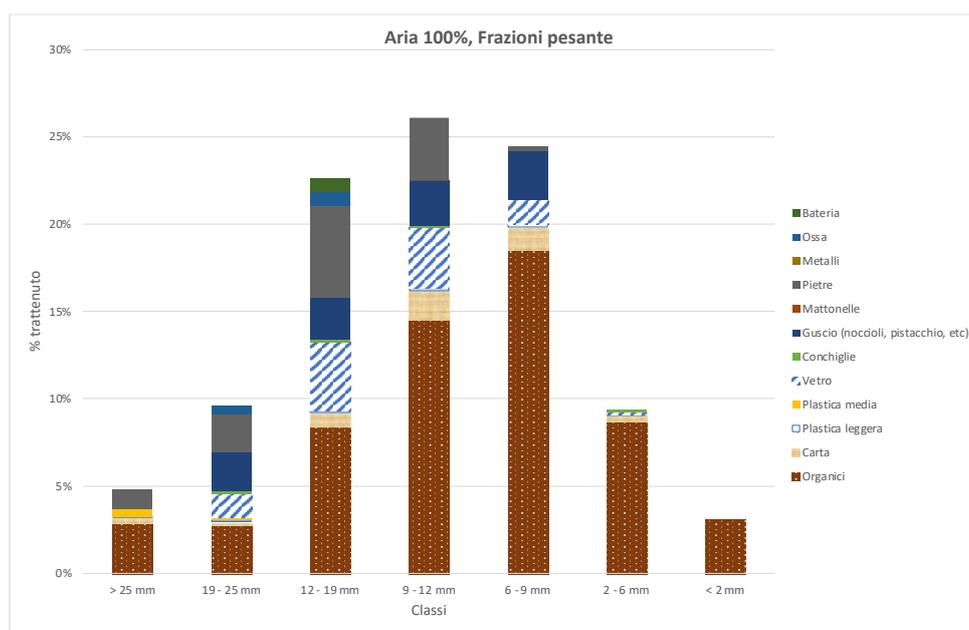
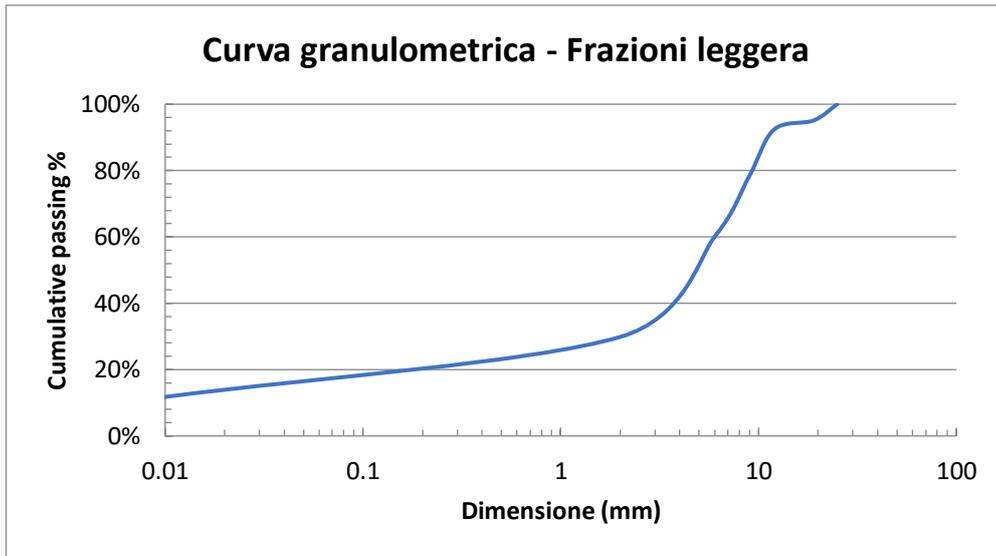
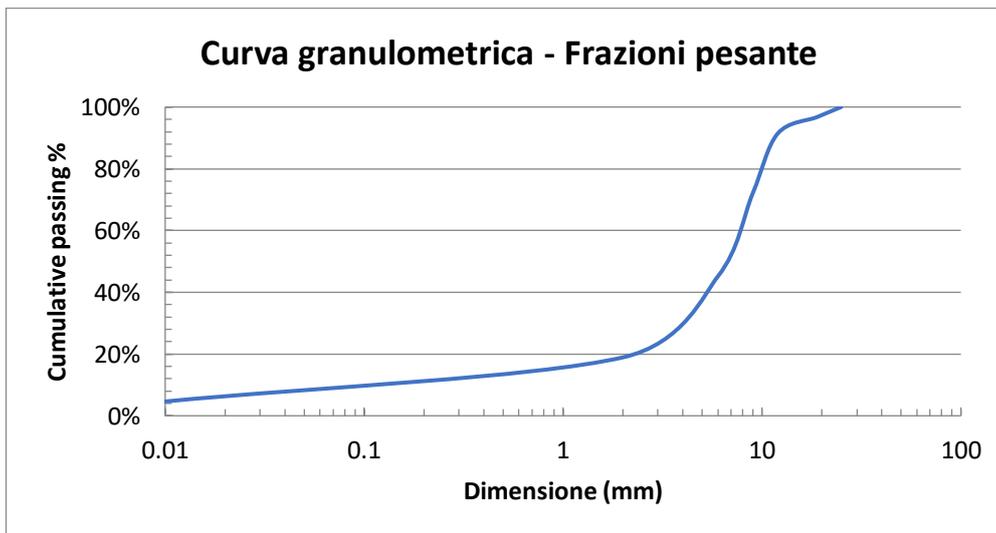


Figura 5.18: Analisi merceologica aria 100% frazione pesante



*Figura 5.19: Curva granulometrica aria 65% frazione leggera*



*Figura 5.20: Curva granulometrica aria 65% frazione pesante*

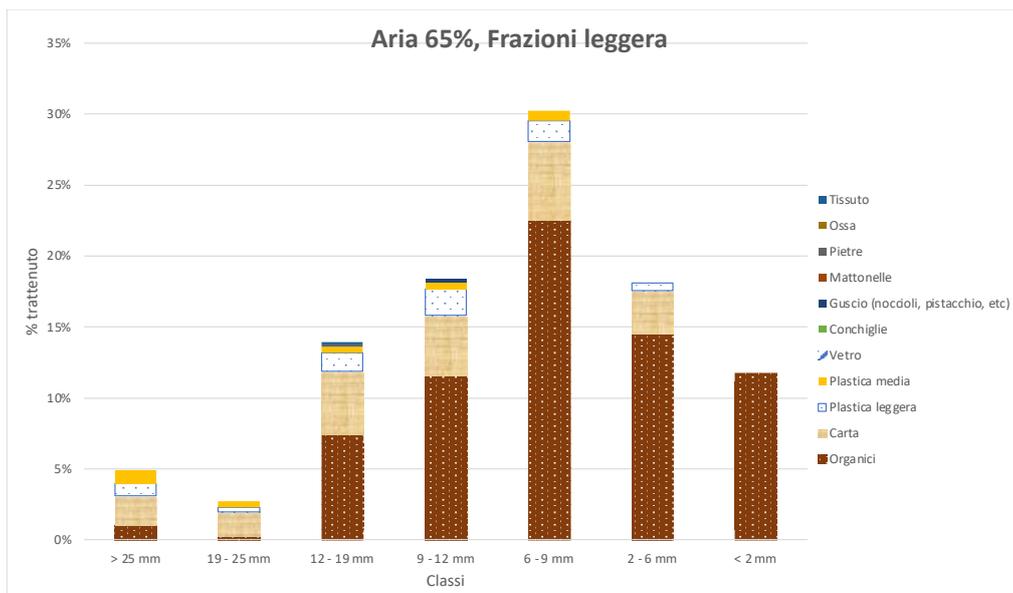


Figura 5.21: Analisi merceologica aria 65% frazione leggera

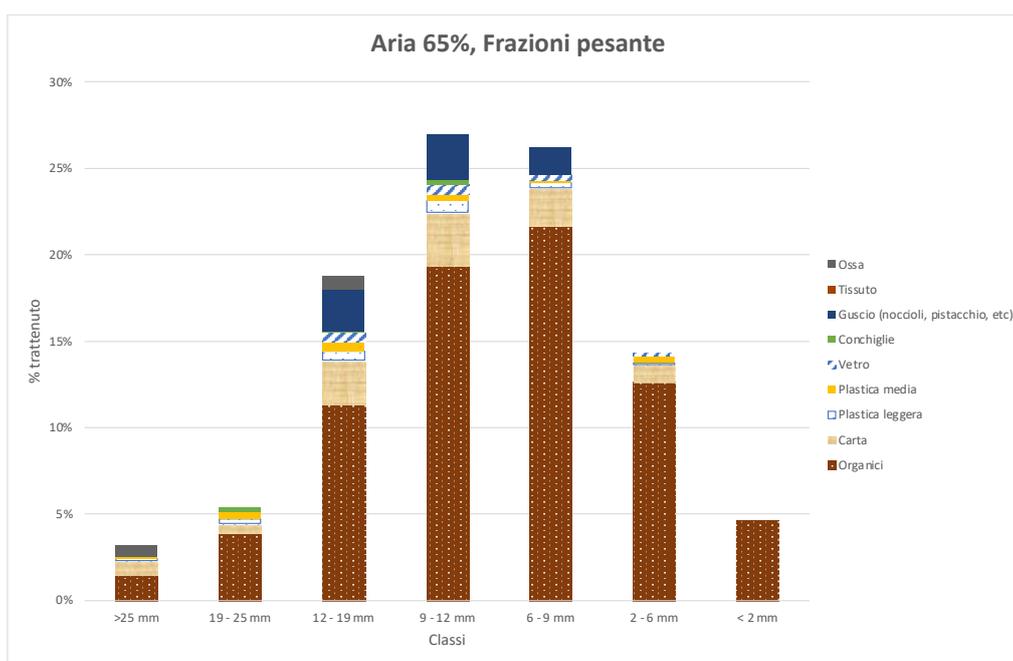


Figura 5.22: Analisi merceologica aria 65% frazione pesante

Osservando le curve granulometriche dei 4 campioni analizzati si può nuovamente osservare la presenza di una ingente quantità di materiale fine sotto i 12 mm che andrebbe recuperato migliorando l'efficienza della linea di raffinazione dell'impianto di G.A.I.A, così come anche gli istogrammi relativi all'analisi merceologica condotta sulle singole classi dei singoli campioni mostrano la presenza considerevole di materiale organico dalla classe granulometrica 12/9 mm in giù.

Inoltre, rispetto ai campioni originariamente analizzati, questi ultimi ottenuti tramite il separatore aeraulico hanno mostrato una minor percentuale di impurità presenti, con riferimento a materiali plastici, dimostrando quindi una buona efficienza di separazione dal compost. Una questione ancora irrisolta è, tuttavia, quella riguardante la presenza di carta e vetro, non rimossi con efficienza. Di conseguenza saranno necessarie ulteriori prove, valutando reggimi diversi di velocità del vento e del nastro o, eventualmente, l'utilizzo di altri macchinari che potrebbero sostituire il separatore aeraulico o lavorare in serie con esso.

## Capitolo 6

### 6.1 Proposta di un metodo innovativo per la separazione della plastica dal compost

Tra i partner del progetto SICOMPOSTA, come da elenco riportato nel paragrafo 4.2, la TOSO S.r.l. ha supportato lo studio; essa rappresenta una realtà aziendale che focalizza le proprie attività produttive nel campo della movimentazione di materiali e prodotti afferenti ai più svariati settori: dalla logistica di magazzino, al settore ecologico, dal settore ambientale a quello agro-alimentare, dal riciclaggio delle plastiche a quello delle gomme.

Con riferimento alle tematiche affrontate nel progetto, TOSO progetta e realizza sia trasportatori singoli che sistemi completi di trasporto, separazione e vagliatura per il riciclaggio; in particolare, il suo ruolo nel progetto è stato quello di progettare e successivamente realizzare il prototipo di attrezzatura che ha lo scopo di eliminare dalla matrice organica i materiali inerti e i residui di materiale plastico ancora presenti a seguito della raffinazione del prodotto finale.

Oggetto del trattamento di deplastificazione è stato, come già detto, il sovrallo all'uscita del trommel nella fase finale di raffinazione del compost; tale frazione, infatti, contenente un'elevata percentuale di plastica soprattutto in film, potrebbe incrementare il valore ambientale ed economico del processo se opportunamente trattata. Un opportuno trattamento di deplastificazione del sovrallo, infatti, andrebbe a migliorare la qualità del compost finale e porterebbe ad un decremento dei successivi costi di smaltimento in discarica. Questa particolare operazione di raffinazione concorre inoltre a migliorare le

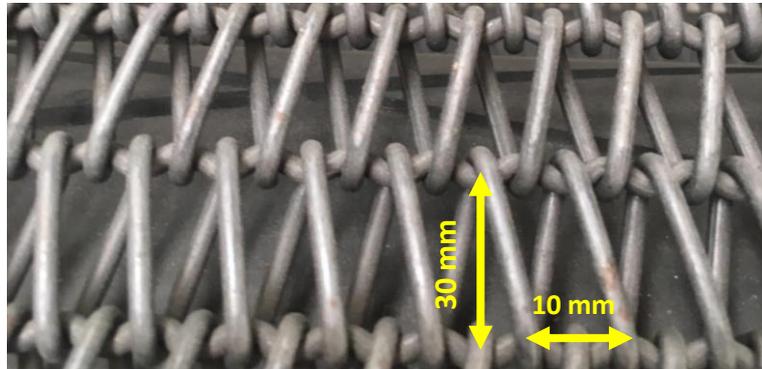
caratteristiche qualitative del materiale oggetto di studio rendendolo, di fatto, idoneo alla successiva fase di pellettizzazione.

All'interno del progetto quindi, la TOSO S.r.l si è occupata direttamente dello studio e della progettazione della macchina deplastificatrice, occupandosi anche della costruzione fisica della macchina presso la propria sede e del successivo montaggio presso l'impianto di compostaggio di G.A.I.A.

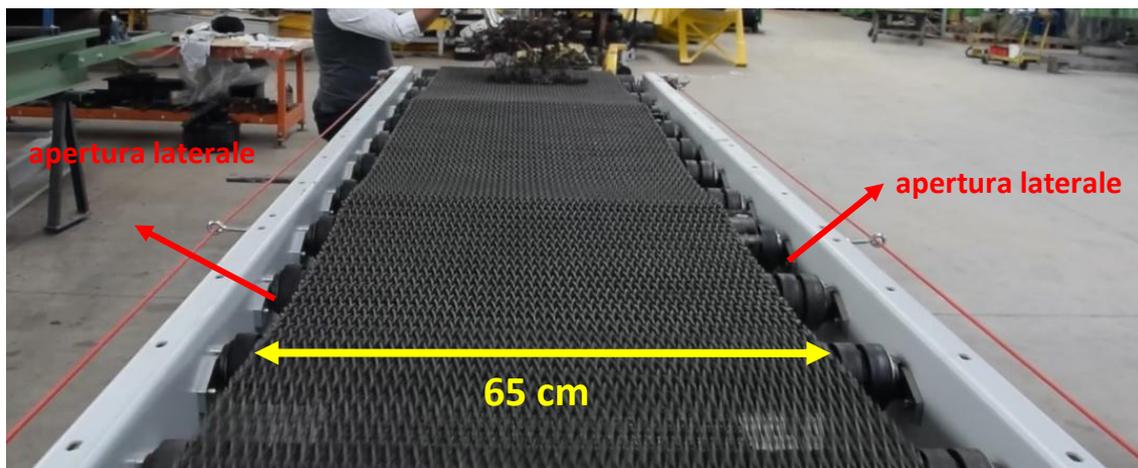
Particolare attenzione inoltre è stata data all'aspetto del consumo di energia, cercando di ottenere il massimo risultato tecnico/qualitativo del prodotto finale attraverso il minimo dispendio energetico possibile, in modo da poter presentare al mercato una macchina di nuova generazione completa di tutti i contenuti tecnologici necessari a garantire il rispetto dell'ambiente.

Dopo una prima fase di indagini di mercato, necessaria per valutare e comprendere quelle che sono le tecniche oggigiorno utilizzate per risolvere la problematica su cui si focalizza il progetto SICOMPOSTA, l'idea apparentemente semplice è stata quella di ricreare, tramite l'utilizzo di un nastro trasportatore a rete metallica, quelle che sono state le condizioni operative e i risultati ottenuti tramite l'utilizzo di una setacciatrice durante le analisi effettuate presso i laboratori del Politecnico di Torino. Inizialmente sono state condotte delle prove utilizzando un nastro già in possesso della TOSO S.r.l sul quale sono state però apportate delle modifiche: per riuscire infatti a ricreare un moto sussultorio in grado di far sobbalzare il materiale caricato sopra il nastro, esso è stato modificato aggiungendo dei rulli sbattitori metallici il cui scopo è stato quello di far compiere dei "salti" al materiale presente in modo da far cadere attraverso i fori il materiale fine, facendo così rimanere e scorrere sul nastro il materiale più grossolano. Tale prototipo aveva dimensioni 5x0.65 metri con una maglia rettangolare 1x3 centimetri, è stato

testato con una velocità di 70 Hz ed il materiale vi è stato fatto passare di sopra per tre volte, simulando quindi un nastro lungo 15 metri.

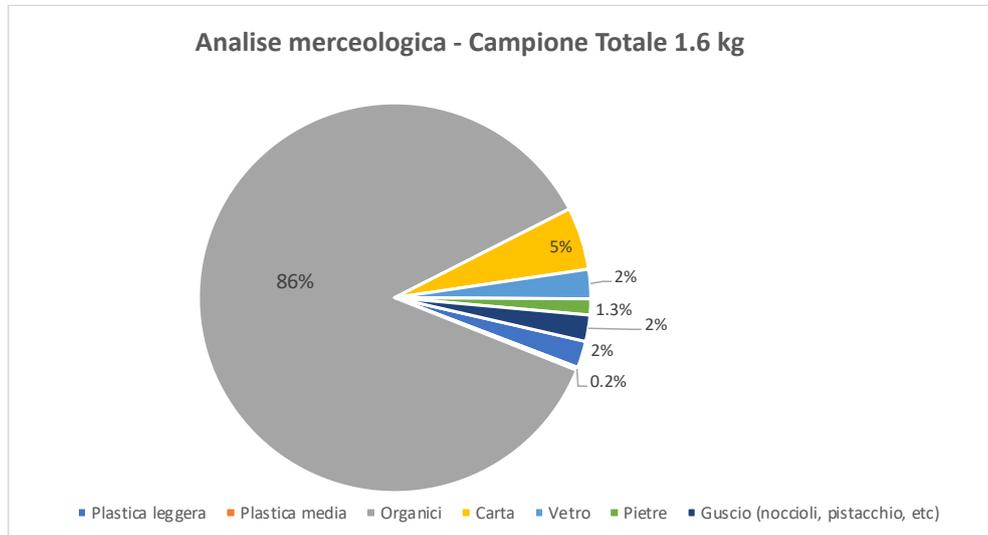


*Figura 6.1: Focus sulla maglia triangolare usata per la prova*

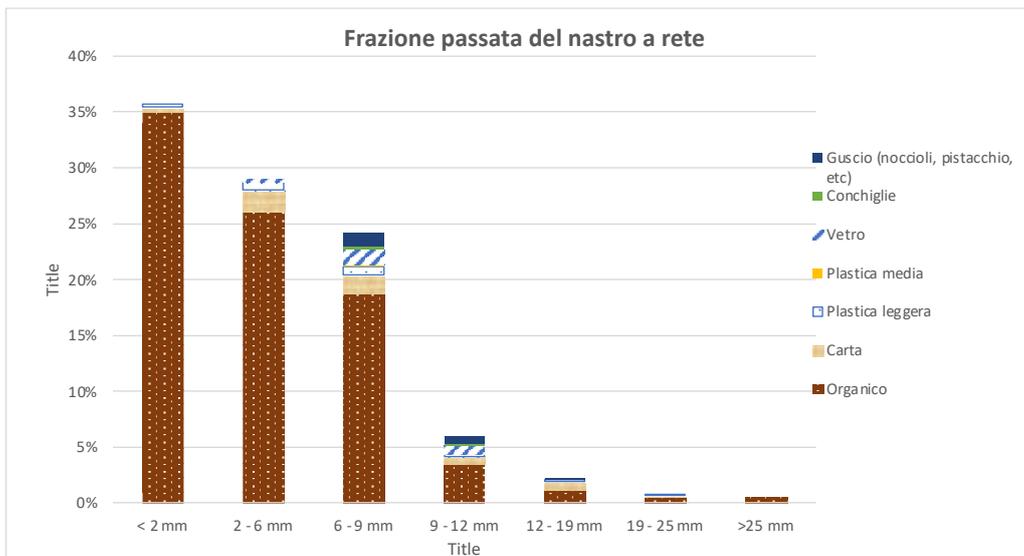


*Figura 6.2: Vista dall'alto prototipo macchina deplastificatrice*

I risultati ottenuti tramite questo primo prototipo di nastro deplastificatore sono riportati in Figura 6.3 e Figura 6.4:



*Figura 6.3: Composizione percentuale campione analizzato*



*Figura 6.4: Composizione merceologica campione con prototipo nastro a rete*

Come si può desumere dall'istogramma in Figura 6.4 l'utilizzo del nastro a rete ha consentito di recuperare tutta la frazione di dimensione minore di 12 mm, riscontrando inoltre un bassissimo quantitativo di materiali indesiderati; si possono infatti notare degli ottimi risultati in riferimento alla presenza di film plastici, lasciando però tuttavia in sospeso la problematica riguardante la presenza di carta e vetro. Di seguito viene riportato uno schema concettuale sulla situazione in presenza del nastro a rete:

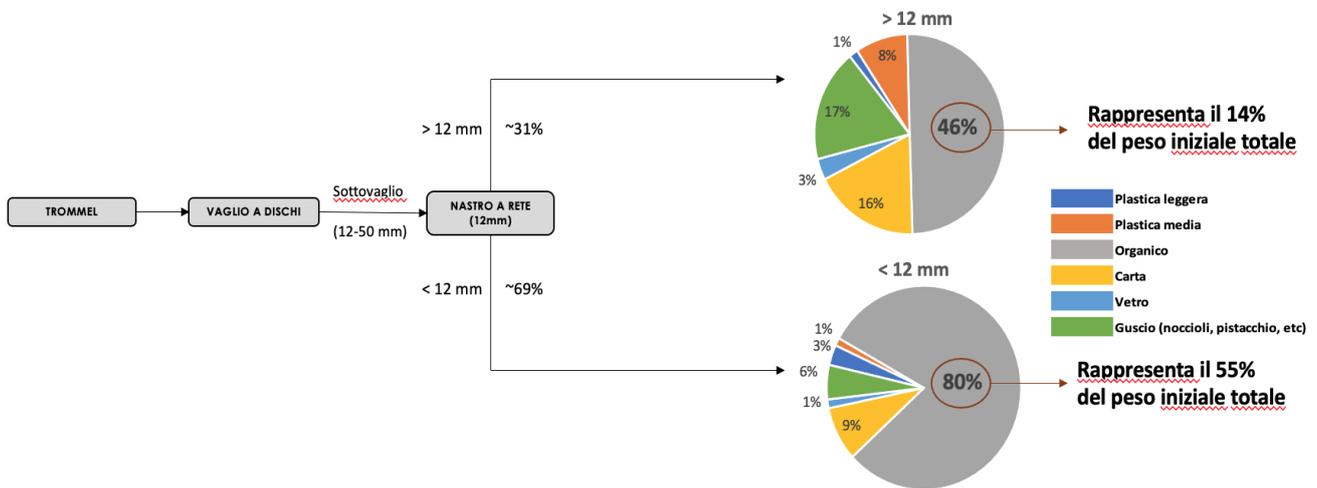


Figura 6.5: Schema a blocchi sui risultati del nastro a rete

## **6.2 Soluzione impiantistica proposta**

Sulla base quindi delle indagini di mercato effettuate, e considerando i risultati ottenuti tramite il separatore aeraulico prima ed il nastro trasportatore a rete metallica della TOSO S.r.l dopo, la proposta impiantistica consiste nell'aggiungere a valle del vaglio a dischi già presente nella linea di raffinazione di G.A.I.A dapprima un nastro trasportatore a maglia per recuperare tutto il fine che, in larga parte, è pulito e pronto per la successiva fase di pellettizzazione; dopodiché il materiale più grossolano (ovvero con diametro maggiore di 12 mm) viene fatto passare all'interno di un separatore aeraulico, con lo scopo di separare la plastica in maniera definitiva e recuperare tutto il materiale organico con dimensione superiore a quella dei vagli della maglia del nastro, ed infine il materiale di risulta viene fatto passare all'interno di una tavola densimetrica per riuscire a rimuovere anche inerti più difficili come ad il vetro.

Quanto detto è riportato in Figura 6.6:



*Figura 6.6: Schema a blocchi dei macchinari costituenti la proposta per la nuova linea di raffinazione di GAIA*

Tramite le modifiche pensate per implementare e migliorare la linea di raffinazione dell'impianto di GAIA si dovrebbe essere in grado di risolvere le problematiche su cui il progetto SICOMPOSTA è incentrato, consentendo di conseguenza all'azienda GAIA di avere, a valle del loro processo di post-trattamento, un compost pulito e rispettoso dei parametri riportati nell'attuale decreto sui fertilizzanti (D.lgs 217/06); utilizzando tale combinazione di macchinari, i risultati attesi sono riportati in Figura 6.7:

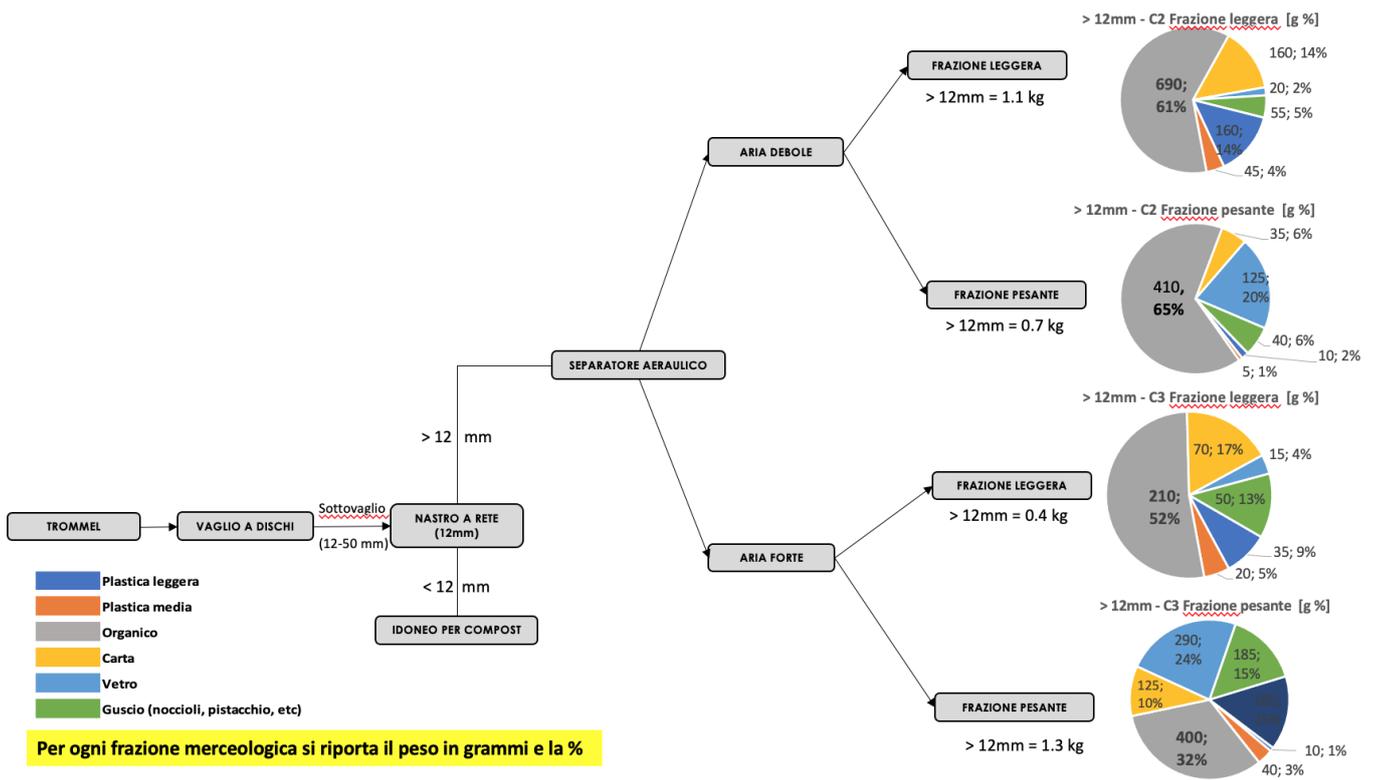


Figura 6.7: Soluzione impiantistica proposta con annessi risultati attesi

## Conclusioni

Il presente lavoro di tesi, svolto nell'ambito del progetto di ricerca e sviluppo della regione Piemonte "SICOMPOSTA", e che ha visto la collaborazione tra Politecnico di Torino, l'impianto di compostaggio G.A.I.A S.p.A e l'azienda TOSO S.r.l, si pone come obiettivo quello di sviluppare ed implementare una macchina deplastificatrice in grado di rimuovere materiali plastici non biodegradabili dal compost prodotto da G.A.I.A, con lo scopo di aumentarne il valore economico e renderlo idoneo alla denominazione "compost di qualità" definita dal decreto nazionale sui fertilizzanti (D.lgs 217/06).

Nel presente lavoro di tesi sono state quindi innanzitutto effettuate delle analisi sulla composizione granulometrica e merceologica del compost di G.A.I.A, con lo scopo di valutare l'effettiva presenza di impurità: tali analisi, effettuate su un campione iniziale di 11 kg, hanno permesso di dimostrare la presenza di materiali indesiderati, principalmente film plastici (2.66%), plastica dura (3.34%), carta (10.97%) e vetro (1.92%), come anche riportato in *Figura 5.5*. Oltre ciò, è stata riscontrata una ulteriore problematica: nel campione analizzato, infatti, era presente una considerevole percentuale di materiale organico con diametro minore di 12 mm ( $\pm 80\%$ ), idoneo ad essere utilizzato come ammendante poiché pulito e povero di impurità; questo secondo aspetto implica una perdita di guadagno per l'impianto di G.A.I.A, e la conseguente necessità di migliorare l'efficienza della linea di raffinazione dell'impianto tramite l'introduzione di nuovi macchinari, o andando a modificare i parametri di processo delle macchine già presenti. Inoltre, tramite l'utilizzo della Spettroscopia Infrarossa a Trasformata di Fourier (o FTIR), tecnica utile per la caratterizzazione dei materiali, sono stati analizzati

12 campioni di materiale plastico prelevati dal compost di G.A.I.A, per valutare la presenza o meno di bioplastiche; i risultati ottenuti, riportati nell'*Allegato 1*, hanno dimostrato la presenza di plastiche non biodegradabili. Al fine quindi di risolvere le criticità riscontrate nel compost analizzato e, contestualmente, della linea di raffinazione di G.A.I.A, sono state testate *in situ* diverse possibili soluzioni tecnologiche: innanzitutto, in collaborazione con la TOSO S.r.l, è stato sviluppato e testato un prototipo di nastro trasportatore a rete metallica il quale, tramite l'utilizzo di rulli sbattitori in grado di far "sobbalzare" il materiale sul nastro, ha permesso di recuperare compost pulito con diametro minore di 12 mm (87%), consentendo anche di ridurre, seppur in parte, la quantità di impurità presenti nel campione recuperato. Tale macchinario, che tuttavia è ancora in fase di progettazione e miglioramento, non ha permesso di ottenere a pieno i risultati attesi, dimostrandosi comunque abbastanza efficace per quanto riguarda il recupero di materiale fine sotto i 12 mm. Ulteriori prove di separazione sono state effettuate tramite l'utilizzo di un separatore aeraulico (*Figura 4.5*), macchinario che sfrutta un getto d'aria per separare tra loro materiali leggeri, come la plastica, da materiali pesanti che cadono per gravità. Tali prove sono state condotte sotto diversi regimi di velocità dell'aria (65% e 100%) e del nastro (50% e 100%), dove la prova con aria 65% e velocità del nastro 50% è stata effettuata sulla frazione leggera separata nel primo caso, ovvero con il separatore aeraulico tarato su aria 100% e velocità del nastro 100%, con lo scopo di ottenere il miglior compromesso per ottenere il massimo risultato possibile.

I risultati ottenuti (da *Figura 5.15* a *Figura 5.22*) hanno mostrato anche in tal caso una elevata quantità di compost pulito sotto i 12 mm, recuperabile una

volta realizzato il prototipo finale di nastro a rete metallica, ma anche una buona capacità di rimozione dei materiali plastici dal compost, che tuttavia presenta ancora percentuali non trascurabili di vetro e carta. Pertanto, è stata proposta una nuova soluzione impiantistica che prevede l'utilizzo in serie del nastro a rete metallica per il recupero del materiale fine e pulito sotto i 12 mm, un separatore aeraulico per la rimozione della plastica e una tavola densimetrica (*Figura 4.6*) per la rimozione del vetro.

Ad oggi, questa rimane solo una proposta che non ha ancora avuto riscontri a scala reale: di conseguenza, nell'ambito del progetto SICOMPOSTA, saranno svolte ulteriori prove per valutare l'effettiva efficienza o meno della proposta impiantistica fatta.

## **Bibliografia**

A. Michelson. *Phil.Mag.* 31 (1891) 338, 34 (1892) 280.

B. C. Smith. *Foundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. CRC Press (1996).

DE BERTOLDI M., VALLINI G., PERA A. (1985).  
Technological aspects of composting including modelling and microbiology. In: *Composting of Agricultural and Other Wastes* (J.K.R. Gasser ed.), pp. 27-40, Elsevier Applied Science Publishers, London - New York.

EEA, 2018, *The circular economy and the bioeconomy — partners in sustainability*, EEA Report No 8/2018, European Environment Agency

EPSTEIN E., WILLSON G.B., BURGE D.C., ENKIRI N.K. (1976). A forced aeration system for composting wastewater sludge. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, 48: 688-694.

ETC/WMGE, 2019a, *ETC/WMGE elaboration based on data provided by EIONET through an EEA-ETC/WMGE survey*, European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy, Mol, Belgium.

ETC/WMGE, 2019b, 'European Reference Model on Municipal Waste', European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy (<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/wastemodel>) accessed 12 August 2019.

Eurostat, 2019, 'Municipal waste by waste management operations', Eurostat ([http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en)) accessed 19 August 2019.

Eurostat, 2020, 'Municipal waste by waste management operations', Eurostat ([http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env\\_wasmun&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en)) accessed 5 February 2020.

FINSTEIN M.S., MILLER F.C., STROM P.F., MACGREGOR S.T., PSARIANOS K.M. (1983). Composting ecosystem management for waste treatment. *Bio/Technology*, 1(4): 347-353.

FINSTEIN M.S., MILLER F.C., STROM P.F. (1986). Waste treatment composting as a controlled system. In: *Biotechnology* (H.J. Rehm and G. Reed eds), *Vol. 8* (W. Schönborn ed.), pp. 362-398, VCH, Weinheim.

Lacy, Peter, Jacob Rutqvist, and Beatrice Lamonica. *Circular economy: Dallo spreco al valore*. EGEA spa, 2016.

USDA-NRCS (2000). Composting. Part 637 Environmental Engineering - National Engineering Handbook, Chapter 2, pp. 2-4, Washington D.C..

VALLINI G. (1995b). Il compostaggio. In: *La protezione dell'ambiente in Italia* (a cura di I. Bertini, R. Cipollini, P. Tundo), pp. 83-134, Società Chimica Italiana, Roma.

VALLINI G., PERA A., SORACE G., CECCHI C., MANETTI P. (1990). Green composting. *Bioycle*, 31(6): 33- 35.

VALLINI G., PERA A., VALDRIGHI M., CECCHI F. (1993).  
Process constraints in source-collected vegetable waste  
composting. *Wat. Sci. Tech.*, 28(2): 229-236.

## **Sitografia**

[www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org);  
[www.osti.gov.it](http://www.osti.gov.it);  
[www.certifico.com](http://www.certifico.com);  
[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it);  
[www.camera.it](http://www.camera.it);  
[www.osservatorioagromafie.it](http://www.osservatorioagromafie.it);  
[www.gaia.at.it](http://www.gaia.at.it);  
[www.politicheagricole.it](http://www.politicheagricole.it);  
[www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it);  
[www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu);  
[www.snpambiente.it](http://www.snpambiente.it);  
[www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu);  
[www.confservizi.emr.it](http://www.confservizi.emr.it);  
[www.regione.piemonte.it](http://www.regione.piemonte.it);

[www.catasto-rifiuti.isprambiente.it](http://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it);

[www.komptech.com](http://www.komptech.com);

[www.camec.net](http://www.camec.net);

[www.crit-research.it](http://www.crit-research.it);

[www.ecotecsolution.com](http://www.ecotecsolution.com);

[www.steinertglobal.com](http://www.steinertglobal.com);

[www.gsaneews.it](http://www.gsaneews.it);

[www.plasticsort.com](http://www.plasticsort.com);

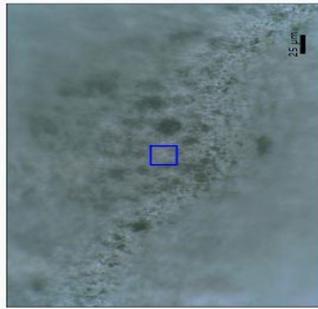
# **Allegato 1**

**Spettri infrarossi dei campioni di  
plastica analizzati**



Microscopic Area

X:35446 Y:15979 Z:38060 Aperture: W:25 H:25 Angle:0



Tile Area



Search Condition Display Area



Library list

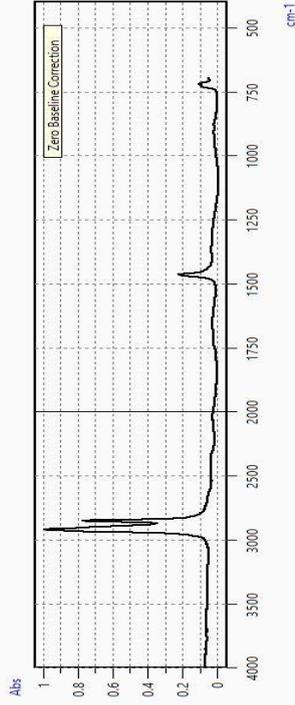
Shimadzu Standard Library Vol.1 (SHL...  
Shimadzu Standard Library Vol.2 (shim...  
ATR-Polymer2  
T-Polymer2

Maximum hits : 20

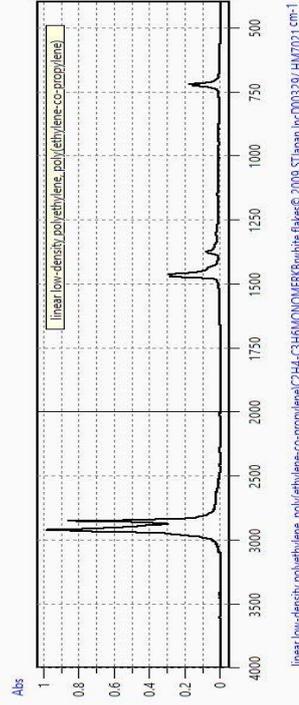
Minimum quality : 0

Algorithm : CorrDeriv

Spectrum Area



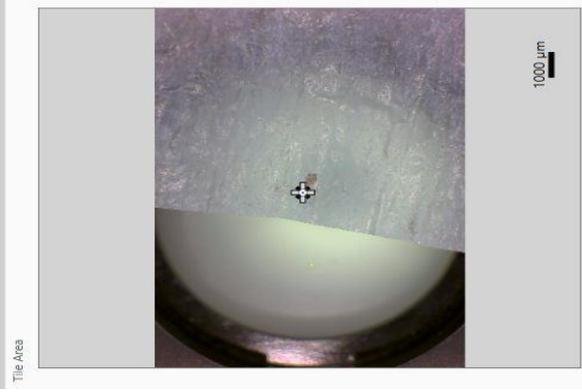
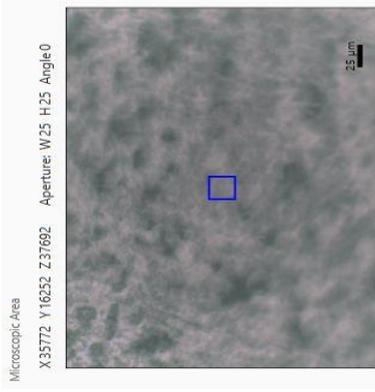
Spectrum Area



linear low-density polyethylene, poly(ethylene-co-propylene)/C2H4-C3H6/MONOMER/white fibres© 2009 STJapan IncD00329/HW7021 cm-1

Hit List Area

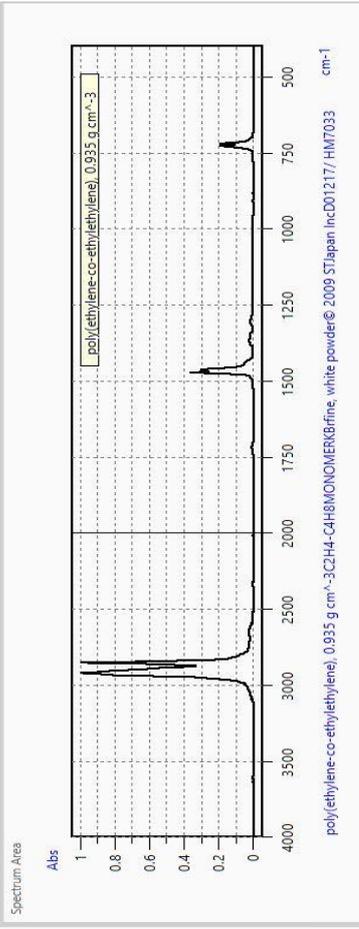
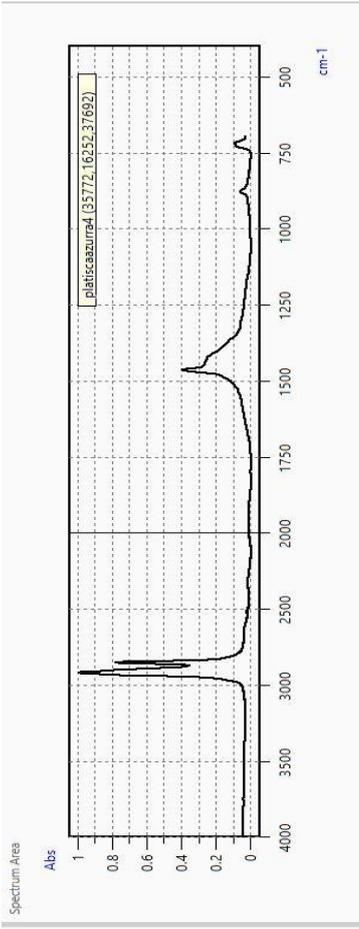
Score	Library	Name	Comment
956	Shimadzu Standard Library Vol.2 (shim2004-1 -	linear low-density polyethylene, poly(ethylene	linear low-density polyethylene, poly(ethylene-co-propylene)/C2H4-C3H6/MONOMER/white fibres© 2009 STJapan IncD00329/HW7021
954	Shimadzu Standard Library Vol.2 (shim2004-1 -	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene), 0.835 g cm <sup>3</sup> .	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene), 0.835 g cm <sup>3</sup> . cm <sup>-1</sup> . C2H4-C4H8/MONOMER/fine white powder© 2009 STJapan IncD1217/HW7033
953	Shimadzu Standard Library Vol.2 (shim2004-1 -	poly(ethylene-co-E-butylene), 1.3 mol% cof	poly(ethylene-co-E-butylene), 1.3 mol% cof copolymerized butadiene/C2H4-C4H6/MONOMER/white powder© 2009



Search Condition Display Area

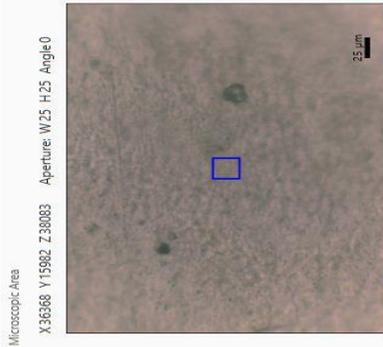
Library list  
 Shimadzu Standard Library Vol.1SHL...  
 Shimadzu Standard Library Vol.2shim...  
 ATR-Polymer2  
 T-Polymer2

Maximum hits : 20  
 Minimum quality : 0  
 Algorithm : CorrDeriv



HIT List Area

Score	Library	Name	Comment
946	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(ethylene-co-ethylene), 0.935 g cm <sup>-3</sup>	poly(ethylene-co-ethylene), 0.935 g cm <sup>-3</sup> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> MONOMERKBrfine, white powder© 2009 STJapan IncD01217/ HM7033
942	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	linear low-density polyethylene, poly(ethylene-co-propylene)C2H4-C3H6MONOMERKBrwhite flakes© 2009 STJapan IncD00329/ HM7021	linear low-density polyethylene, poly(ethylene-co-propylene)C2H4-C3H6MONOMERKBrwhite flakes© 2009 STJapan IncD00329/ HM7021
941	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(ethylene-co-E-butylene), 1.3 mol% copolymerized butadieneC2H4-C4H6MONOMERKBrwhite powder© 2009	poly(ethylene-co-E-butylene), 1.3 mol% copolymerized butadieneC2H4-C4H6MONOMERKBrwhite powder© 2009



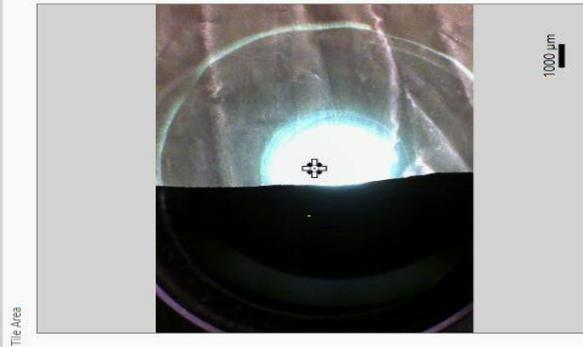
Search Condition Display Area



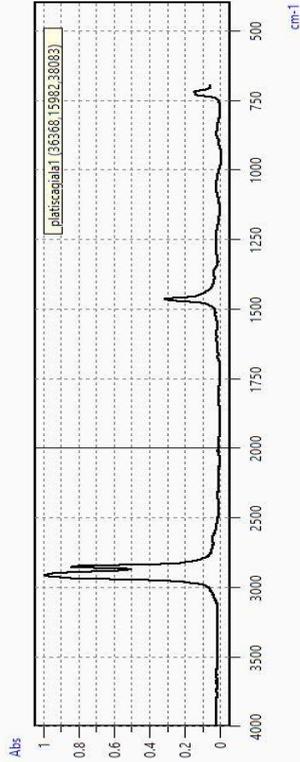
Library list

Shimadzu Standard Library Vol. 1SHI...  
Shimadzu Standard Library Vol. 2shim...  
ATR-Polymer2  
T-Polymer2

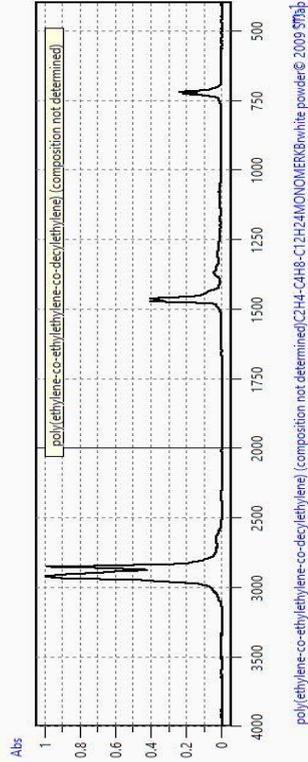
Maximum hits : 20  
Minimum quality : 0  
Algorithm : CorDeriv



Spectrum Area



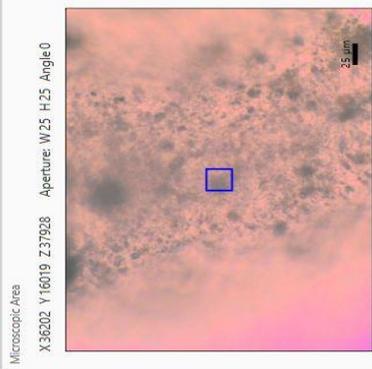
Spectrum Area



poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene) (composition not determined)(C2H4-C4H8-C12H24MONOMER&white powder© 2009 STJap

HT List Area

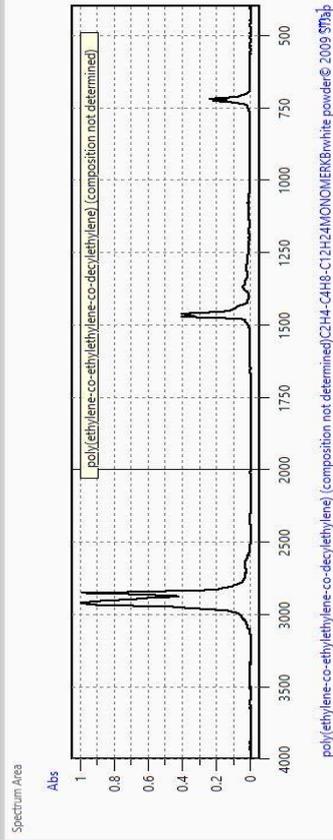
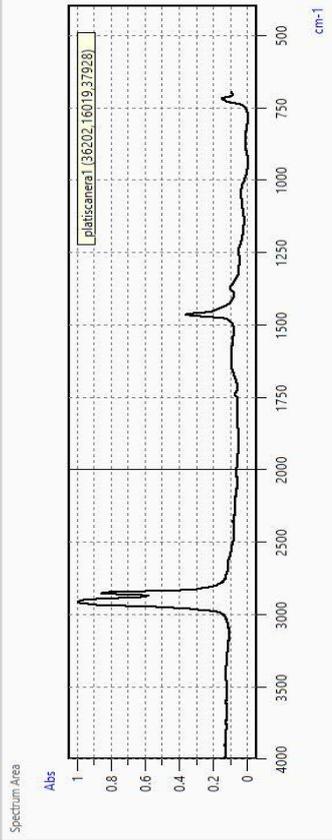
Score	Library	Name	Comment
951	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene) (composition not determined)(C2H4-C4H8-C12H24MONOMER&white powder© 2009 STJapen IncD01225/ HM7045	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene) (composition not determined)(C2H4-C4H8-C12H24MONOMER&white powder© 2009 STJapen IncD01225/ HM7045
950	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene) 0.935 g cm <sup>-3</sup>	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene) 0.935 g cm <sup>-3</sup>
946	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(ethylene-co-decyl(ethylene) ; 3.0 decyl side-groups/1000 C. DC2H4-C12H24MONOMER&milkly-white material©	poly(ethylene-co-decyl(ethylene) ; 3.0 decyl side-groups/1000 C. DC2H4-C12H24MONOMER&milkly-white material©



Search Condition Display Area

Library list  
Shimadzu Standard Library Vol. 15HL...  
Shimadzu Standard Library Vol. Zshim...  
ATR-Polymer2  
T-Polymer2

Maximum hits : 20  
Minimum quality : 0  
Algorithm : CorDeriv



poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene))) (composition not determined)C2H4-C4H8-C12H24MONOMERK(white powder) © 2009 979.jp

Hit List Area

Score	Library	Name	Comment
954	Shimadzu Standard Library Vol. Zshim2404-1 -	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene))) (composition not determined) C2H4-C4H8-C12H24MONOMERK(white powder) © 2009 979.jp	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene))) (composition not determined) C2H4-C4H8-C12H24MONOMERK(white powder) © 2009 979.jp
950	Shimadzu Standard Library Vol. Zshim2404-1 -	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene))) (composition not determined) C2H4-C4H8-C12H24MONOMERK(white powder) © 2009 979.jp	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene-co-decyl(ethylene))) (composition not determined) C2H4-C4H8-C12H24MONOMERK(white powder) © 2009 979.jp
945	Shimadzu Standard Library Vol. Zshim2404-1 -	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene)) (0.935 g cm⁻³)	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene)) (0.935 g cm⁻³)



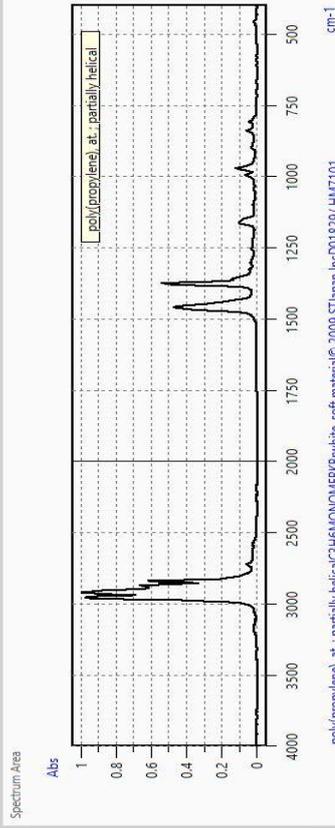
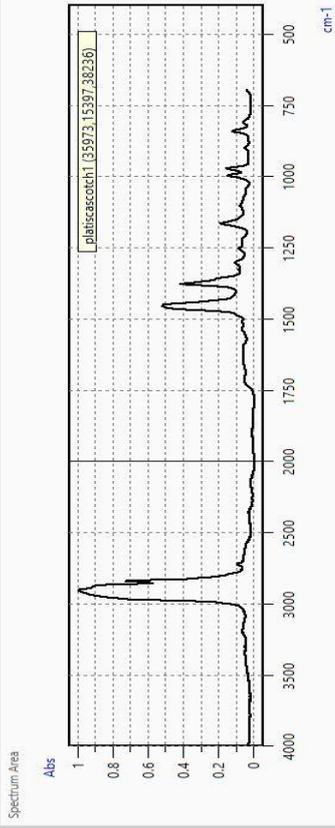
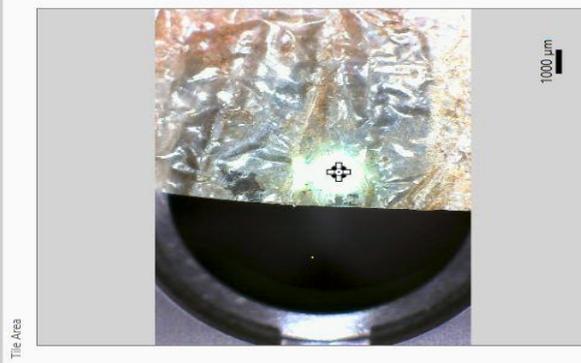
Search Condition Display Area



Library list

Shimadzu Standard Library Vol.1SHI...  
Shimadzu Standard Library Vol.2shim...  
ATR-Polymer2  
T-Polymer2

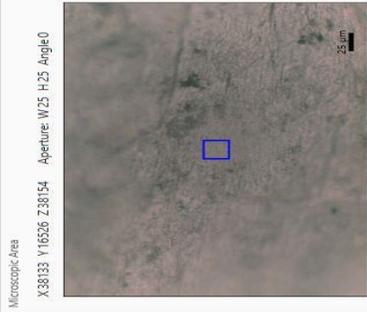
Maximum hits : 20  
Minimum quality : 0  
Algorithm : CorDenV



poly(propylene).at.; partially helicalC3H6MONOMER6white soft material© 2009 STJapan IncD01829/HM7101

Hit List Area

Score	Library	Name	Comment
917	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	poly(propylene).at.; partially helical	poly(propylene).at.; partially helicalC3H6MONOMER6white soft material© 2009 STJapan IncD01829/HM7101
902	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	stereoblock polypropylene (10.8% crystallinity)	stereoblock polypropylene (10.8% crystallinity) C3H6MONOMER6white coarse material© 2009 STJapan IncD02780/HM7097
888	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	polypropylene-b-poly(methylvinylketone)	polypropylene-b-poly(methylvinylketone) C3H6-C4H6MONOMER6white powder© 2009 STJapan IncD02677/HM7120
804	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	poly(monoolefin).it	poly(monoolefin).it.C3H6MONOMER6white



Search Condition Display Area

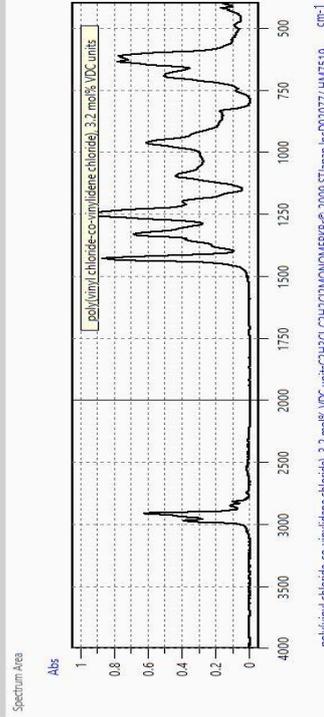
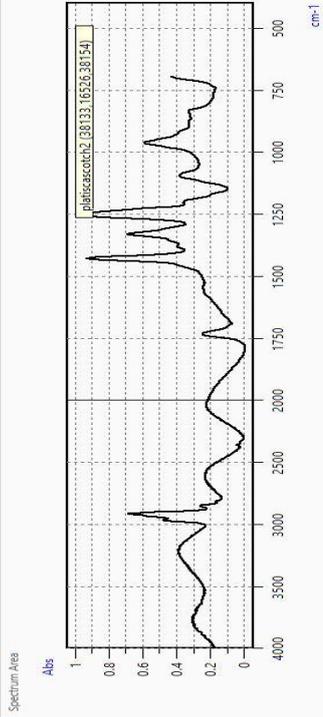
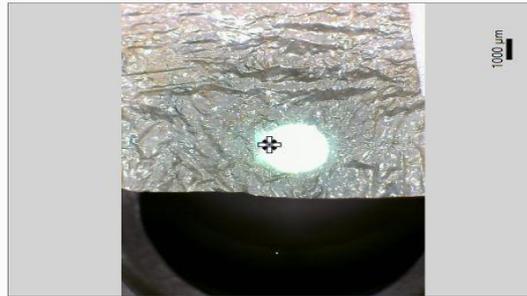


Library list

- Shimadzu Standard Library Vol. 1SHI...
- Shimadzu Standard Library Vol. 2shim...
- ATR-Polymer2
- T-Polymer2

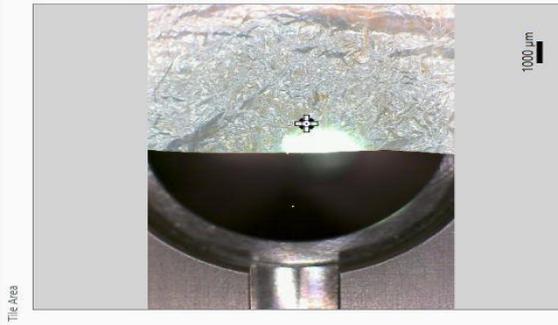
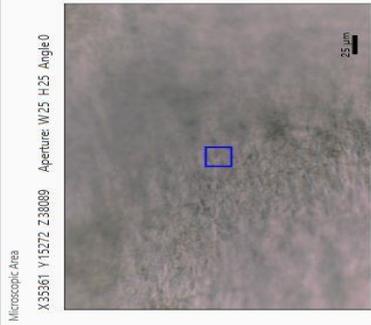
Maximum hits : 20  
Minimum quality : 0  
Algorithm : CoriDeriv

Tile Area



Hit List Area

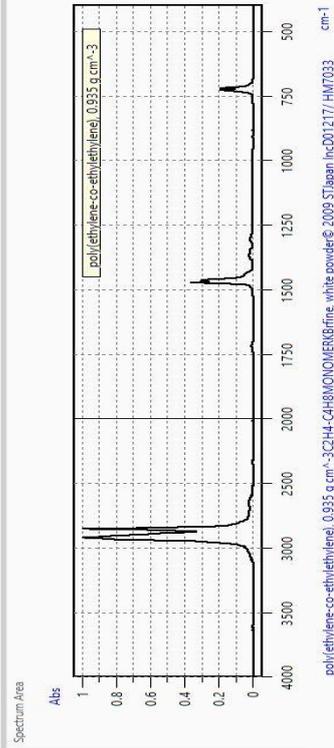
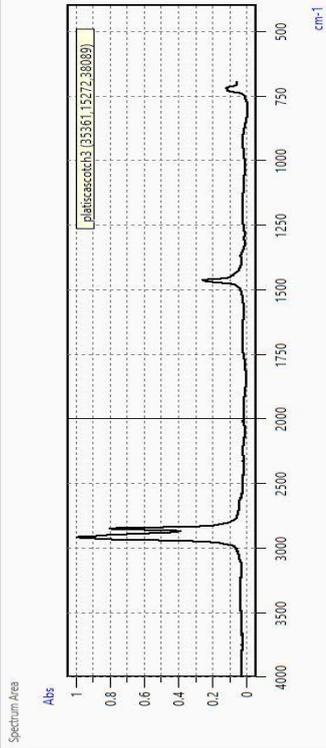
Score	Library	Name	Comment
984	Shimadzu Standard Library (vol. 2shim204-1 -	poly(vinyl chloride-co-vinylidene chloride), 3.2 mol% VDC units	poly(vinyl chloride-co-vinylidene chloride), 3.2 mol% VDC units
983	T-Polymer2 - 151	T_PVC4	poly(vinyl chloride-co-vinylidene chloride), 3.2 mol% VDC units
954	ATR-Polymer2 - 191	D_PVC4	CH2Cl2 MONOMER 2008 STIapan IncD02077 / HM7519
951	ATR-Polymer2 - 164	D_PVC3	Polyvinylchloride Transmission(Microscope)
946	ATR-Polymer2 - 165	D_PVC_Carboxylated	Polyvinylchloride DuraSampler
			Poly(Vinyl Chloride)(Inherent viscosity 1.40) DuraSampler-II
			Poly(Vinyl Chloride)(PVC) Carboxylated



Search Condition Display Area

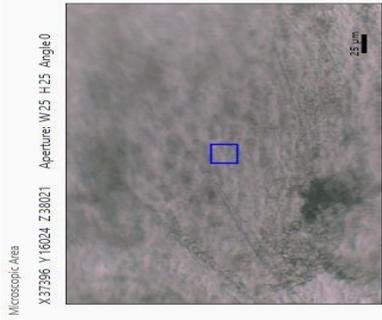
Library list  
 Shimadzu Standard Library Vol.1SHI...  
 Shimadzu Standard Library Vol.2shim...  
 ATR-Polymer2  
 T-Polymer2

Maximum hits : 20  
 Minimum quality : 0  
 Algorithm : CorDeriv



HPLIS Area

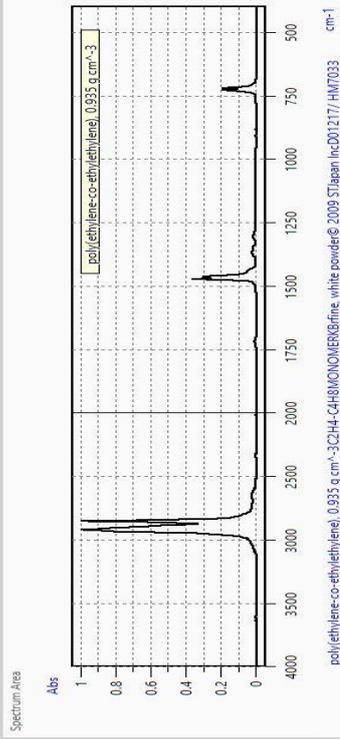
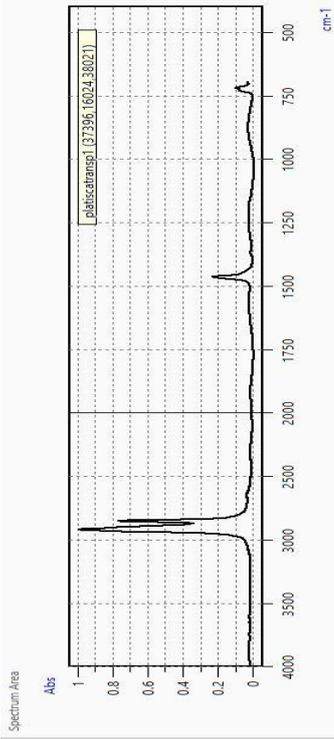
Score	Library	Name	Comment
955	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene), 0.935 g.cm⁻¹-3C2H4-C4H8MONOMERGrfine, white powder © 2009 STJapan Inc01217/HMT033	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene), 0.935 g.cm⁻¹-3C2H4-C4H8MONOMERGrfine, white powder © 2009 STJapan Inc01217/HMT033
949	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	poly(ethylene-co-decyl(ethylene), 3.0 decyl side-groups/1000 C.D2H4-C12H24MONOMERGrmille-white material © 2009 STJapan Inc01208/HMT050	poly(ethylene-co-decyl(ethylene), 3.0 decyl side-groups/1000 C.D2H4-C12H24MONOMERGrmille-white material © 2009 STJapan Inc01208/HMT050
947	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	poly(ethylene-co-E-butyl(ethylene), 1.3 mol% copolymerized butadieneC2H4-C4H8MONOMERGrwhite powder © 2009	poly(ethylene-co-E-butyl(ethylene), 1.3 mol% copolymerized butadieneC2H4-C4H8MONOMERGrwhite powder © 2009



Search Condition Display Area

Library List  
 Shimadzu Standard Library Vol.1SHL...  
 Shimadzu Standard Library Vol.2shim...  
 ATR-Polymer2  
 T-Polymer2

Maximum hits : 20  
 Minimum quality : 0  
 Algorithm : ConDist



Hit List Area

Score	Library	Name	Comment
952	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene)) 0.935 g cm <sup>-2</sup>	poly(ethylene-co-ethyl(ethylene)) 0.935 g cm <sup>-2</sup> -3C2H4-C4H8MONOMER&fine, white powder © 2009 STJapan IncD01217/HM7033
950	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	linear low-density polyethylene, poly(ethylene (ethylene-co-propylene)C2H4-	linear low-density polyethylene, poly(ethylene-co-propylene)C2H4-C4H8MONOMER&white flakes © 2009 STJapan IncD00329/HM7021
947	Shimadzu Standard Library Vol.2shim2404-1	poly(ethylene-co- <i>n</i> -butyl ethylene) ; 16.7 i-butyl side-groups/1000C2H4-	poly(ethylene-co- <i>n</i> -butyl ethylene) ; 16.7 i-butyl side-groups/1000C2H4-C6H12MONOMER&milky-white material ©

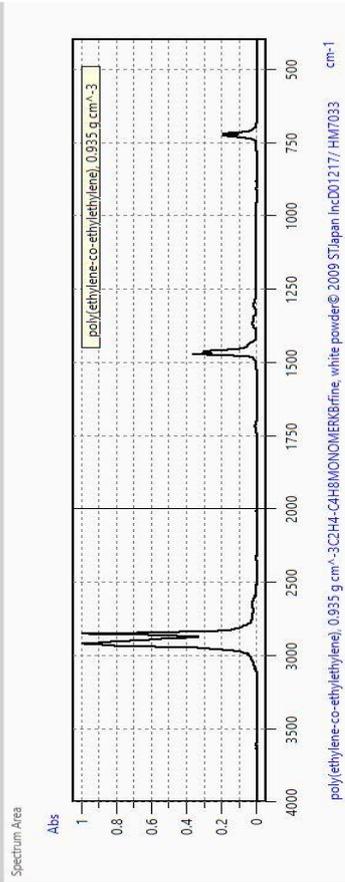
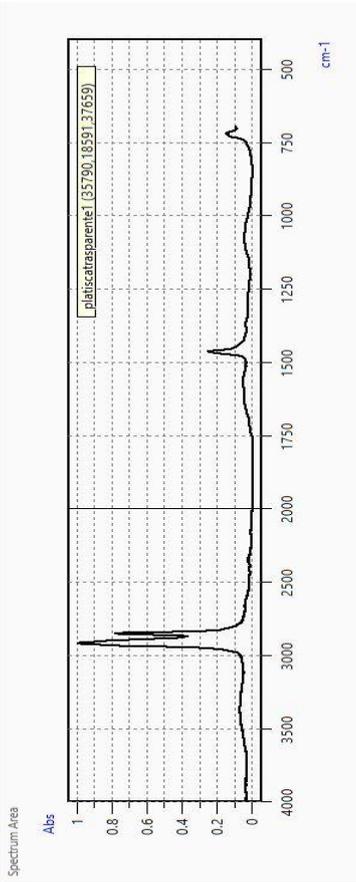
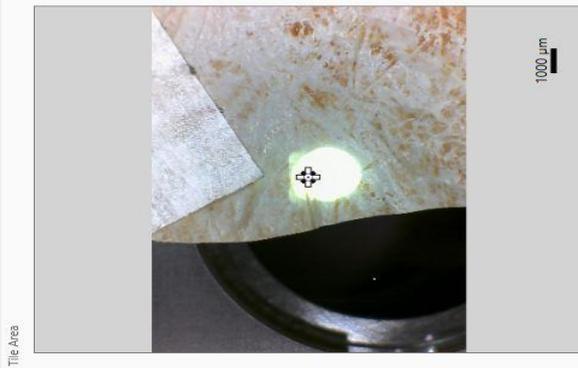




Search Condition Display Area

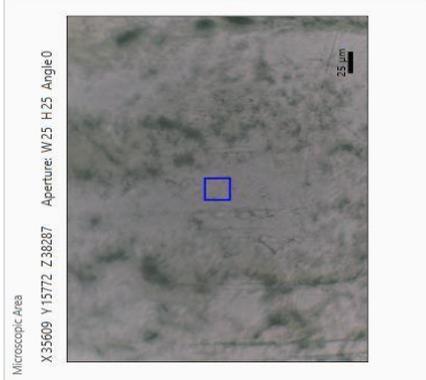
Library List  
Shimadzu Standard Library Vol. 1SHI...  
Shimadzu Standard Library Vol. 2shim...  
ATR-Polymer2  
T-Polymer2

Maximum hits: 20  
Minimum quality: 0  
Algorithm: CorDeriv



Hit List Area

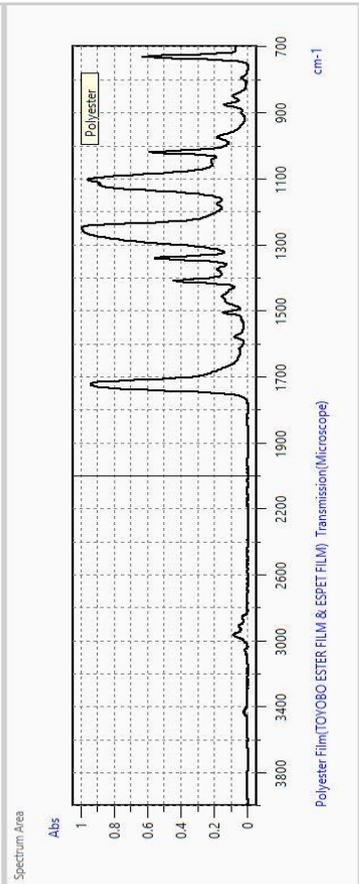
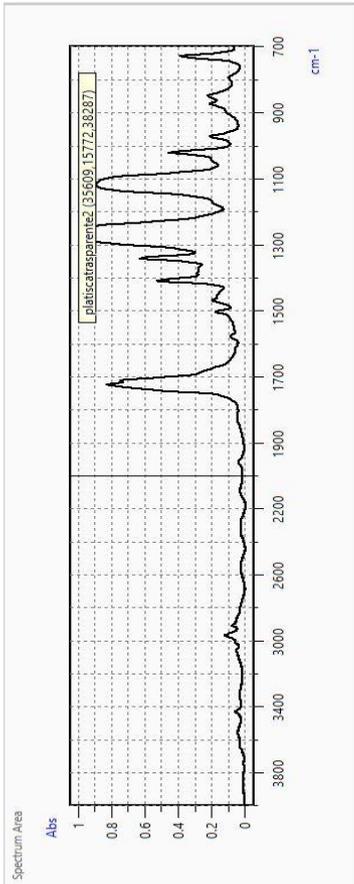
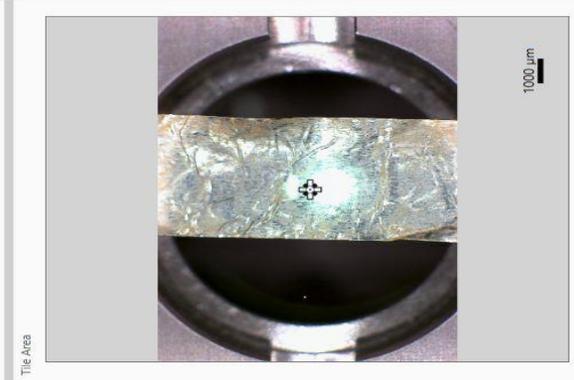
Score	Library	Name	Comment
948	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(ethylene-co-ethylene) 0.935 g cm <sup>-3</sup>	poly(ethylene-co-ethylene) 0.935 g cm <sup>-3</sup> C4H8MONOMERBrfine, white powder © 2009 STJapan IncD01217/ HM7033
943	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(ethylene-co-decyl(ethylene) 3.0 decyl sic	poly(ethylene-co-decyl(ethylene) 3.0 decyl sic side-groups/1000 C, DC2H4-C12H24MONOMERBrmilly-white material © 2009 STJapan IncD01208/ HM7050
941	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	linear (unbranched) polyethylene.	linear (unbranched) polyethylene C2H4MONOMERBr © 2009 STJapan IncD00326/ HM7004



Search Condition Display Area

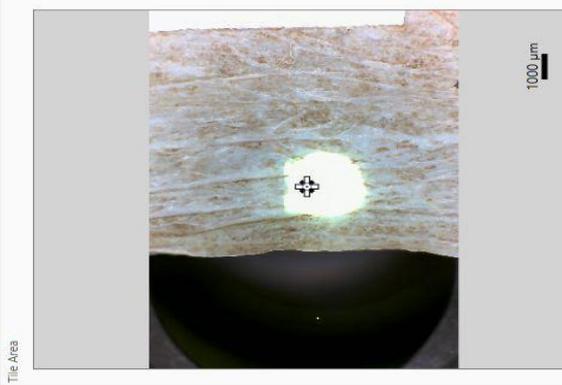
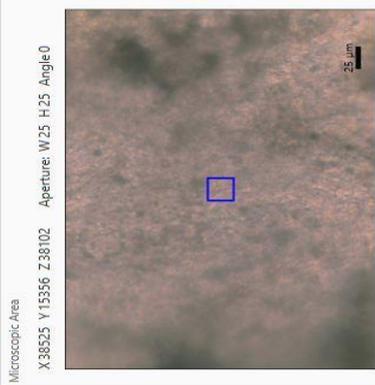
Library list  
 Shimadzu Standard Library Vol. 1SHI...  
 Shimadzu Standard Library Vol. 2shim...  
 ATR-Polymer2  
 T-Polymer2

Maximum hits : 20  
 Minimum quality : 0  
 Algorithm : ConDerv



Hit List Area

Score	Library	Name	Comment
939	T-Polymer2 - 50	Polyester	Polyester Film(TOYOBO ESTER FILM & ESPET FILM) Transmission(Microscope)
877	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(oxyhexamethyleneterephthalate), poly(oxyhexamethylenoxyterephthalic)4H16O4M ONOMER&white powder© 2009 STJapan IncD01321/ HM8155	
871	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1 -	poly(trimethylene terephthalate), poly(oxytrimethyleneoxyterephthalic)11H10C4MO NOMER&white material© 2009 STJapan IncD02029/ HM8149	



Search Condition Display Area



Library list

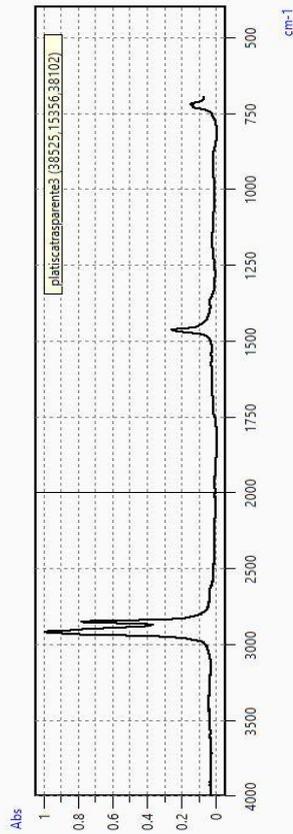
Shimadzu Standard Library Vol. 15HL...  
Shimadzu Standard Library Vol. 2shim...  
ATR-Polymer2  
T-Polymer2

Maximum hits : 20

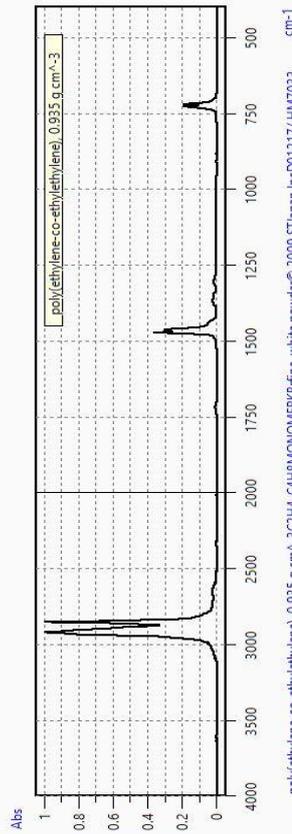
Minimum quality : 0

Algorithm : CorDeriv

Spectrum Area



Spectrum Area



poly(ethylene-co-ethylene) 0.935 g cm<sup>-3</sup>; C2H4-C4H8MONOMERGrfine, white powder© 2009 STJapan IncD01217/ HM7033 cm<sup>-1</sup>

Hit List Area

Score	Library	Name	Comment
960	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1	poly(ethylene-co-ethylene) 0.935 g cm <sup>-3</sup>	poly(ethylene-co-ethylene) 0.935 g cm <sup>-3</sup> ; C2H4-C4H8MONOMERGrfine, white powder© 2009 STJapan IncD01217/ HM7033
955	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1	linear low-density polyethylene, poly(ethylene-co-propylene)C2H4-C3H6MONOMERGrwhite flakes© 2009 STJapan IncD00329/ HM7021	linear low-density polyethylene, poly(ethylene-co-propylene)C2H4-C3H6MONOMERGrwhite flakes© 2009 STJapan IncD00329/ HM7021
954	Shimadzu Standard Library Vol. 2shim2404-1	poly(ethylene-co-decyl(ethylene) ; 3.0 decyl) sic	poly(ethylene-co-decyl(ethylene) ; 3.0 decyl) side-groups/1000 C; DC2H4-C12H24MONOMERGrmilly-white material©

