



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

**TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DEI PROCESSI INDUSTRIALI E DEI  
MATERIALI**

(Laurea triennale DM 270/04 – indirizzo Processi )

**CRITERI PER LA DESTINAZIONE DEGLI RSU E RELATIVA  
NORMATIVA**

*Relatore: Prof. Renato Bonora*

*Laureando: MATTEO ZANINI*

ANNO ACCADEMICO 2011 – 2012



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	pag. 1
---------------------------	--------

## **Capitolo 1: I RIFIUTI**

<b>1.1 Definizioni ed informazioni generali</b> .....	pag. 3
<b>1.2 Produzione, destinazione e recupero dei rifiuti</b> .....	pag. 4
1.2.1 Digestione anaerobica.....	pag. 6
1.2.2 Trattamento meccanico-biologico.....	pag. 6
1.2.3 Gassificazione.....	pag. 7
1.2.4 Torcia al plasma.....	pag. 8

## **Capitolo 2: COMBUSTIBILE DA RIFIUTO**

<b>2.1 Combustibile da rifiuto e sua produzione</b> .....	pag. 9
<b>2.2 Applicazione del combustibile da rifiuto</b> .....	pag. 10
2.2.1 Cementifici.....	pag. 10
2.2.2 Inceneritori.....	pag. 10
<b>2.3 Aspetti ambientali</b> .....	pag. 11
2.3.1 Raccolta differenziata.....	pag. 12
2.3.2 Il recupero del biogas dalle discariche esistenti.....	pag. 13
2.3.3 Il recupero energetico di rifiuti e di combustibile derivati dai rifiuti.....	pag. 13
2.3.4 La combustione dei CDR-Q nei cementifici.....	pag. 14
2.3.5 La combustione di colture ed altri rifiuti agro-industriali.....	pag. 15
2.3.6 Conclusioni.....	pag. 15
<b>2.4 Tecniche analitiche e metodologie d'analisi</b> .....	pag. 16
2.4.1 Campionamento.....	pag. 16
2.4.2 Umidità.....	pag. 16
2.4.3 Ceneri.....	pag. 17
2.4.4 Punto rammollimento ceneri.....	pag. 17
2.4.5 Metalli.....	pag. 17
2.4.6 Cloro e zolfo.....	pag. 19
2.4.7 Potere calorifico inferiore.....	pag. 20
<b>2.5 Dati sperimentali e osservazioni</b> .....	pag. 22
2.5.1 Risultati delle analisi.....	pag. 22
2.5.2 Osservazioni, analisi e discussione dei dati analitici.....	pag. 24
2.5.3 Osservazioni finali.....	pag. 28

## Capitolo 3: COMPOST

<b>3.1 Produzione e utilizzo del compost</b> .....	pag. 29
3.1.1 Processo aerobico.....	pag. 29
3.1.2 Processo anaerobico.....	pag. 31
3.1.3 Depuratore biologico.....	pag. 33
<b>3.2 Tecniche analitiche e metodologie d'analisi</b> .....	pag. 34
3.2.1 Campionamento.....	pag. 35
3.2.2 Determinazione del pH.....	pag. 35
3.2.3 Umidità.....	pag. 35
3.2.4 Determinazione dell'azoto totale.....	pag. 35
3.2.5 Determinazione dell'azoto ammoniacale.....	pag. 36
3.2.6 Determinazione dall'azoto nitrico.....	pag. 37
3.2.7 Determinazione dell'azoto organico.....	pag. 38
3.2.8 Determinazione dell'indice di germinazione.....	pag. 38
3.2.9 Determinazione del contenuto di plastica, vetro, litoidi ed altro inerte.....	pag. 39
3.2.10 Salmonella ed escherichia coli.....	pag. 39
3.2.11 Metalli.....	pag. 40
3.2.12 Carbonio organico totale TOC.....	pag. 40
3.2.13 Determinazione del rapporto C/N.....	pag. 40
3.2.14 Determinazione degli acidi umici e fulvici.....	pag. 41
3.2.15 Conclusioni.....	pag. 41
<b>3.3 Dati sperimentali e osservazioni</b> .....	pag. 42
3.3.1 Risultati delle analisi.....	pag. 42
3.3.2 Osservazione, analisi e discussione dai dati analitici.....	pag. 44
3.3.3 Osservazioni finali.....	pag. 48

## Capitolo 4: CONCLUSIONI

<b>4.1 Andamento economico e stagionale dei rifiuti</b> .....	pag. 49
---	---------

<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	pag. 57
--	---------

## Introduzione

Con questa tesi che mi appresto a presentare, intendo trattare l'argomento della destinazione dei rifiuti, portando maggiore attenzione alla differenziazione tra quelli destinati alla combustione (CDR “combustibile da rifiuto”) e quelli destinati al compostaggio.

L'esperienza presso la Lachiver Laboratori S.r.l. mi ha permesso di trattare questi due filoni dal punto di vista dell'analisi, andando a determinare l'idoneità alla destinazione del rifiuto, secondo delle normative prestabilite, le quali fanno per lo più seguito al d.lgs. 152/2006 parte IV e al DM del 5 febbraio 1998 n. 22.

L'elaborato è strutturato in quattro capitoli:

Il primo capitolo è introduttivo e dà una visione generica dell'argomento, dando una definizione di rifiuto e dando una generica distinzione, destinazione e metodologia per l'utilizzo e il recupero dei rifiuti urbani.

Il secondo capitolo tratta il Combustibile Da Rifiuto, andando ad analizzare da dove deriva, come analizzarlo e di conseguenza capire come conferirlo, in particolar modo capire se è idoneo alla combustione o no.

Il terzo capitolo tratta il compost; come per il CDR si è studiata la matrice che lo genera ed è stato analizzato per determinare le caratteristiche del prodotto finito e quindi l'idoneità all'utilizzo.

Il quarto capitolo è un capitolo conclusivo, in cui ho cercato di dare una visione dell'andamento di compost e CDR in funzione del tempo, provando a vedere se vi erano andamenti anomali anche in relazione con il periodo di crisi economica che il nostro paese sta affrontando.

Per quanto riguarda il CDR sono stati raccolti dati da un unico impianto, mentre per quanto riguarda il compost, essendo un'analisi fatta per lotti o per scadenza, quindi con una frequenza minore, sono stati raccolti dati da più impianti, sempre nella provincia di Verona.



## **Capitolo 1**

### **I RIFIUTI**

#### **1.1 Definizioni e informazioni generali**

Secondo il d.lgs. 152/2006 parte IV per rifiuto s'intende "qualsiasi sostanza o oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'obbligo di disfarsi secondo le disposizioni nazionali vigenti"[1].

I rifiuti possono essere classificati all'origine: come urbani o speciali, oppure in base alle loro caratteristiche di pericolosità: come pericolosi o non pericolosi.

Rifiuti urbani sono a titolo d'esempio:

- ♣ Rifiuti domestici, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione;
- ♣ Rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico;
- ♣ Rifiuti provenienti da aree verdi, quali giardini, parchi e aree cimiteriali.

Rifiuti speciali sono a titolo d'esempio:

- ♣ Rifiuti da attività agricole o agro-industriali;
- ♣ Rifiuti da lavorazioni industriali;
- ♣ Rifiuti da attività commerciale;
- ♣ Rifiuti derivanti da attività sanitarie.

Possono essere inoltre classificati in base allo stato fisico:

- ♣ Solido pulverulento;
- ♣ Solido non pulverulento;
- ♣ Fangoso palabile;
- ♣ Liquido.

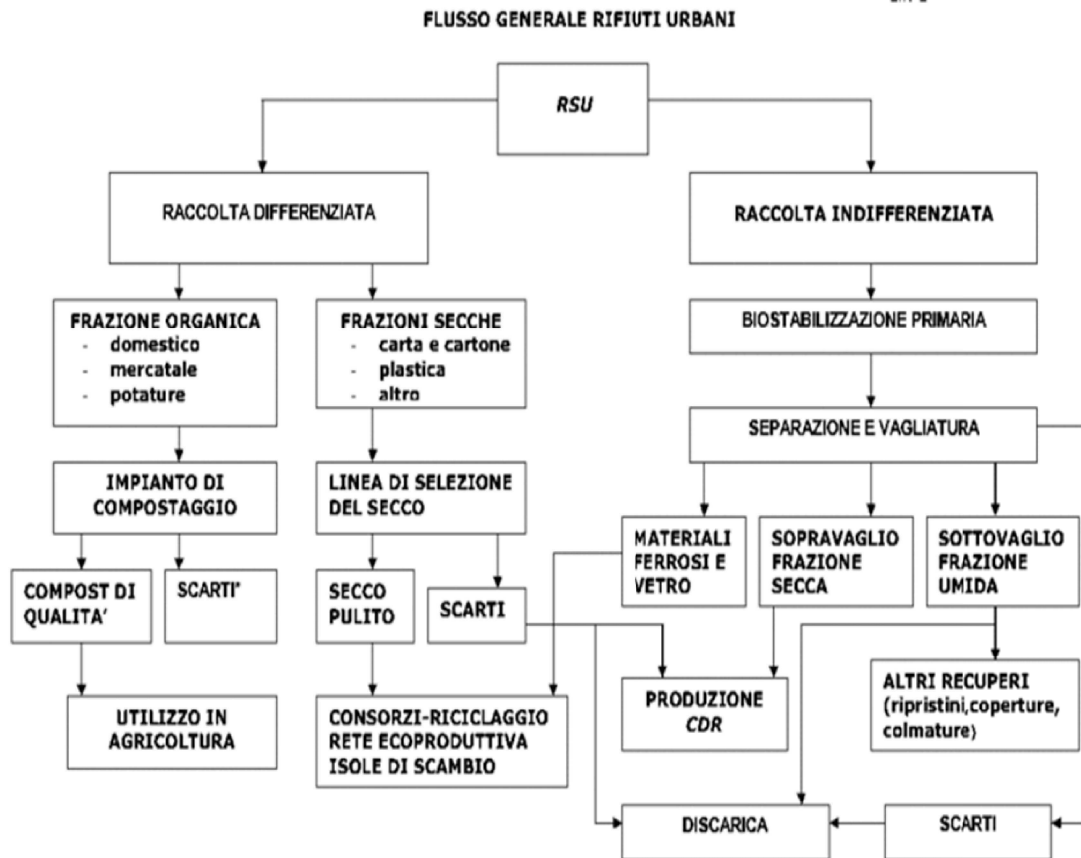
Per quanto riguarda invece la distinzione tra rifiuti pericolosi e non, si definiscono pericolosi quei rifiuti speciali e quei rifiuti urbani non domestici indicati espressamente

come tali con apposito asterisco nell'elenco CER 2002. L'elenco CER 2002, in altre parole il Catalogo Europeo dei Rifiuti, è suddiviso in 20 classi, ciascuna delle quali raggruppa rifiuti che derivano da uno stesso ciclo produttivo, inoltre identifica con un codice a 6 cifre tutti i rifiuti[2].

## 1.2 Produzione, destinazione e recupero dei rifiuti

Secondo i dati del 2009 la produzione italiana di rifiuti urbani è di circa 32 milioni di tonnellate, di cui 21 milioni circa riguardanti la raccolta indifferenziata corrispondenti al 65% del totale, mentre i restanti 11 milioni circa riguardanti la raccolta differenziata corrispondenti al 35% del totale.

La raccolta differenziata per frazione merceologica dell'anno 2009 è così composta, su un totale come detto sopra di circa 11 milioni di tonnellate di rifiuti, 2.2 sono frazione umida, 1.6 corrispondono al verde, 1.7 al vetro, 0.6 alla plastica e al legno cadauna, circa 3 milioni di tonnellate sono riferite alla carta e 0.3 ai metalli, la restante tonnellata è riferita ai materiali ingombranti da recupero, al tessile e alle restanti classi di rifiuti riciclati.





Questo è uno schema di massima non è detto che sia sempre questa la filiera di separazione dei rifiuti solidi urbani, questa è una delle possibilità, ma raccoglie in buona approssimazione le tecniche e le terminologie riguardanti l'argomento.

Quello che si denota dallo schema è che alla fine dei vari processi di trattamento, i rifiuti seguono tre strade in particolare:

- ⤴ Riciclaggio e quindi riutilizzo, nel quale il materiale passa da rifiuto a sottoprodotto, quindi materia prima per altri procedimenti industriali, ad esempio i metalli o il vetro sono rimandati in fonderia per produrre nuovi manufatti;
- ⤴ Stoccaggio, per il quale il rifiuto è conferito in discarica, oggi come oggi maggiormente selezionato, ma in passato era conferito senza alcun tipo di controllo e filtraggio;
- ⤴ Produzione di CDR, ovvero Combustibile Da Rifiuto nell'incenerimento, utilizzato da solo o in co-combustione con altri combustibili, ad esempio metano[3].

In materia di riutilizzo dei rifiuti il decreto ministeriale 5 febbraio 1998 n.22 dice che le attività, i procedimenti e i metodi di recupero di ogni tipologia di rifiuto, disciplinati dal presente decreto, devono rispettare le norme vigenti in materia di tutela della salute dell'uomo e dell'ambiente, nonché di sicurezza di lavoro[4]. Un'ulteriore differenziazione può essere fatta all'interno del recupero dei rifiuti, infatti le tipologie di recupero sono due, il recupero di materia e il recupero di energia

Il recupero di materia tratta tre ambiti:

- ⤴ Il compostaggio dei rifiuti da matrici selezionate;
- ⤴ Il trattamento meccanico-biologico aerobico;
- ⤴ La digestione anaerobica.

Il recupero di energia invece deriva da sistemi quali:

- ⤴ Incenerimento/termovalorizzazione;
- ⤴ Gassificazione;
- ⤴ Torcia al plasma.

Tralasciando il compostaggio dei rifiuti da matrici selezionate e l'incenerimento, che saranno ampiamente trattati in seguito si fa ora una piccola descrizione delle restanti tecniche di recupero dei rifiuti.

### **1.2.1 La digestione anaerobica**

S'intende la degradazione della sostanza organica da parte di organismi in assenza di ossigeno. In relazione al tipo di batteri utilizzati, esistono due differenti intervalli di temperatura in cui viene condotta la digestione anaerobica:

- ▲ Batteri mesofili intervallo ottimale 37-41°C
- ▲ Batteri termofili lavorano ottimamente per temperature maggiori di 55°C

Il tempo di residenza in un digestore varia in funzione della quantità e dal tipo di materiale da trattare e dalla temperatura di esercizio, oltre che dal pH. L'utilizzo di batteri termofili permette di velocizzare la digestione, grazie alla più elevata temperatura di lavoro; allo stesso tempo però essa ha un costo maggiore e richiede più energia dell'analogo processo mesofilo[5].

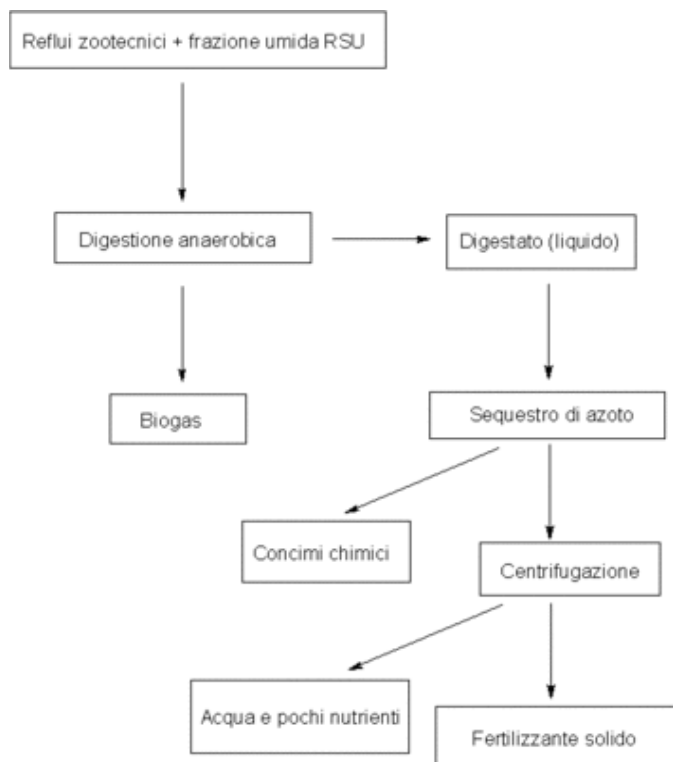


Figura 1: esempio di filiera di trattamento dei rifiuti per mezzo della digestione anaerobica.

### **1.2.2 Trattamento meccanico-biologico**

Il trattamento meccanico-biologico o TMB è una tecnologia di trattamento dei rifiuti indifferenziati a freddo, sfruttando l'abbinamento di processi meccanici e biologici quali la digestione anaerobica e il compostaggio. Appositi macchinari separano la frazione umida dalla frazione secca; quest'ultima può essere utilizzata in parte per produrre combustibile

derivato da rifiuti, rimuovendo i materiali incombustibili. Gli impianti che utilizzano questa tecnica di trattamento dei rifiuti producono un biostabilizzato, il quale si distingue dal compost in quanto è prodotto a partire da rifiuti indifferenziati, mentre il compost è prodotto a partire da materiale organico raccolto differenziatamente. Per tale motivo il biostabilizzato non è utilizzato in agricoltura come fertilizzante, ma è particolarmente adatto ad applicazioni volte al recupero ambientale, paesaggistico e alla copertura giornaliera delle discariche[6].

### **1.2.3 Gassificazione**

La gassificazione è un processo chimico che permette di convertire materiale ricco in carbonio, quale il carbone, il petrolio o le biomasse, in monossido di carbonio, idrogeno e altri composti gassosi. Il processo di degradazione termica avviene a temperature elevate, maggiori di 700-800 °C, in presenza di una percentuale sotto stechiometrica di un agente ossidante, tipicamente aria. La miscela risultante costituisce quello che è definito gas di sintesi (syngas) e rappresenta esse stessa un combustibile. Il processo di gassificazione permette di togliere con le ceneri elementi altrimenti problematici per la successiva fase di combustione, consentendo la produzione di un gas molto pulito.

In gassificazione il materiale carbonioso subisce diversi processi:

- ♣ Pirolisi: avviene riscaldando il materiale in assenza di ossigeno, si ottiene una carbonizzazione con liberazione d'idrogeno e metano, con riduzione di peso del materiale da trattare;
- ♣ Combustione: prodotti volatili e parte del carbone reagiscono con l'ossigeno formando diossido e monossido di carbonio, liberando calore;
- ♣ Gassificazione: reazione tra carbone e diossido di carbonio e tra carbonio e vapor d'acqua, con la formazione di monossido di carbonio e idrogeno;
- ♣ Vi è un'altra reazione tra monossido di carbonio e vapor d'acqua che porta ad un equilibrio con idrogeno e biossido di carbonio (reazione di spostamento del gas d'acqua).

La gassificazione della biomassa può avere un ruolo significativo nell'ambito dell'energia rinnovabili, in quanto con questo procedimento si rimuove l'emissione di biossido di carbonio e a differenza di altre tecniche può usare un'ampia varietà di materi prime. Attualmente esistono quattro tipi di gassificatori, a letto fisso, letto fluido oppure letto trascinato[7].

#### **1.2.4 Torcia al plasma**

Questa tecnica è una particolare tipologia di gassificazione che usa una torcia al plasma a temperature comprese tra 7.000-13.000 °C, che decompone del tutto le molecole organiche e vetrifica tutti i residui eliminando così in teoria le problematiche relative all'inquinamento, poiché non dovrebbe permettere la produzione di nessun composto gassoso tossico o pericoloso come diossine, furani o ceneri. I punti critici di questi impianti però sono lo sfruttamento del materiale vetrificato e la produzione di nano polveri che possono sfuggire alla vetrificazione.

Misure di contenimento preventivo delle emissioni si possono ottenere ottimizzando le caratteristiche costruttive dei forni e migliorando l'efficienza del processo di combustione, attraverso l'utilizzo ad esempio di temperature più alte.

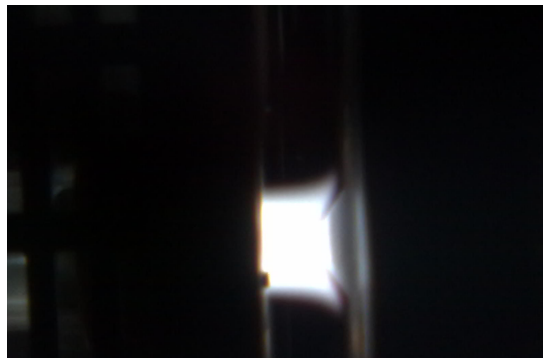


Figura 2: fotografia di un flusso di plasma.

## Capitolo 2

### **COMBUSTIBILE DA RIFIUTO**

#### **2.1 Combustibile da rifiuto e sua produzione**

Nella normativa italiana il CDR trova la sua definizione all'articolo 183, comma 1, lettera r del decreto legislativo 152/06.

Il combustibile derivato dai rifiuti “CDR”, traduzione dall'acronimo inglese “RDF” ovvero (refuse derived fuel) è un combustibile solido ottenuto dal trattamento dei rifiuti solidi urbani, tramite processi volti a eliminare i materiali non combustibili e la frazione umida.

La separazione dei RSU è eseguita meccanicamente; è di seguito presentata la tecnica di trattamento dei rifiuti che si esegue a ca' del bue, l'impianto di separazione dei rifiuti di Verona.

Una volta arrivati all'impianto di raccolta, subiscono una prima macinazione attraverso una coclea idraulica per rendere omogeneo il rifiuto e ridurre la pezzatura. Si procede quindi, attraverso separazione magnetica, all'eliminazione dei materiali ferrosi, successivamente il rifiuto passa in un vaglio cilindrico rotante con diametro dei vagli di 80mm per la separazione grossolana della frazione organica. La parte che attraversa questo primo vaglio può subire una separazione aerodinamica, poiché avviene un'aspirazione della parte più leggera del rifiuto, e quindi essere ulteriormente macinata da un tritratore pneumatico, previa vagliatura a 30mm, oppure subire un'ulteriore vagliatura a 60mm.

Una volta tritratato il prodotto è pronto per essere combusto.

Da questa separazione si è quindi ottenuto:

- ⤴ CDR → Pronto per la combustione, nel nostro caso è trasportato in un altro impianto in quanto a ca' del bue non avviene più la combustione;
- ⤴ Frazione umida → Sulla quale sono fatti ulteriori trattamenti e lavorazioni;
- ⤴ Residuo secco → Viene convogliato in discarica;
- ⤴ Metalli ferrosi → Vengono riciclati, riutilizzati.

## **2.2 Applicazioni del combustibile da rifiuti**

Il CDR si utilizza principalmente nei seguenti impianti, con finalità di recupero energetico (energia elettrica e/o termica):

**2.2.1 CEMENTIFICI**, gli elevati tempi di permanenza ad alte temperature permettono la distruzione totale delle sostanze organiche inquinanti; la miscela è basica, quindi neutralizza eventuali gas acidi liberati dalla combustione. Eventuali metalli pesanti sono fissati nelle ceneri e nelle polveri.

**2.2.2 INCENERITORI**, essendo impianti dedicati non presentano alcun problema di carattere tecnico poiché le tecnologie disponibili sul mercato, sia di combustione sia di depurazione dei fumi, consentono il rispetto dei limiti alle emissioni in atmosfera. In funzione della specifica tecnologia adoperata nella camera di combustione primaria, è possibile distinguere le seguenti tipologie d'inceneritore:

♣ **Inceneritore a griglie**: possiedono un focolare, con griglie metalliche normalmente a gradini formate da barre o rulli paralleli, la griglia può essere mobile o fissa.

Oltre alla normale combustione primaria, è effettuata anche una combustione secondaria, permettendo di migliorare il miscelamento aria-combustibile. In confronto con le altre tipologie d'inceneritore, gli impianti con griglie mobili sono quelli maggiormente sfruttati per i rifiuti urbani e permettono, grazie al movimento dei rifiuti all'interno della camera di combustione, un'ottimizzazione della combustione stessa.

♣ **Inceneritore a letto fluido**: la combustione a letto fluido è ottenuta inviando dal basso un forte getto di aria attraverso un letto di sabbia. Il letto quindi si solleva, mentre le particelle si mescolano e sono sotto continua agitazione. A questo punto sono introdotti i rifiuti e il combustibile. Questo processo, detta fluidizzazione, ha l'effetto di diminuire la densità del sistema in oggetto pur senza alterarne la natura originaria.

♣ **Inceneritore a focolare multi-step**: il nome di questa tecnologia è legato al passaggio su più focolari del materiale da trattare. I rifiuti in entrata sono caricati da un'estremità, mentre i residui della combustione sono asportati dall'altra estremità.

♣ **Inceneritore a forno rotativo**: in questo sistema si hanno due camere di combustione. La rotazione fa accumulare all'estremità del cilindro le ceneri e il resto della frazione non combusta solida, la quale è raccolta all'esterno. I gas passano invece in una seconda camera di combustione stavolta fissa[8].

## 2.3 Aspetti ambientali

### Riduzione delle emissioni di gas-serra nel settore della gestione dei rifiuti

Nel 2002 l'Italia ha emesso 553.8 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalenti (Mt CO<sub>2</sub> eq.), circa 45 Mt in più del 1990, quando erano circa 509. Gli impegni assunti dall'Italia nel protocollo di Kyoto, prevedono una riduzione delle emissioni del 6,5% rispetto ai valori di emissione del 1990 da raggiungere entro il 2012. Questo equivale a raggiungere, entro tale data, un'emissione annua di circa 476 Mt, ovvero ridurre le emissioni di circa 33 Mt rispetto al 1990.

Poiché le emissioni dal 1990 al 2002 sono ulteriormente cresciute (di circa il 9%, che si va a sommare all'obiettivo di riduzione del 6.5%) la distanza dall'obiettivo del Protocollo è attualmente di circa 80 Mt CO<sub>2</sub> eq. In tabella 1 è riportato il numero degli impianti a biomasse, biogas e rifiuti, la potenza installata e la produzione di energia elettrica in Italia nel triennio 2003-2005.

**Tabella 1**  
**Impianti e produzione da fonti rinnovabili in Italia, 2003-2005**

	numero impianti			Potenza efficiente lorda			Produzione lorda		
				MW			GWh		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
<b>BIOMASSE E RIFIUTI</b>	<b>257</b>	<b>267</b>	<b>277</b>	<b>1.086,475</b>	<b>1.191,751</b>	<b>1.199,773</b>	<b>4.493,0</b>	<b>5.637,2</b>	<b>6.154,8</b>
SOLIDI (RIFIUTI+BIOMASSE)	88	94	98	829,099	923,848	915,900	3460,1	4.466,9	4.956,9
-rifiuti solidi urbani	50	53	55	445,748	511,228	526,500	1811,9	2.276,6	2.619,7
-da colture e altri rifiuti agro alimentari	38	41	43	383,351	412,620	389,400	1648,2	2.190,4	2.337,2
BIOGAS	169	173	180	257,376	267,903	283,873	1033,0	1.170,2	1.198,0
-da discariche	145	148	150	218,331	229,623	236,833	910,5	1.038,4	1.052,3
-da fanghi	5	4	5	4,452	3,512	4,714	2,7	1,2	3,2
-da deiezioni animali	10	13	14	3,378	3,973	6,843	13,2	18,5	25,7
-da colture e altri rifiuti agroindustriali	9	8	9	31,215	30,975	35,483	106,5	112,1	116,8
<b>OBIETTIVO PER KYOTO</b>				<b>3.100</b>			<b>17.800</b>		
<b>% RAGGIUNTA</b>				<b>35%</b>	<b>38%</b>	<b>39%</b>	<b>25%</b>	<b>32%</b>	<b>35%</b>

Fonte: GSE, GRTN, Statistiche sulle fonti rinnovabili, 2004-2005

Per quanto riguarda i rifiuti biodegradabili è intervenuto anche il legislatore, con D. Lgs. 13 Gennaio 2003, n°36, recante l'attuazione della direttiva sulle discariche, ha fornito uno specifico strumento di indirizzo verso il recupero dei rifiuti a contenuto organico, prevedendo:

- Il divieto di smaltimento in discarica di rifiuti con potere calorifico maggiore di 13 MJ/Kg;

- Il perseguimento, in ciascun Ambito Territoriale Ottimale, di gradualità obiettivi di riduzione dei quantitativi di rifiuti urbani biodegradabili smaltiti in discarica;
- L'obbligo, per le discariche ove sono smaltiti rifiuti biodegradabili, della captazione e gestione del biogas e il conseguente recupero energetico e comunque, nei casi d'impraticabilità, riferibili a discariche piccole e/o "vecchie", la combustione in torcia e, come regola generale una copertura giornaliera dei rifiuti con uno strato di materiale protettivo di idoneo spessore e caratteristiche, la cui finalità implica anche che lo strato abbia un effetto ossidante nei confronti del biogas, con conseguente riduzione delle emissioni di metano.

### **2.3.1 La raccolta differenziata**

Per quanto riguarda la raccolta differenziata finalizzata alla valorizzazione dei materiali presenti nei RSU, il suo contributo alla riduzione delle emissioni di gas serra risulta molto rilevante, a seguito del risparmio energetico conseguente al minor sfruttamento di materie prime e ai ridotti consumi energetici con la produzione di beni. La tabella 2 illustra una stima dei consumi energetici associati all'utilizzo di materie prime e, rispettivamente, di materiale riciclato per la produzione di alcuni materiali, tipicamente usati nelle filiere degli imballaggi.

**Tabella 2**  
**Consumi energetici associati all'utilizzo di materie prime o materiale riciclato [5]**

Materiale	Utilizzo di materie prime (kWh/t)	Utilizzo di materiale riciclato (kWh/t)
carta/cartone	7600	2700 <sup>(a)</sup>
vetro	5560 <sup>(b)</sup>	4280 <sup>(c)</sup>
plastica	880	600
alluminio	17000	850

(a) 100% di carta riciclata

(b) con il 30% di rottame di vetro

(c) con il 20% di materia prima

Ipotizzando che la raccolta differenziata raggiunga una quota del 50% per ciascun materiale, la riduzione delle emissioni che è possibile conseguire risulta essere notevole e ammonta ad oltre 10 milioni di tonnellate anno di CO<sub>2</sub> eq. Bisogna inoltre considerare che la produzione di compost da raccolta differenziata consente di ridurre l'utilizzo di fertilizzanti chimici con un risparmio stimato di 7,1 Kg CO<sub>2</sub> eq. per tonnellata di rifiuto inviata a compostaggio.



### **2.3.2 Il recupero del biogas dalle discariche esistenti**

Nel 1999 erano operativi in Italia 89 impianti per la generazione di energia elettrica con il biogas captato dalle discariche di rifiuti urbani, per un totale di circa 128 MW di potenza installata e una generazione di energia elettrica per circa 566 GWh per anno. Nel 2005 si è giunti a ben 150 impianti per una potenza lorda di circa 237 MW e una generazione lorda di 1.050 GWh, raddoppiando quasi i valori in 6 anni. La potenzialità teorica complessiva di tutte le discariche italiane di produrre energia elettrica sfiorerebbe i 1.000 MW.

Poiché l'energia prodotta in questo modo è rinnovabile, essa consente di evitare un'eguale quantità di energia elettrica prodotta da combustibili fossili. Inoltre, considerando che le emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte in media con le fonti fossili sono stimate in 687 g CO<sub>2</sub>/KWh netto, con un aumento di potenza installata pari a 200 MW si otterrebbe una riduzione di circa 600.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> l'anno. Anche un incremento nell'efficienza di captazione è auspicabile per ridurre ulteriormente le emissioni allineandosi ai livelli di efficienza medi europei.

### **2.3.3 Il recupero energetico di rifiuti e di combustibili derivati da rifiuti**

La CO<sub>2</sub> che si origina da materiali di origine biogenica non fornisce alcun contributo ai fini delle emissioni di gas con effetto serra, in quanto la combustione non fa altro che accelerare un processo che avverrebbe, comunque, in modo spontaneo.

Questo significa che la CO<sub>2</sub> derivante dalla combustione di fonti cosiddette "rinnovabili" non va conteggiata ai fini delle emissioni di gas con effetto serra. Pertanto ai fini della stima delle emissioni di CO<sub>2</sub>, che derivano direttamente dalla combustione, si è tenuto conto unicamente della frazione di carbonio che proviene da fonti fossili, pari a circa 1/3 di quello totale presente nei rifiuti urbani. Uno studio europeo ha stimato un'emissione pari a circa 700 Kg di CO<sub>2</sub> eq. per ogni tonnellata di rifiuto urbano smaltito, ridotta a 327 kg di CO<sub>2</sub> equivalente/tonnellata RU se si tiene conto del sequestro di carbonio in discarica, come suggerito anche dall'US-EPA. Considerando i livelli attuali di captazione italiana che sono piuttosto bassi e facendo riferimento ad una captazione media del 25% il guadagno in mancate emissioni di CO<sub>2</sub> eq. conseguibile, passando dallo smaltimento in discarica al recupero energetico dei rifiuti, può essere ragionevolmente stimato in oltre 500 Kg per ogni tonnellata di rifiuto urbano smaltito.

Passando da RU a Frazione Secca e a CDR il guadagno si riduce doppiamente, sia per il consumo energetico e la riduzione di massa associati al trattamento di

selezione/raffinazione, sia perché, il trattamento non è di bioessiccamento, scelta minoritaria in Italia, sia perché la frazione organica umida selezionata e stabilizzata (FOS) è inviata a discarica.

#### **2.3.4 La combustione del CDR-Q in cementifici**

In Italia le emissioni di CO<sub>2</sub> da impianti industriali corrispondono a circa 227 milioni di tonnellate: le centrali elettriche a carbone e a gas con 149 milioni di tonnellate, pari al 65% del totale, sono le protagoniste, secondi nella graduatoria sono i cementifici, che contribuiscono per 28 milioni di tonnellate, corrispondente al 12,5%, mentre raffinerie, acciaierie, impianti per la produzione del vetro e cartiere concorrono ai restanti 50 milioni di tonnellate, corrispondenti al 22,5%.

La produzione di cemento si differenzia dagli altri settori inquinanti per la doppia natura delle emissioni di CO<sub>2</sub>:

- Emissioni dirette: essendo l'ossido di calcio il principale ingrediente del cemento, il quale si forma per calcinazione del carbonato di calcio con relativa emissione di CO<sub>2</sub>. A tonnellata di cemento corrispondono quindi 0,5 tonnellate di CO<sub>2</sub> da reazione chimica;
- Emissioni indirette: dette anche energetiche, determinano l'emissione in base all'energia usata per produrre il cemento, corrispondono circa a 0,2 tonnellate per ogni tonnellata di cemento prodotto.

Mentre sulle emissioni dirette non è possibile intervenire, è possibile farlo sulle indirette modificando la fonte dell'energia utilizzata alla produzione del cemento. Un'opportunità concreta è offerta dalla sostituzione del combustibile tradizionale con combustibili alternativi, in particolare i CDR-Q (Combustibile Da Rifiuto di Qualità). Si tratta di combustibile ottenuto dalla separazione, lavorazione e ricomposizione dei rifiuti solidi urbani nella misura massima del 50%.

Smaltire il CDR in un cementificio è vantaggioso perché il forno non è una semplice camera di combustione, ma è un reattore di processo. Date le sue caratteristiche di altissime temperature di oltre 2.000°C e tempi di permanenza del gas di combustione di oltre 5 secondi, può essere alimentato in sicurezza, durante la fase di cottura, infatti, la sostanza organica viene completamente combusta e le ceneri vengono completamente incorporate nel clinker senza produzione di scorie.

Il CDR-Q utilizzato in co-combustione in cementifici presenta dunque molteplici benefici ambientali ed energetici:

- Benefici in termini di gestione dei rifiuti: promozione della raccolta differenziata con conseguente riduzione delle discariche;
- Benefici in termini di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, in quanto vengono sostituiti i combustibili fossili, coke da petrolio, con biomassa “non vergine” contenuta nel CDR-Q;
- Benefici in termini di risparmio energetico: grazie alla possibilità di ottenere certificati bianchi relativi al risparmio energetico di fonti fossili[9].

### **2.3.5 La combustione di colture e altri rifiuti agro-industriali**

La produzione lorda di energia elettrica in Italia nel 2005 derivante da colture e altri rifiuti agro-industriali, ammontava a 2.454 Gwh, di cui la maggioranza da combustione diretta. Le emissioni evitate ammontano quindi a circa 1.680.000 tonnellate di CO<sub>2</sub>. Queste quantità, energia prodotta e corrispondenti emissioni evitate, non sono trascurabili anche per l'ampia possibilità di sfruttamento della materia prima.

### **2.3.6 Conclusioni**

Le potenzialità del CDR-Q appaiono evidenti, considerando che per il mercato del cemento nel 2009 è stimata una produzione di 38,4 milioni di tonnellate con emissioni pari a circa 26 milioni di tonnellate. Se tutti i cementifici avessero un tasso di sostituzione del 14% il risparmio ambientale sarebbe di 750.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> con 700.000 tonnellate di CDR in meno smaltito in discarica.

Con l'insieme degli interventi analizzati per il settore rifiuti, sarebbe quindi possibile conseguire una riduzione delle emissioni di gas serra pari a circa 16 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente. Si tratta del 20% dell'obiettivo di riduzione fissato dal protocollo di Kyoto, corrispondente a -6,5% rispetto ai valori del 1990, ovvero oltre 75 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente.

Tabella 3: Caratteristiche del CDR prescritte dalla normativa vigente.

Parametro	Unità di misura	Limite minimo	Limite massimo
Umidità	% (in massa)	/	25
Ceneri	% (in massa su s.s.)*	/	20
Potere calorifico inferiore	Kj/kg (sul t.q.)**	15000	/
Cloro	% (in massa sul t.q.)**	/	0,9
Zolfo	% (in massa sul t.q.)**	/	0,6
Arsenico	mg/Kg (su s.s.)*	/	9
Cromo	mg/Kg (su s.s.)*	/	100
Manganese	mg/Kg (su s.s.)*	/	400
Nichel	mg/Kg (su s.s.)*	/	40
Rame (composti solubili)	mg/Kg (su s.s.)*	/	300
Piombo	mg/Kg (su s.s.)*	/	200
Cadmio + Mercurio	mg/Kg (su s.s.)*	/	7
Punto ramollimento ceneri	°C	1100	/

(\*s.s. = sostanza secca; \*\*t.q. = tal quale)

## **2.4 Tecniche analitiche e metodologie d'analisi[10]**

### **2.4.1 Campionamento:**

I campioni sono stati raccolti utilizzando la metodologia del “ campionamento sistematico casuale stratificato”. Il lotto di CDR considerato è stato suddiviso in più strati di medesima altezza (criterio sistematico), in seguito all'interno di ogni strato è stato effettuato un campionamento casuale. Le porzioni prelevate sono state in seguito unite e mescolate fino a formare un sotto-lotto omogeneo, il campione medio composito, dal quale viene prelevato in maniera casuale il campione che poi andrà all'analisi in laboratorio.

### **2.4.2 Umidità:**

Il contenuto di umidità è stato determinato essiccando, a temperatura di 105°C, un campione fino a massa costante. Il campione è mescolato in modo da renderlo omogeneo, ne è quindi prelevata una quantità che è poi pesata all'interno di una capsula di quale si conosce la tara. La capsula viene quindi messa in stufa e in essiccatore più volte finché il campione non appare secco, tipicamente mezza giornata. Questa procedura permette di ottenere una massa costante di campione. La capsula è quindi messa in essiccatore a raffreddare, una volta raffreddata è pesata.

$$\text{Residuo 105} = \{[(\text{peso dopo } 105^{\circ}\text{C}) - (\text{tara})] / (\text{peso campione})\} \cdot 100$$

$$\text{Umidità} = 100 - \text{residuo 105}$$

### **2.4.3 Ceneri:**

Il contenuto di ceneri è determinato riscaldando fino a 600°C un campione, il quale ha precedentemente subito un essiccamento a 105°C.

La procedura è simile all'essiccamento a 105°C, con la differenza che non si lavora più con una stufa a quella temperatura, ma con una muffola tarata a 600°C.

$$\text{Residuo 600} = \{[(\text{peso dopo } 600^{\circ}\text{C}) - (\text{tara})] / (\text{peso campione})\} \cdot 100$$

### **2.4.4 Punto rammollimento delle ceneri:**

La determinazione del punto di rammollimento delle ceneri dei campioni di CDR analizzati è stata commissionata a laboratori esterni.

### **2.4.5 Metalli:**

Il metodo utilizzato è quello dalla digestione acida, metodo che consiste nell'ossidare completamente la sostanza organica del campione a bassa temperatura. I componenti inorganici sono solubilizzati e la soluzione risultante viene analizzata per determinare i metalli tramite uno spettrometro di massa.

È pesata una quantità di campione nel contenitore di teflon, poi si aggiungono le appropriate quantità di acido nitrico e cloridrico, quindi si monta il bicchiere teflonato e la bomba per la digestione acida. L'apparecchiatura è quindi posta in una stufa controllata a 110°C.

Il riscaldamento avviene gradualmente fino a 110°C, raggiunta tale temperatura, si fanno trascorrere 2 ore, quindi si estrae la bomba e si lascia raffreddare fino a temperatura ambiente. Il contenuto del bicchiere teflonato è trasferito in un matraccio da 100 ml il quale è portato poi a volume con acqua distillata. La soluzione ottenuta è iniettata allo spettrometro di massa.



Figura 3: Bomba per la digestione acida per la determinazione dei metalli.

#### Spettrometro di massa:

Lo spettrometro di massa si basa sull'ICP-MS (Inductively coupled plasma-mass spectrometry), una tipologia di spettrometria di massa adatta ad effettuare l'analisi isotopica e di determinare diverse specie inorganiche metalliche e non metalliche presenti in concentrazioni molto basse. Essa utilizza una torcia al plasma ICP per produrre la ionizzazione (analizzatore e rilevatore sono simili a quelli di qualsiasi spettrometro di massa). La torcia è costituita da tre tubi concentrici in quarzo, con l'estremità finale della torcia posta in una bobina d'induzione magnetica alimentata da corrente elettrica ad alta radio-frequenza. Il plasma viene prodotto sottoponendo un flusso di Argon ad un innesco elettrico. È prodotta una forma eccitata di Argon, l'Ar• che costituisce il plasma vero e proprio; esso raggiunge temperature dell'ordine dei 6.000-10.000 K e provoca atomizzazione e ionizzazione del campione.

I valori forniti dallo strumento sono espressi in  $\mu\text{g/L}$ .

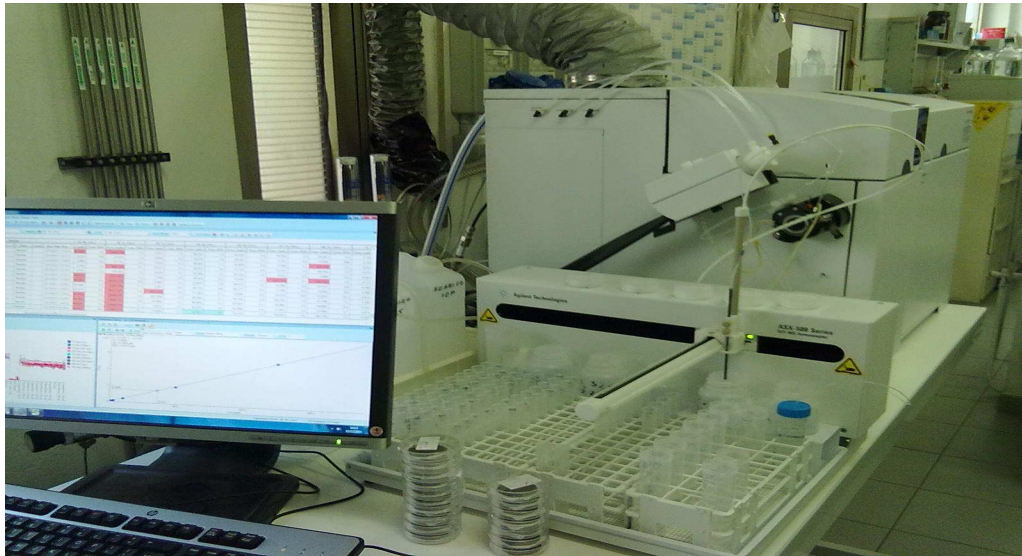


Figura 4: Spettrometro di massa.

#### **2.4.6 Cloro e Zolfo:**

Le concentrazioni di cloro e zolfo sono state misurate analizzando con un cromatografo ionico le acque usate per il lavaggio della bomba calorimetrica. Infatti, bruciando nella bomba il campione, il cloro e lo zolfo contenuti in esso, sono trasformati rispettivamente in cloruri e solfati e assorbiti nell'acqua distillata contenuta nella bomba.

Cromatografo a scambio ionico:

Il cromatografo si basa sulla tecnica della cromatografia a scambio ionico, una tipologia della cromatografia liquida, la quale si basa sul principio di attrazione di ioni con carica opposta. Nel nostro caso però la fase stazionaria è rappresentata da una resina apolare, inerte di polisilossano, e in base alla polarità degli ioni s'instaura un equilibrio degli ioni tra fase fissa e mobile, determinando così i tempi di uscita degli ioni stessi. La fase mobile è un tampone di carbonato e bicarbonato, quindi polare. Il rilevatore è costituito da un sensore di conducibilità.

Per migliorare e proteggere lo strumento è presente un dispositivo soppressore per eliminare la  $CO_2$  dalla fase mobile, diminuendone la conducibilità della stessa, inoltre è presente una pre-colonna che protegge la colonna di separazione da eventuali metalli pesanti e/o sostanze organiche contenute nei campioni. I valori sono espressi come concentrazioni in mg/L.



Figura 5: Cromatografo a scambio ionico.

#### **2.4.7 Potere calorifico inferiore:**

Il potere calorifico è stato determinato bruciando, in condizioni controllate e note, un campione in un calorimetro. In base alle caratteristiche del campione si può determinare il potere calorifico superiore o inferiore, calcolando quello superiore ed andando a stimare il calore di formazione dell'acqua si può determinare il potere calorifico inferiore.

La differenza tra i due è solo una questione matematica di calcoli dovuta alla presenza o meno dell'acqua.

Strumentazione:

- Bomba calorimetrica ad ossigeno, costruita con materiali non intaccabili dalla combustione o dai suoi prodotti. La bomba è costruita di modo che tutti i prodotti liquidi della combustione siano completamente recuperati con il lavaggio delle superfici interne, inoltre è in grado di resistere ad una prova di pressione idrostatica di 210 bar a temperatura ambiente senza essere sollecitata oltre i limiti di elasticità;
- Calorimetro, costruito in metallo con un rivestimento contro l'ossidazione. Le sue dimensioni sono tali che la bomba è completamente immersa nell'acqua; è presente inoltre un miscelatore per agitare l'acqua a velocità uniforme, ma con minimo apporto di calore. Da notare è che la parte immersa dell'agitatore è collegata alla parte esterna attraverso un materiale a bassa conduttività. Vi è una camicia a circolazione forzata che racchiude



l'intero calorimetro, l'innesco è dato da un normale interruttore aperto-chiuso collegato ad un circuito alimentato da 9 V a corrente continua.

Dopo aver omogeneizzato il campione mescolandolo, se ne pesa una quantità direttamente nel crogiuolo in quarzo, si mette successivamente a contatto il campione con il filo di accensione, costituito di una lega Nichel-Cromo, di lunghezza nota. Il filo è quindi collegato ai termini di accensione della bomba. Dopo aver aggiunto 1 o 2 ml di acqua distillata, viene caricato l'ossigeno alla pressione di 30 bar, la bomba è così pronta per la prova. È montato quindi il calorimetro dentro la camicia ed è avviato l'agitatore; trascorsi 5 minuti, necessari all'omogeneizzazione della miscela e al raggiungimento dell'equilibrio termico, vengono annotate le temperature per 5 minuti ad intervalli di 1 minuto. All'inizio del sesto minuto è innescata la combustione e si registrano le temperature, sempre a intervalli di un minuto, fino a quando la differenza tra due letture successive rimane costante per 5 minuti.

Il contenuto della bomba è raccolto mediante lavaggi con acqua distillata, sulle acque come già detto nel paragrafo riguardante l'analisi precedente si determinano cloro e zolfo.

Potere calorifico superiore (PCS) è calcolato in KJ/Kg secondo la seguente formula:

$$PCS = (\Delta T \cdot E - e_1 - e_2 - e_3) / m$$

Dove:

- $\Delta T$  = variazione di temperatura causata dalla combustione del campione;
- $m$  = massa del campione;
- $e_1, e_2, e_3$  = correzioni termochimiche, in particolare "e<sub>1</sub>" è la correzione per il calore di formazione di HNO<sub>3</sub> (noi la trascuriamo), "e<sub>2</sub>" è la correzione per il calore di formazione di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (noi la trascuriamo), "e<sub>3</sub>" è la correzione per il calore di combustione dovuto al filo di accensione (nel nostro caso è di 11,3 J/cm);
- $E$  = equivalente di energia ricavato dalla combustione dell'acido benzoico, il quale è stato usato per la calibrazione dello strumento.

Trovato il PCS, si può determinare il PCI dalla seguente formula:

$$PCI = PCS - 23,96 \cdot H \cdot m$$

Dove  $m$  è sempre la massa del campione in grammi, mentre  $H$  è la percentuale totale d'idrogeno che è stata assunta pari al 20%.

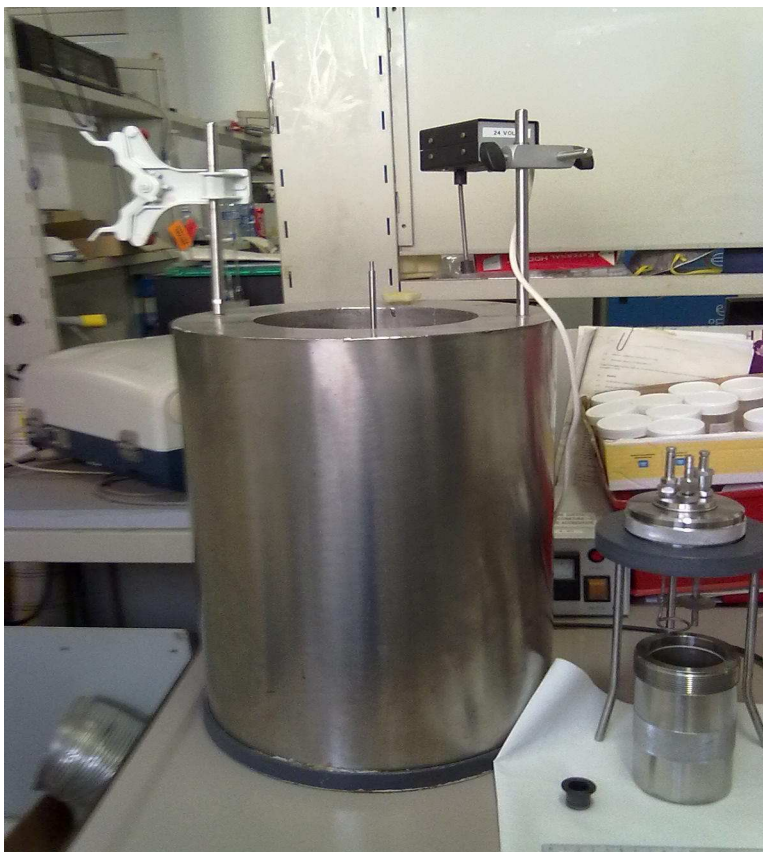


Figura 6: Apparecchiature per l'analisi del potere calorifico inferiore.

## **2.5 Dati sperimentali e osservazioni**

### **2.5.1 Risultati dell'analisi**

Qui di seguito sono visualizzabili i risultati dell'analisi del CDR durante il periodo di tirocinio ed inoltre sono presenti anche dati in riferimento a campioni analizzati nel periodo precedente al tirocinio. Complessivamente i campioni presi in esame vanno dal 15 di Agosto al 10 di Ottobre 2011, i campionamenti sono stati eseguiti settimanalmente presso un unico impianto nella provincia di Verona.

Tabella 4: risultati analisi effettuate su campioni pregressi.

<b>Parametro</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>C. 1</b>	<b>C. 2</b>	<b>C. 3</b>	<b>C. 4</b>	<b>C. 5</b>
Umidità	% (in massa)	26,9	5,9	6,5	18,8	18,6
Ceneri	% (in massa s.s.)	8,6	7,5	9,1	8	9,3
PCI	KJ/Kg (sul t.q.)	22567	22340	24530	19580	24204
Cloro	% (in massa t.q.)	0,26	0,61	0,52	0,12	0,17
Zolfo	% (in massa t.q.)	0,18	0,15	0,15	0,09	0,21
Arsenico	mg/Kg (sul s.s.)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cromo	mg/Kg (sul s.s.)	48,3	42,5	80,4	54,6	24,8
Manganese	mg/Kg (sul s.s.)	31,5	27,7	13,3	35,4	16
Nichel	mg/Kg (sul s.s.)	24,1	21,4	41,2	27,3	12,4
Rame	mg/Kg (sul s.s.)	10,8	10,8	12,1	9	20,2
Piombo	mg/Kg (sul s.s.)	21,8	< 0,5	< 0,5	16,4	< 0,5
Cadmio	mg/Kg (sul s.s.)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Mercurio	mg/Kg (sul s.s.)	0,5	0,5	< 0,1	0,6	0,4
Cadmio + Mercurio	mg/Kg (sul s.s.)	0,5	0,5	< 0,1	0,6	0,4
Punto rammollimento ceneri	°C	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100

Tabella 5: risultati analisi effettuate sui campioni nel periodo di tirocinio.

<b>Parametro</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>C. 6</b>	<b>C. 7</b>	<b>C. 8</b>	<b>C. 9</b>	<b>C. 10</b>
Umidità	% (in massa)	33,3	8	9,4	4,6	19,6
Ceneri	% (in massa s.s.)	9,2	9,8	9,3	9,3	11,7
PCI	KJ/Kg (sul t.q.)	18183	22196	20448	21067	20958
Cloro	% (in massa t.q.)	0,28	0,26	0,25	0,53	0,46
Zolfo	% (in massa t.q.)	0,07	0,12	0,14	0,18	0,17
Arsenico	mg/Kg (sul s.s.)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cromo	mg/Kg (sul s.s.)	40,2	40,6	33,9	39,2	35,5
Manganese	mg/Kg (sul s.s.)	19,5	12,5	16,4	12,3	15,4
Nichel	mg/Kg (sul s.s.)	25,1	21,6	22,5	19,8	19,9
Rame	mg/Kg (sul s.s.)	45,8	11	11,3	7,8	9,7
Piombo	mg/Kg (sul s.s.)	< 0,5	< 0,5	15,6	< 0,5	< 0,5
Cadmio	mg/Kg (sul s.s.)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Mercurio	mg/Kg (sul s.s.)	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2
Cadmio + Mercurio	mg/Kg (sul s.s.)	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2
Punto rammollimento ceneri	°C	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100

Tabella 6: risultati analisi effettuate sui campioni nel periodo di tirocinio.

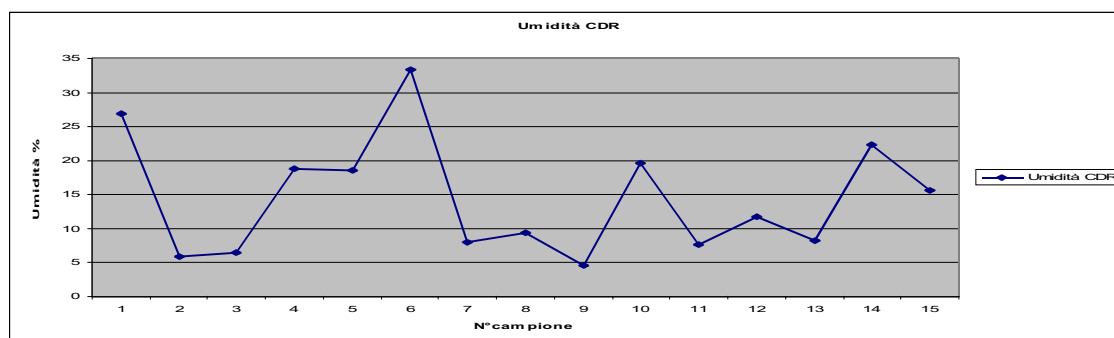
Parametro	Unità di misura	C. 11	C. 12	C.13	C. 14	C. 15
Umidità	% (in massa)	7,6	11,7	8,2	22,3	15,6
Ceneri	% (in massa s.s.)	13	13,9	13,6	13,2	14,8
PCI	KJ/Kg (sul t.q.)	22112	19577	21569	18123	22154
Cloro	% (in massa t.q.)	0,26	0,26	0,24	0,35	0,32
Zolfo	% (in massa t.q.)	0,08	0,14	0,14	0,11	0,05
Arsenico	mg/Kg (sul s.s.)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cromo	mg/Kg (sul s.s.)	25,9	36,8	27,7	39,7	27,8
Manganese	mg/Kg (sul s.s.)	12,6	11,4	11,8	17,1	13,5
Nichel	mg/Kg (sul s.s.)	17	20,5	15,8	22,4	17,6
Rame	mg/Kg (sul s.s.)	13,5	7,8	16	13,2	39,4
Piombo	mg/Kg (sul s.s.)	12,5	7	< 0,5	15,4	< 0,5
Cadmio	mg/Kg (sul s.s.)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Mercurio	mg/Kg (sul s.s.)	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4
Cadmio + Mercurio	mg/Kg (sul s.s.)	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4
Punto rammollimento ceneri	°C	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100

(Per “s.s.” si intende la sostanza secca, per “t.q.” si intende tal quale.)

### **2.5.2 Osservazioni, analisi e discussione dei dati analitici**

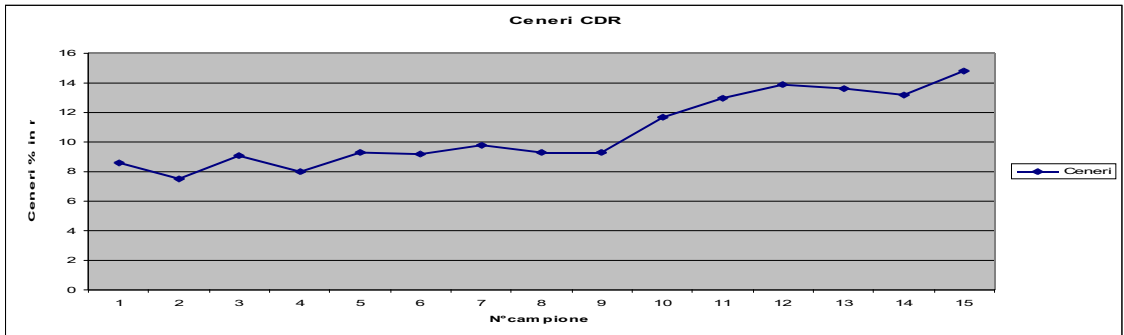
Vengono di seguito riportati gli andamenti dei vari parametri, i grafici sono stati costituiti utilizzando tutti i dati presenti nelle tre tabelle.

#### **Umidità:**



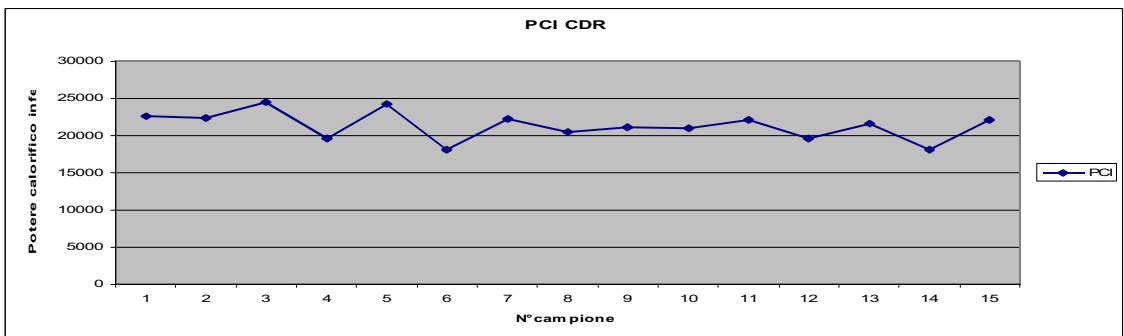
L'andamento dell'umidità è casuale ed è influenzato dagli eventi atmosferici, poiché delle piogge potrebbero essersi verificate nel periodo di raccolta del materiale destinato al CDR, sul grafico questo è tradotto con picchi di massimo.

## Ceneri:



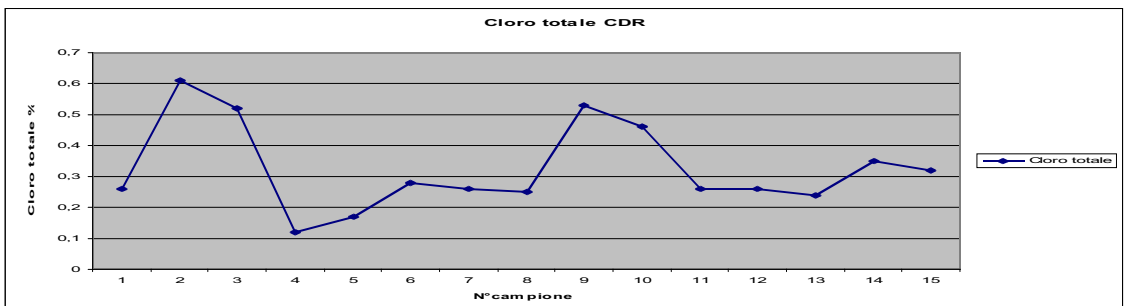
L'andamento delle ceneri presenta sobbalzi ed irregolarità, infatti non segue un preciso andamento ma una fluttuazione casuale.

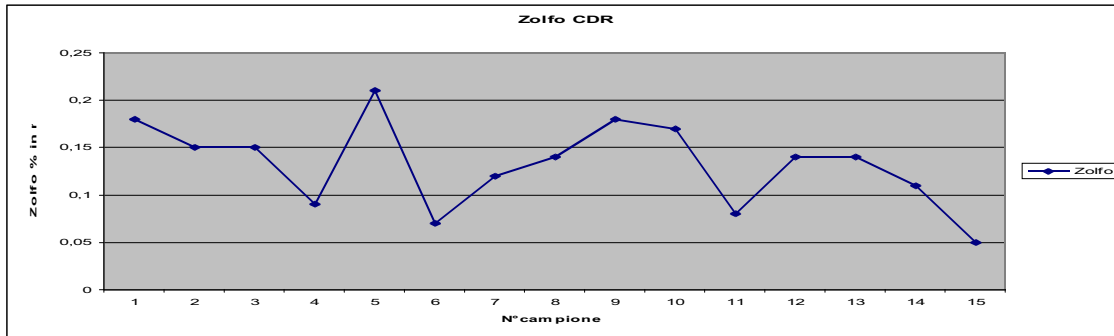
## Potere calorifico inferiore:



Il potere calorifico inferiore varia con l'umidità, ma l'andamento casuale in termini di resa termica dovuto all'umidità è smorzato e attenuato dal corrispondente effetto dovuto alla casualità dei materiali che compongono il campione di CDR.

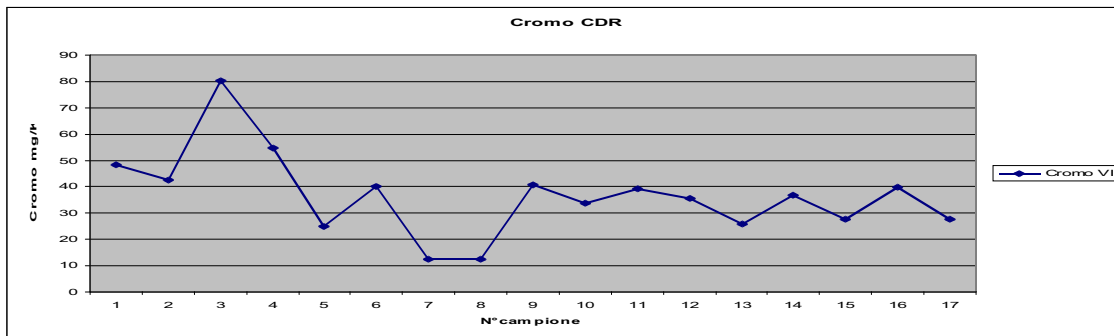
## Cloro totale e Zolfo:





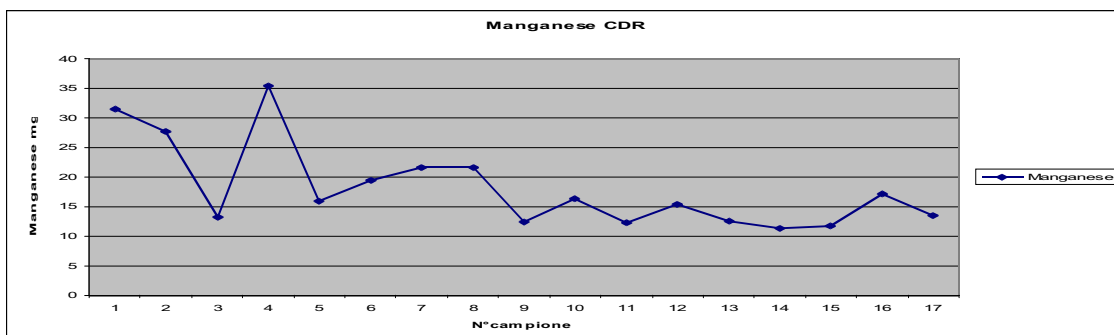
Cloro e Zolfo sono parametri legati al materiale contenuto all'interno del CDR, quindi non presentano un andamento regolare.

**Cromo:**



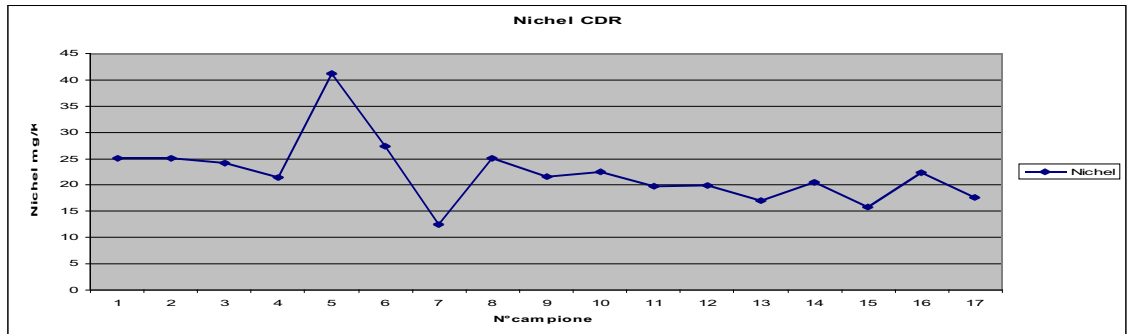
Il cromo ha un andamento casuale con oscillazioni anche rimarcate, ma nonostante ciò tutti i campioni sono conformi alla normativa e quindi entro i limiti.

**Manganese:**



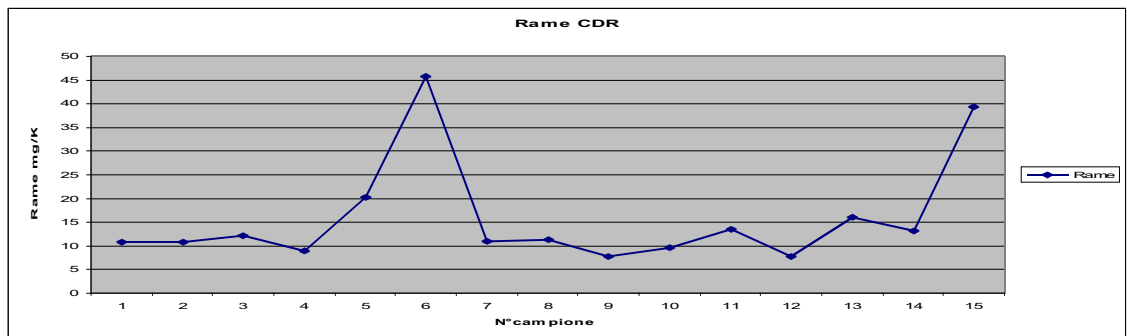
Il manganese ha un andamento casuale con oscillazioni anche rimarcate, ma nonostante ciò tutti i campioni sono conformi alla normativa e quindi entro i limiti.

## Nichel:



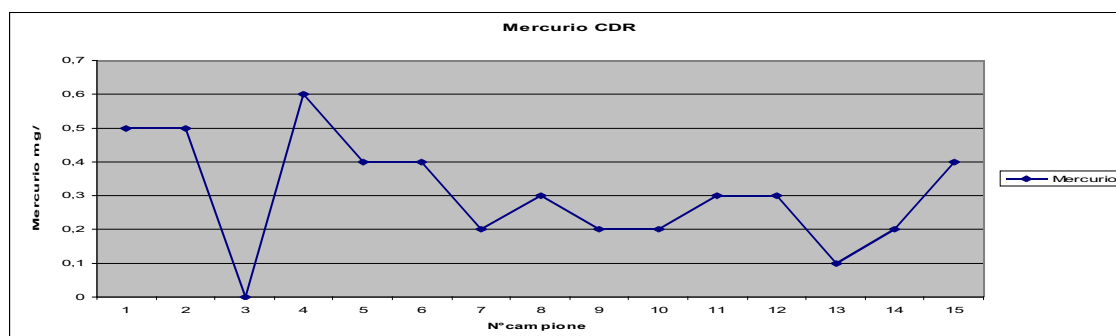
Il nichel ha un andamento casuale con oscillazioni anche rimarcate, ma nonostante ciò tutti i campioni sono conformi alla normativa e quindi entro i limiti.

## Rame:



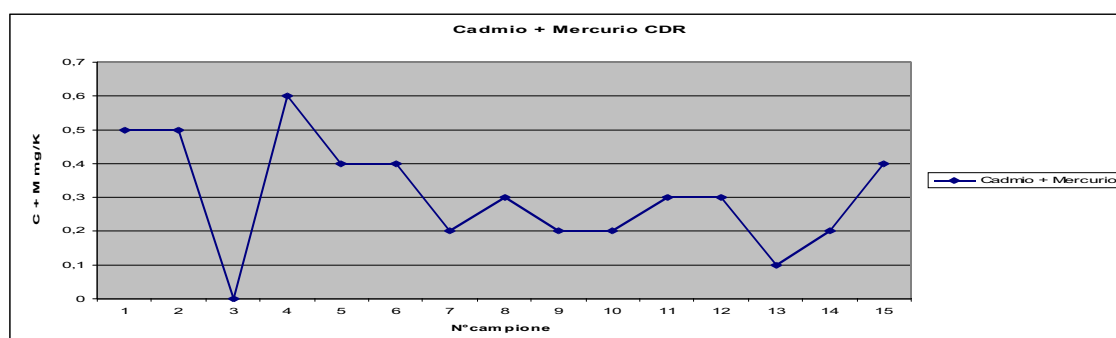
Il rame ha un andamento casuale con oscillazioni anche rimarcate, ma nonostante ciò tutti i campioni sono conformi alla normativa e quindi entro i limiti.

## Mercurio:



Il mercurio ha un andamento casuale con oscillazioni anche rimarcate, ma nonostante ciò tutti i campioni sono conformi alla normativa e quindi entro i limiti.

## Cadmio + Mercurio:



Il cadmio assieme al mercurio ha un andamento casuale con oscillazioni anche rimarcate, ma nonostante ciò tutti i campioni sono conformi alla normativa e quindi entro i limiti.

### 2.5.3 Osservazioni finali:

Tutti i metalli analizzati sono dentro i limiti e dipendono anch'essi come Cloro e Zolfo dal tipo di materiale/inquinante che è presente all'interno del CDR.

Rispetto alla tabella con i limiti di riferimento di pag. 16 si può affermare che tutti i campioni analizzati sono consoni alla classificazione e quindi all'utilizzo sotto forma di CDR, per la produzione di calore ed energia elettrica.



## **Capitolo 3**

### **COMPOST**

#### **3.1 Produzione e utilizzo del compost**

Durante il periodo di tirocinio ho avuto la possibilità di visitare un impianto di compostaggio, qui di seguito sarà fatta una descrizione dell'impianto per vedere le varie strade che può seguire la frazione organica, più generalmente detta putrescibile, diretta alla riqualificazione del rifiuto e successiva trasformazione in sottoprodotto o materia prima che dir si voglia, come era stato anche per il CDR.

Le matrici che sono conferite nell'impianto sono le seguenti:

- ♣ Verde;
- ♣ Scarti industriali alimentari;
- ♣ FORSU;
- ♣ Scarti agricoli;
- ♣ Fanghi civili, industriali o di depurazione.

I camion all'ingresso sono pesati, quindi scaricano il materiale che trasporta in cumuli diversi secondo la matrice trasportata.

A questo punto la strada che prende il materiale si divide sostanzialmente in due infatti, sono possibili due tipi di processo, quello aerobico e quello anaerobico.

L'impianto ha una portata di 80.000 t/anno, di cui 70.000 t/anno in riferimento al processo aerobico, mentre 10.000 t/anno per quello anaerobico.

##### **3.1.1 PROCESSO AEROBICO**

La miscela che entra nell'impianto è così composta:

- ♣ 1/3 Verde;
- ♣ 1/3 FORSU;
- ♣ 1/3 Fanghi.

In seguito la massa riceve un trattamento di aerazione, infatti viene convogliata in 4 celle ovvero capannoni, ciascuna delle quali è composta da 4 corsie, di cui tre occupate dal

materiale ed una libera per permettere il rivoltamento dello stesso.

Il processo aerobico è composto di diverse fasi:

▲ 1° fase: ha una durata di tre settimane, dopo ognuna della quale si effettua un rivoltamento, il quale consiste nel rigirare su se stessa la massa di materiale in fermentazione, vengono anche controllati i parametri caratteristici quali la temperatura, il pH, l'umidità, l'anidride carbonica e l'ammoniaca.

▲ 2° fase: ha una durata di due settimane, dopo ognuna della quale si effettua un rivoltamento.

Il rivoltamento si effettua nella corsia libera, alla cui base è posizionato un tubo che ha lo scopo di insufflare aria per migliorare l'ossigenazione dell'intero cumulo; alla base del cumulo inoltre a protezione da intasamenti del tubo e per favorire il passaggio dell'aria, viene posto uno strato di cippato di legno.

Alla conclusione della seconda fase, il materiale subisce dei trattamenti meccanici per migliorarne la qualità, infatti passa attraverso un separatore magnetico il quale elimina il materiale ferroso, poi vi sono due sezioni di vagliatura, una a 20 mm e l'altra a 10 mm.

Dalla vagliatura si ottengono:

▲ Sopra-vaglio: il quale ritorna all'inizio del percorso ed è inserito in una nuova miscela in ingresso;

▲ Sotto-vaglio: il quale è mandato alla prima lavorazione.

Dopo le vagliature, il materiale subisce una lavorazione, la quale consiste in un periodo di stoccaggio di tre mesi. Questo periodo è definito maturazione, è un periodo molto importante per questo vengono controllati i parametri caratteristici, la temperatura in particolar modo soprattutto in estate, periodo nel quale potrebbe innalzarsi notevolmente.

### **Alcune osservazioni sull'impianto**

Tutte le celle che contengono il materiale in fermentazione, sono tenute in depressione, questo per permettere l'aspirazione dei vapori che si formano, che essendo ricchi di sostanze dannose, quali ammoniaca e anidride carbonica, andrebbero altrimenti ad inquinare l'ambiente.

I fumi raccolti sono convogliati in biofiltri di corteccia, i quali attraverso i microorganismi presenti al loro interno permettono l'abbattimento delle sostanze inquinanti.

Creare all'ingresso una miscela abbastanza secca, è importante per vari motivi, in primo luogo si può controllare meglio l'umidità andando ad aggiungere l'acqua necessaria, inoltre

più secca è la miscela meno tendenza avrà ad impaccarsi e di conseguenza l'aria si diffonderà all'interno della massa più agevolmente, ottenendo un'omogeneità della massa maggiore.

Dalle vagliature si ottiene il materiale plastico, il quale è conferito in discarica; il sopra-vaglio che è riciclato fa da inoculo per i microorganismi, i quali non devono quindi essere inseriti artificialmente, in quanto già presenti nella miscela di matrici iniziali oppure nel riciclo del sopra-vaglio appunto.

### **3.1.2 PROCESSO ANAEROBICO**

La parte del processo anaerobico riguardante lo scarico e la pesatura dei camion è uguale a quella dell'impianto aerobico. Le differenze cominciano dalla miscela entrante nell'impianto in quanto, la percentuale di sostanza secca usualmente presente in ingresso è tra il 10 e il 15%, per il processo anaerobico è composta da:

- ♣ FORSU (Frazione Organica Rifiuti Solidi Urbani);
- ♣ Scarti alimentari (ad esempio pasta, gelati, etc.).

Il trattamento del materiale in entrata è composto di varie fasi:

- ♣ Pre-trattamento → fase apri-sacco, attraverso trituratori pneumatici, viene fatta anche una prima vagliatura attraverso l'utilizzo di vagli a stella;

- ♣ Inserimento in impianto: vi sono due possibilità.

- *Idropiper*: sono macchinari simili a cicloni, nei quali da sotto è inserito il materiale da un lato e l'acqua di processo dall'altro;

- *Trattamento meccanico*: il materiale è caricato attraverso una tramoggia provvista di coclea in un cilindro forato, all'interno del quale vi è un albero con una serie di coltelli posti a 45°, che compie 1.500 giri/min. ed ha il compito di sminuzzare il mix in ingresso. Tra l'albero e la parete del cilindro vi è una griglia, la quale funziona da vaglio, da quest'operazione si separano la parte leggera e quella grossolana pesante che escono dalla sommità del cilindro, e una parte invece che attraversa la griglia.

La parte uscita dal cilindro è principalmente composta da mater b e viene inviata al processo di compostaggio, mentre il materiale che ha attraversato la griglia viene pompato nell'impianto anaerobico utilizzando come parte liquida il percolato.

La miscela è pompata in due serbatoi collegati per permettere il passaggio dall'uno all'altro, passaggio che avviene attraverso un trituratore, che ha lo scopo di omogeneizzare e rendere più fluida e quindi pompabile la miscela di alimentazione al digestore.

I due serbatoi funzionano anche da sedimentatori, permettendo il deposito degli inerti che evitano così di andare a creare problemi poi nel seguito dell'impianto, una volta effettuati una serie di passaggi tra i due serbatoi, il materiale è abbastanza omogeneo e può essere pompato attraverso pompe centrifughe al digestore. Quest'ultimo lavora in continuo con una portata d'ingresso di 2 m<sup>3</sup>/h, mentre il sistema di preparazione del mix in ingresso lavora in discontinuo con portata di 15 m<sup>3</sup>/h. Il materiale in ingresso è unito al riciclo del digestore prima di entrare nello stesso in modo da mantenere la massa omogenea, ed inoltre passando attraverso uno scambiatore di calore mantenere costante la temperatura nel digestore, evitando shock termici per gli eventuali sbalzi di temperatura.

La massa nel digestore è mantenuta in movimento grazie al pompaggio del biogas attraverso delle lance all'interno della massa stessa, inoltre l'insufflare il metano ha il merito di poterne strappare del nuovo. A questo punto il biogas ottenuto deve essere purificato e ciò è eseguito attraverso il passaggio in due filtri, uno a ghiaia che sottrae l'umidità al gas e l'altro in ceramica porosa utile a sottrarre le polveri fini. Il biogas è stoccato in un gasometro costituito di due membrane, un'esterna alla pressione di 20 millibar, pressione creata grazie ad una soffiante la quale impone quella pressione all'intero impianto, mentre la membrana interna varia il suo volume e pressione per permettere l'entrata e l'uscita del biogas.

Il processo anaerobico è composto di 4 fasi:

- ⤴ Idrolisi: dove i composti organici subiscono la scissione in molecole più semplici;
- ⤴ Acidogenesi: dove avviene un'ulteriore scissione delle molecole in acidi grassi volatili;
- ⤴ Acetogenesi: dove le molecole sono ulteriormente ridotte di dimensioni con produzione di biossido di carbonio, idrogeno e acido acetico;
- ⤴ Metanogenesi: dove avviene prevalentemente la produzione di metano.

Nel digestore ci sono 3 fasi nonostante si cerchi di omogeneizzare il più possibile la massa:

- ⤴ Fondo di sedimento: composto per lo più da inerti;
- ⤴ Massa di liquido: comprende la maggior parte della massa di digestato;
- ⤴ Crosta superficiale: il biogas è insufflato per evitare la formazione della stessa.

Il digestore ha sul fondo due uscite, una che pesca dal fondo stesso e serve per estrarre gli inerti, ed un'altra a mezza altezza che pompa il liquido, il quale una volta estratto viene disidratato, risulta essere uno scarto per il processo anaerobico, ma allo stesso tempo una materia prima per il compostaggio.

A questo punto interviene un componente esterno all'impianto di digestione anaerobica che fa da congiunzione tra processo aerobico e anaerobico è il depuratore biologico.

### **3.1.3 DEPURATORE BIOLOGICO**

L'acqua proveniente dalla disidratazione è qui inviata per essere trattata, poiché contiene molta ammoniaca la quale deve essere ossidata prima a nitrito e poi a nitrato.

Questo procedimento è molto importante poiché l'acqua in uscita dal depuratore è utilizzata per controllare l'umidità nel processo aerobico e se dovesse contenere molta ammoniaca, andrebbe a inibire i microrganismi presenti nei biofiltri di corteccia del processo aerobico, così facendo sarebbero emessi in atmosfera gas non più conformi alle norme vigenti, poiché contenenti ammoniaca superiore al limite consentito.

### **Osservazioni**

La scelta in quest'impianto è di lavorare in mesofilia a 37°C, questo permette di avere biogas con un buon tenore di metano, sono necessari però lunghi tempi di lavorazione. Con questo metodo l'impianto consente di avere un surplus di calore ed energia.

A differenza della mesofilia la termofilia la quale lavora a 55°C permette di avere tempi di lavorazione minori, con rese quantitative maggiori ma qualitativamente molto inferiori, inoltre il dispendio di energia per mantenere temperature più elevate è molto maggiore della mesofilia. Il calore che è fornito nello scambiatore è ottenuto dal lavoro del motore di cogenerazione.

Si può capire come quest'impianto è un ciclo chiuso nel quale il processo aerobico, quello anaerobico e quello di depurazione sono interconnessi provvedendo al proprio sostentamento l'un l'altro.

Quest'impianto come detto ha un esubero di biogas e di energia elettrica, che permette un quasi completo sostentamento, con utilizzo irrisorio di materie prime esterne, ad esempio acqua per il controllo dell'umidità del compost, poiché si usa l'acqua del depuratore o il percolato.

Tabella 7: Caratteristiche del compost prescritte dalla normativa vigente.

Parametro	Unità di misura	limite inferiore	limite superiore
Umidità	% (in massa)		50%
pH		6	8,5
Carbonio organico	% (in massa s.s.)*	25%	
Carbonio umico e fulvico	% (in massa s.s.)*	7%	
Azoto organico % sul totale	% (in massa s.s.)*	80%	
Azoto totale	% (in massa s.s.)*		
Rapporto C/N			25
Cadmio	mg/Kg (sulla s.s.)*		1,5
Cromo VI	mg/Kg (sulla s.s.)*		0,5
Mercurio	mg/Kg (sulla s.s.)*		1,5
Nichel	mg/Kg (sulla s.s.)*		100
Piombo	mg/Kg (sulla s.s.)*		140
Rame	mg/Kg (sulla s.s.)*		150
Zinco	mg/Kg (sulla s.s.)*		500
Mater. plast. E altro inerte	% (in massa s.s.)*		0,45%
Inerti litoidi ( $\varnothing \geq 5$ mm)	% (in massa s.s.)*		
Indice di germinazione	% (in massa)		

(s.s. \* = sostanza secca)

### **3.2 Tecniche analitiche e metodologie d'analisi[11]**

L'analisi sul materiale da compostaggio è eseguita per determinare gli usi ed i limiti di impiego in modo da evitare effetti indesiderati sul suolo, sulla vegetazione, sugli animali e sull'uomo e nel contempo valorizzarne le proprietà agronomiche.

Per compost s'intende un prodotto stabile ed igienizzato, ottenuto sottoponendo a processo bioossidativo controllato i substrati organici, il processo di compostaggio deve assicurare la stabilizzazione e l'igienizzazione della massa in ogni sua parte. Il compost appartiene alla classe degli ammendanti organici naturali, poiché capace di modificare e migliorare le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche-biologiche e meccaniche del terreno. Si possono differenziare varie classi di compost in base all'origine ed alla composizione delle biomasse di rifiuto e di scarto impiegate nel processo produttivo, ed alla presenza di materiali inerti e di elementi contaminanti.

Il compost è analizzato secondo la normativa del DGRV 568/05, queste sono le analisi sul compost inteso come prodotto finito.

### **3.2.1 Campionamento:**

Il campionamento è stato ottenuto con il metodo della quartatura come previsto dal DGRV 568/05 allegato B[11]. Si crea un cumulo di materiale, lo si divide in quarti e se ne scartano due opposti, conservando gli altri due, con i quali si costituisce un nuovo cumulo. Si effettua nuovamente la suddivisione in quarti scartando e conservando i quarti opposti rispetto al precedente passaggio. Dai due quarti rimasti si ottiene il campione che andrà in laboratorio per le analisi.

### **3.2.2 Determinazione del pH:**

La determinazione del pH si fa realizzando una soluzione 1:10 tra il campione di compost e acqua distillata, è quindi determinato il pH attraverso l'utilizzo di un piaccmetro.

### **3.2.3 Umidità:**

Per la procedura si fa riferimento alla determinazione dell'umidità nel campione di CDR, poiché è la stessa utilizzata anche per l'analisi del campione di compost.

### **3.2.4 Determinazione dell'azoto totale:**

La sostanza organica è decomposta con acido solforico in presenza di catalizzatore. L'ammoniaca distillata che si raccoglie su una soluzione di acido borico è titolata con acido solforico in presenza di indicatore. Introdurre nel pallone Kjeldahl circa 2 g di campione umido e si aggiungono 25 ml di acido solforico e 0,5 g di catalizzatore. Scaldare cautamente per evitare schiumeggiamenti; alzare poi la temperatura e mantenere l'ebollizione fino a quando il liquido diviene incolore e il residuo sia bianco-grigiastro; poi ancora mezz'ora di ebollizione, quindi raffreddare e diluire con poca acqua scaldando con cautela per sciogliere i solfati.

Si collega quindi il pallone Kjeldahl all'apparecchio per la distillazione, dopo aver basificato con NaOH, si procede quindi alla distillazione, raccogliendo il distillato in 20 ml di acido borico contenente 2 gocce di indicatore. Titolare con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N fino a viraggio dal verde al grigio-viola. Si determina l'azoto totale in % mediante:

$$[(A \cdot T \cdot 14) / (P \cdot 10)] \cdot F1$$

A = ml di acido solforico 0,1 N o 0,036 N impiegati nella titolazione;

T = normalità della soluzione di acido solforico 0,1 N o 0,036 N;

P = massa del campione umido in grammi;

F1 = fattore per riportare il dato analitico sulla sostanza secca.



Figura 7: Attrezzatura per la determinazione dell'azoto e del carbonio.

### **3.2.5 Determinazione dell'azoto ammoniacale:**

Il metodo consiste nella distillazione dell'ammoniaca che si forma trattando il campione con una base debole.

Si centrifugano 5,00 g di campione umido, trattati con 50 ml di KCl 1 N, dopo aver agitato per 1 ora. Porre in un pallone da distillazione un'aliquota di 5 o 10 ml di estratto, aggiungere circa 1 g di MgO, diluire a circa 80 ml e separare l'azoto ammoniacale distillando con palloni Kjeldahl per 4 - 5 minuti. Si raccoglie il distillato in 20 ml di acido borico contenente 2 gocce di indicatore. Si titola quindi la soluzione con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.036 N.

N<sub>amm.</sub> è l'azoto ammoniacale in mg su Kg determinato con la seguente formula:

$$N_{\text{amm.}} = [ ( A \cdot N \cdot 14 \cdot 1.000 \cdot D ) / P ] \cdot F1$$

A = ml di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> usati nella titolazione dell'azoto ammoniacale;

N = titolo della soluzione di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;



D = fattore di diluizione;

P = peso campione umido in grammi;

F1 = fattore per riportare il dato analitico sulla sostanza secca.

### **3.2.6 Determinazione dell'azoto nitrico:**

L'azoto nitrico può essere ridotto, congiuntamente o no all'azoto nitroso, a ione ammonio che è separato per distillazione in corrente di vapore e titolato. I nitrati e i nitriti sono ridotti ad azoto ammoniacale con lega di Devarda, contemporaneamente è dosato l'azoto ammoniacale. Si centrifugano 5,00 g di campione umido, trattati con 50 ml di KCl 1 N, dopo aver agitato per 1 ora. Porre in un pallone da distillazione un'aliquota di 5 o 10 ml di estratto, aggiungere circa 1 g di MgO, diluire a circa 80 ml e separare l'azoto ammoniacale distillando per 4 - 5 minuti. Si raccoglie il distillato in 20 ml di acido borico contenente 2 gocce di indicatore, previa aggiunta di 0,5 g di lega di Devarda al pallone Kjeldahl. Si titola quindi la soluzione con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.036 N. Ricavare il contenuto di azoto nitroso – nitrico (N<sub>nitr.</sub>) in mg su Kg, mentre N<sub>amm.</sub> è l'azoto ammoniacale in mg su Kg:

$$N_{\text{nitr.}} = \{ [ ( B \cdot N \cdot 14 \cdot 1.000 ) / P ] - N_{\text{amm.}} \} \cdot F1$$

$$N_{\text{amm.}} = [ ( A \cdot N \cdot 14 \cdot 1.000 \cdot D ) / P ] \cdot F1$$

A = ml di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> usati nella titolazione dell'azoto ammoniacale;

B = ml di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> usati nella titolazione dell'azoto nitrico – nitroso;

N = titolo della soluzione di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

D = fattore di diluizione;

P = peso campione umido in grammi;

F1 = fattore per riportare il dato analitico sulla sostanza secca.

### **3.2.7 Determinazione dell'azoto organico:**

Dopo aver determinato tutti i vari tipi di azoto, secondo i metodi descritti sopra, l'azoto organico si determina per differenza tra l'azoto totale, quello ammoniacale e quello nitroso – nitrico secondo la seguente semplice equazione:

$$N_{\text{organico}} = N_{\text{tot}} - N_{\text{nitr.}} - N_{\text{amm.}}$$

### **3.2.8 Determinazione dell'indice di germinazione:**

Questo metodo si basa sulla preparazione dell'estratto acquoso del campione, con conseguente valutazione della germinazione dei semi di una pianta di prova definita.

Si umidificano 200g di campione fino all'85 % di umidità, si lascia quindi a contatto con l'acqua aggiunta per 2 h il campione stesso, quindi si centrifuga e si filtra sotto pressione a 0,35 MPa con membrana sterilizzante. Si diluisce quindi l'estratto acquoso con acqua distillata fino ad ottenere una concentrazione dell'estratto al 75 % ed al 50 %. Dalle due soluzioni si prelevano rispettivamente 5 ml e s'inseriscono in 5 capsule, contenenti carta bibula, ad ognuna delle quali viene aggiunto 1 ml di acqua distillata. Il testimone è costituito da 5 capsule contenenti carta bibula e ciascuna 1 ml di acqua distillata. In ogni capsula sono poi inseriti 10 semi della pianta definita, fatti precedentemente rigonfiare in acqua distillata per 1 h. Si mettono quindi le capsule in stufa ad incubare per 24 h a 27 °C. Al termine dell'incubazione la germinazione è interrotta mediante l'aggiunta di alcool etilico ( 0,5 ml per ogni capsula).

Al termine delle 24 h di incubazione contare i semi germinati e misurare la lunghezza radicale. Per le due concentrazioni considerate 50 % o 75 %, calcolare l'indice di germinazione  $I_g$  mediante la formula:

$$I_g = [ ( G_c \cdot L_c ) / ( G_t \cdot L_t ) ] \cdot 100$$

$G_c$  = numero medio di semi germinati nel campione;

$L_c$  = numero medio di semi germinati nel testimone;

$G_t$  = lunghezza radicale media nel campione;

$L_t$  = lunghezza radicale media nel testimone.

Il valore finale è dato dalla media aritmetica tra i valori ottenuti alle concentrazioni di 50 % e 75 %.

### **3.2.9 Determinazione del contenuto di plastica, vetro, litoidi ed altro inerte:**

Si pesano 50 g di campione tal quale; scartarne la frazione con granulometria minore di 1 mm e trasferirli in un recipiente di vetro; si addiziona acqua ossigenata a 130 volumi in quantità necessaria ad ottenere la completa ossidazione della sostanza organica. Si effettuano tre ripetizioni per ogni campione. La completa ossidazione della sostanza organica è evidenziata dall'assenza di effervescenza. Si trasferisce il residuo su uno

setaccio con rete avente luce di maglia di 1 mm e si lava più volte con acqua. Il materiale non passante è rappresentato da sabbia grossolana, vetro, plastica ed altri inerti; questo materiale viene essiccato in stufa a 105 °C e in seguito distribuito su una superficie liscia e piana e con adatte pinzette vengono manualmente separati i frammenti di vetro, plastica, litoidi ed altri inerti. Le frazioni dei vari composti sono infine pesate e la loro massa è rapportata alla massa del campione secco iniziale.

Il contenuto di vetro totale è dato da:

$$V_T = 100 \cdot ( P_V / P_S )$$

$P_V$  = massa di vetro raccolto;

$P_S$  = massa secca del componente iniziale.

Il contenuto di plastica totale è dato da:

$$P_T = 100 \cdot ( P_{PI} / P_S )$$

$P_{PI}$  = massa di plastica raccolta;

$P_S$  = massa secca del componente iniziale.

Il contenuto di litoidi totale è dato da:

$$P_L = 100 \cdot ( P_{LI} / P_S )$$

$P_{LI}$  = massa di litoidi raccolta;

$P_S$  = massa secca del componente iniziale.

### **3.2.10 Salmonella ed escherichia coli:**

Queste due analisi microbiologiche sono state commissionate a laboratori esterni.

### **3.2.11 Metalli:**

Per la procedura si fa riferimento alla determinazione dei metalli nel campione di CDR, poiché è la stessa utilizzata anche per l'analisi del campione di compost.

### **3.2.12 Carbonio organico totale (TOC):**

Il metodo consiste nell'ossidazione spinta a caldo della sostanza organica da parte del bicromato di potassio, con conseguente titolazione dell'eccesso di bicromato con ferro ammonio solfato.

Si pesano circa 0,2 g di campione nel pallone da 250 ml, si aggiungono 20 ml di  $K_2Cr_2O_7$  2N e 26 ml, goccia a goccia, di acido solforico concentrato, tenendo agitato il tutto. S'inserisce il pallone nel mantello riscaldante, precedentemente acceso, si collega il refrigerante a bolle e si porta all'ebollizione, si mantiene a tale condizione la miscela per 10 minuti, si raffredda il tutto e si aggiunge acqua dall'alto fino ad un volume di 200 ml. Si trasferisce il tutto in un matraccio da 250 ml e si porta a volume con acqua distillata, si titola quindi un'aliquota di 25 ml di campione con  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0,2 N.

### **3.2.13 Determinazione del rapporto C/N:**

La percentuale di C organico totale (TOC) è calcolata con la formula:

$$\{ [ N \cdot (B2 - A) \cdot 3 ] / P \} \cdot F2$$

B2 = ml di  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0,2 N usati per il bianco;

A = ml di  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0,2 N usati per il campione;

N = normalità della soluzione di  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  "0,2 N";

3 = massa equivalente del carbonio;

P = massa del campione in grammi;

F2 = fattore per riportare il dato analitico sulla sostanza secca.

Dopo aver determinato il valore del carbonio umico e fulvico ed il valore dell'azoto totale, se ne fa il rapporto e si ottiene questo dato. È un valore che dà un'analisi agronomica del materiale, infatti più carbonio c'è migliore saranno le qualità agronomiche del compost.

### **3.2.14 Determinazione degli acidi umici e fulvici:**

L'estrazione delle sostanze umiche è effettuata con pirofosfato di sodio 0,05 M tamponato a pH 9; una tripla estrazione è da considerarsi esaustiva. La determinazione del carbonio umido è effettuata con il metodo del bicarbonato di potassio.

Per separare gli acidi umici da quelli fulvici si usa la loro diversa solubilità in ambiente acido per acido solforico, gli acidi umici precipitano, quelli fulvici rimangono in soluzione. S'introducono nel matraccio 40 ml di estratto e 4 ml di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrato, lasciare raffreddare e portare a volume. Dopo circa 2 h centrifugare. Su 25 ml del surnatante determinare il carbonio fulvico mediante ossidazione con bicarbonato e titolazione dell'eccesso di ossidante con sale di Mohr, usando come indicatore ortofenantrolina fino a viraggio dal verde al rosso persistente. L'ossidazione deve essere a caldo per 2 h con ricadere.

La percentuale di acidi fulvici AF sulla sostanza umida totale è data dalla formula:

$$AF = C_{\text{fulvico}} (\%) / C_{\text{umico totale}} (\%) \cdot 100$$

$$C_{\text{fulvico}} (\%) = C (\text{mg}) \cdot (300 \cdot 100 \cdot 50) / (25 \cdot 1.000 \cdot 40) = C (\text{mg}) \cdot 1,5$$

$$C_{\text{fulvico}} (\text{mg}) = (\text{ml Mohr bianco} - \text{ml Mohr campione}) \cdot 4 \cdot (12,011 / 32)$$

$$C_{\text{umico totale}} (\%) = C (\text{mg}) \cdot (300 \cdot 100) / (20 \cdot 1.000) = C (\text{mg}) \cdot 1,5$$

$$C_{\text{umico totale}} (\text{mg}) = (\text{ml Mohr bianco} - \text{ml Mohr campione}) \cdot 4 \cdot (12,011 / 32)$$

La percentuale di acidi umici è AU = 100 – AF (%)

### **3.2.15 Conclusioni:**

Le dosi massime d'impiego del compost su e/o nel suolo, sono fissate in relazione alla caricabilità dei terreni, alla concentrazione degli elementi contaminanti nel compost ed all'intervallo di tempo che intercorre tra due applicazioni successive, secondo la seguente formula:

$$Q = (C/P) \cdot n$$

Q = Quantità massima di compost utilizzabile in tonnellate per ettaro e per anno di sostanza secca;

C = Carica massima di elemento contaminante addizionale di terreno in grammi per ettaro e per anno;

P = Concentrazione di elemento contaminante nel compost espresso in mg al Kg di sostanza secca;

n = E' l'intervallo di tempo in anni tra un'applicazione e la successiva.

Il lavoro di selezione in campo è eseguito al fine di determinare l'analisi merceologica della frazione conferita, analisi necessaria a determinare la bontà della raccolta differenziata. Le analisi fatte sul materiale in ingresso nel laboratorio riguarda i parametri chimici, quali i metalli, determinazione necessaria per determinare l'idoneità al conferimento.

### **3.3 Dati sperimentali e osservazioni**

#### **3.3.1 Risultati dell'analisi**

Qui di seguito sono visualizzabili i risultati dell'analisi dei campioni di compost. Complessivamente i campioni presi in esame vanno dal 21 di Febbraio al 16 di Novembre 2011, i campionamenti sono stati eseguiti per lotto o per scadenza presso quattro impianti nella provincia di Verona.

Tabella 8: risultati analisi effettuate sui campioni nel periodo di tirocinio.

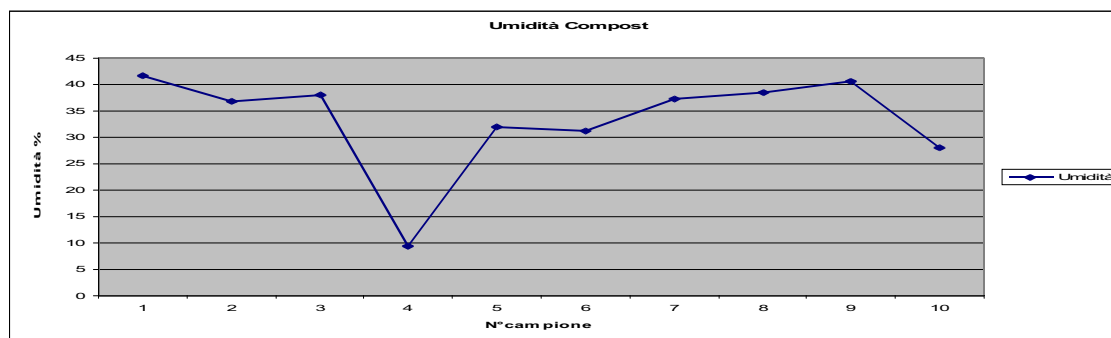
<b>Parametro</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>C. 1</b>	<b>C. 2</b>	<b>C. 3</b>	<b>C. 4</b>	<b>C. 5</b>
Umidità	% (in massa)	41,7	36,8	38	9,4	32
pH		8,44	6,58	8,48	8,41	8,4
Carbonio organico	% (in massa s.s.)	27,3	26	27,3	29	26,8
Carbonio umico e fulvico	% (in massa s.s.)	8,4	7,5	5,4	10,6	7
Azoto organico % sul totale	% (in massa s.s.)	80	84,8	73	88,6	84,2
Azoto totale	% (in massa s.s.)	2,1	2,5	2,7	2,8	2,6
Rapporto C/N		13	10,4	10,1	10,3	10,3
Cadmio	mg/Kg (sulla s.s.)	0,5	1	0,7	< 0,5	0,6
Cromo VI	mg/Kg (sulla s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mercurio	mg/Kg (sulla s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Nichel	mg/Kg (sulla s.s.)	32	38	44,2	16,7	13,4
Piombo	mg/Kg (sulla s.s.)	31,7	13,7	33,2	32,2	25,3
Rame	mg/Kg (sulla s.s.)	164,3	165,7	169,5	131,1	125,4
Zinco	mg/Kg (sulla s.s.)	346,2	349,4	377	250,7	287,5
Mater. plast. E altro inerte	% (in massa s.s.)	< 0,01	0,07	0,06	< 0,01	0,08
Inerti litoidi ( Ø >= 5 mm )	% (in massa s.s.)	< 0,01	1,3	1,8	< 0,01	< 0,01
Indice di germinazione	% (in massa)	95	88	89,5	95	88

Tabella 9: risultati analisi effettuate sui campioni nel periodo di tirocinio.

Parametro	Unità di misura	C. 6	C. 7	C. 8	C. 9	C. 10
Umidità	% (in massa)	31,2	37,2	38,5	40,6	28,1
pH		8,46	8,35	8,33	8,29	7,75
Carbonio organico	% (in massa s.s.)	26,5	42,4	42,3	40,2	25,6
Carbonio umico e fulvico	% (in massa s.s.)	8,9	18	12,4	16,9	8,9
Azoto organico % sul totale	% (in massa s.s.)	83,5	80	80	80	76
Azoto totale	% (in massa s.s.)	2,7	2,8	2,9	2,9	2,8
Rapporto C/N		9,8	15,1	14,6	13,9	9,3
Cadmio	mg/Kg (sulla s.s.)	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cromo VI	mg/Kg (sulla s.s.)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mercurio	mg/Kg (sulla s.s.)	0,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,5
Nichel	mg/Kg (sulla s.s.)	6,5	< 0,5	26,6	< 0,5	9,4
Piombo	mg/Kg (sulla s.s.)	27,6	12,2	13,3	15,2	33,4
Rame	mg/Kg (sulla s.s.)	125,1	43,5	45,3	44,2	93,6
Zinco	mg/Kg (sulla s.s.)	303,9	112,5	106,4	112,9	248,7
Mater. plast. E altro inerte	% (in massa s.s.)	0,4	0,07	0,04	0,06	0,1
Inerti litoidi ( Ø >= 5 mm )	% (in massa s.s.)	1	1,4	1	1,1	1,1
Indice di germinazione	% (in massa)	88	86	89	81	88,9

### 3.3.2 Osservazioni, analisi e discussione dei dati analitici

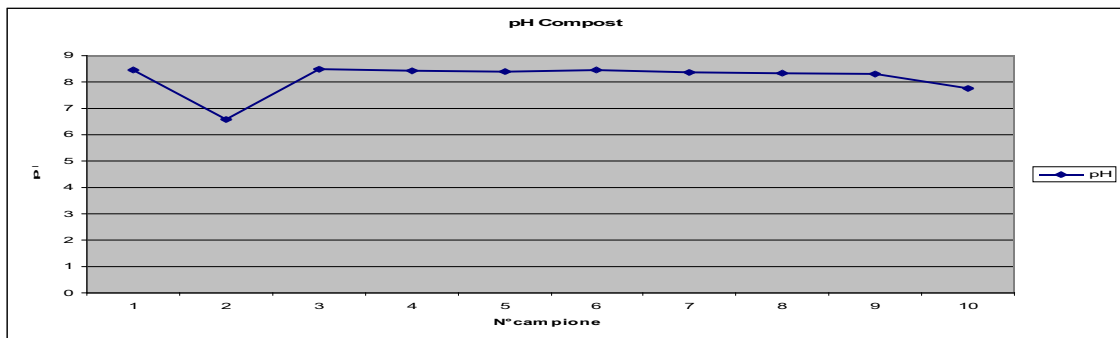
#### Umidità:



L'andamento dell'umidità è puramente casuale, influenzato dagli eventi atmosferici solo parzialmente, in quanto una funzione all'interno dell'impianto consiste nel regolarla.

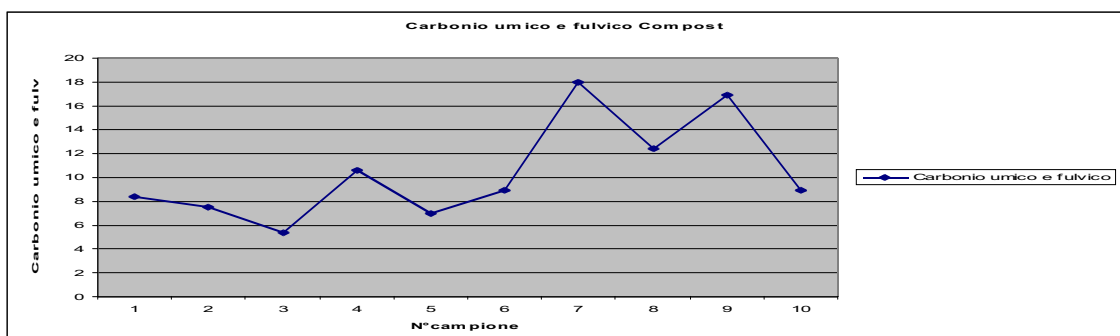
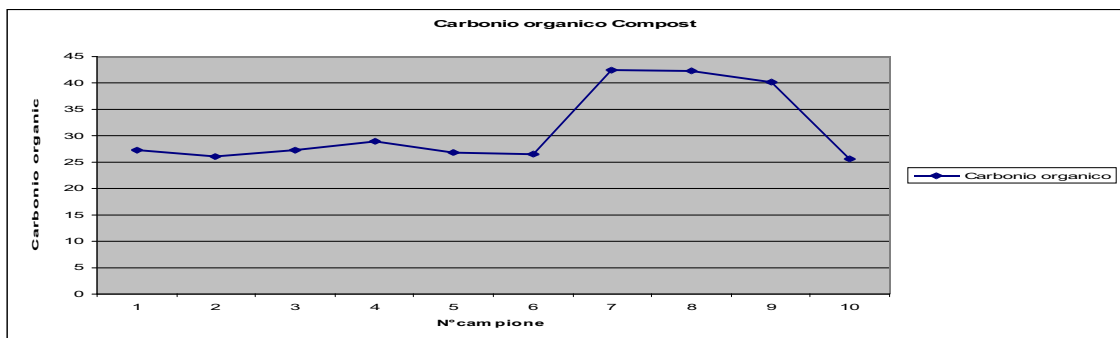


## pH:



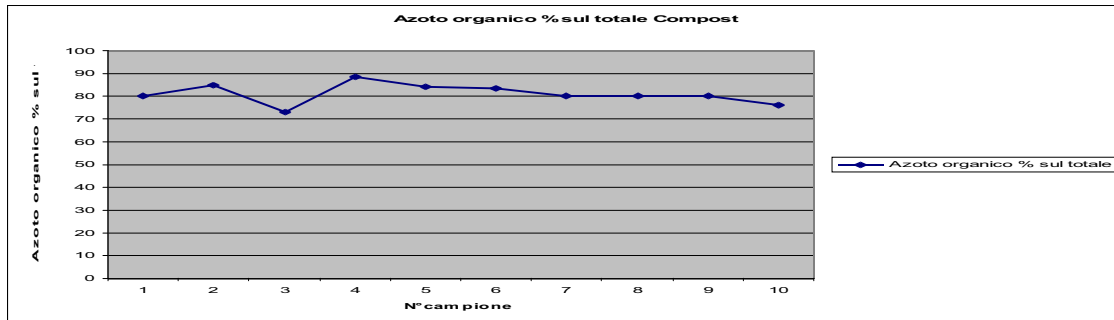
Il pH ha un andamento abbastanza costante compreso tra 8 e 9, due valori sono al di fuori di questo range, ma è un caso.

## Carbonio organico e carbonio umico e fulvico:



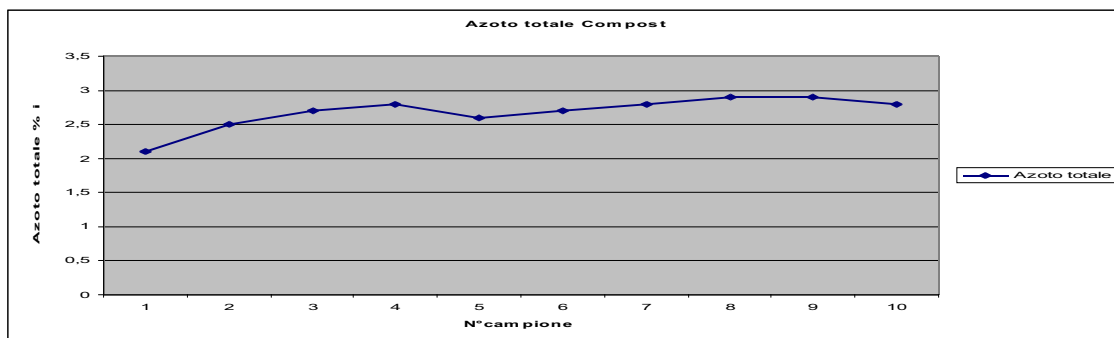
La presenza del carbonio umico e fulvico è direttamente correlata alla presenza del carbonio organico, infatti più materia organica è presente più carbonio umico e fulvico è presente.

### Azoto organico:



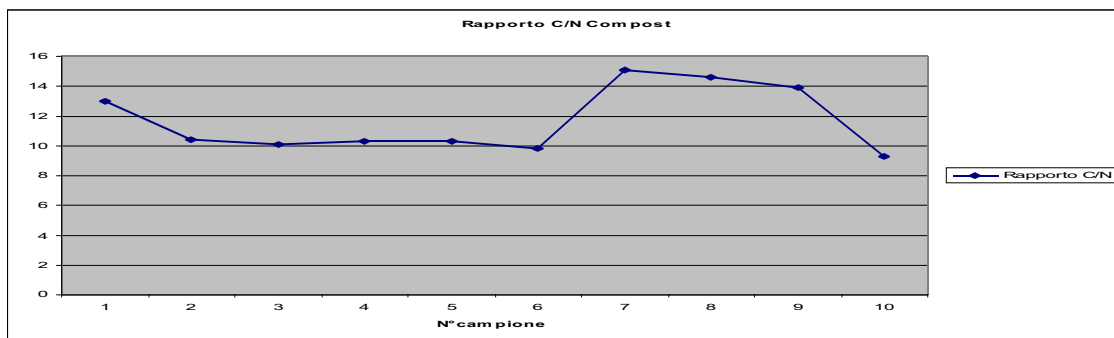
L'azoto organico ha un andamento abbastanza costante compreso tra 70 % e 90 %, senza particolari picchi o valori fuori scala.

### Azoto totale:



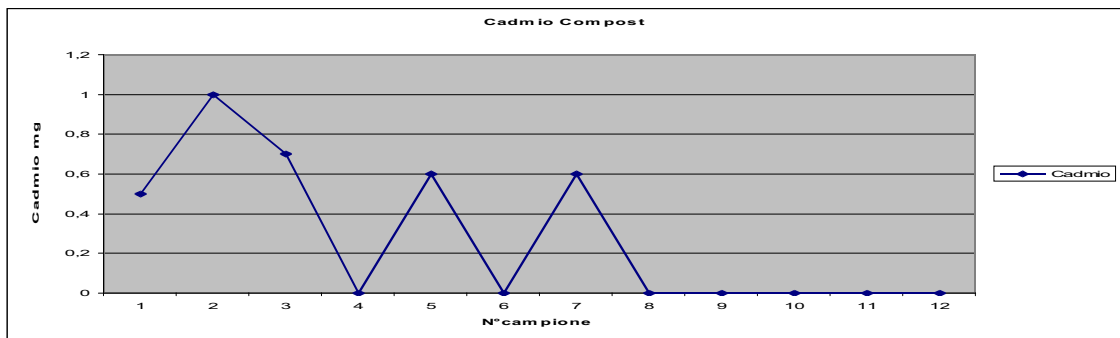
L'azoto totale ha un andamento costante compreso tra 2 % e 3 % senza particolari picchi o valori fuori scala.

### Rapporto C/N:



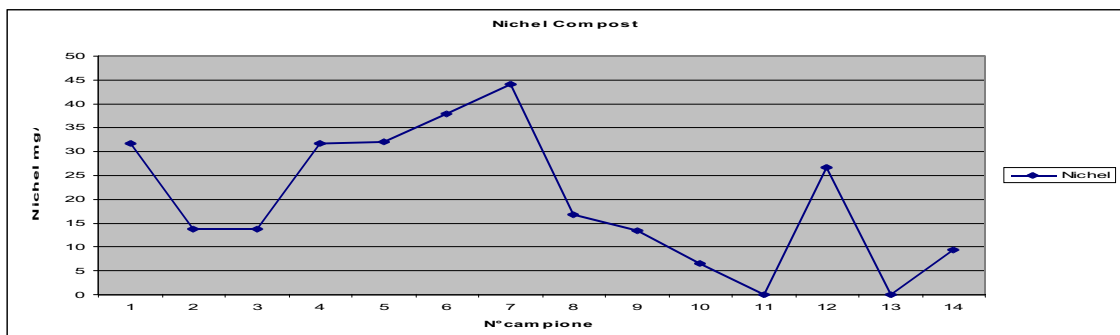
L'andamento di questo rapporto è molto influenzato da carbonio, poiché l'azoto ha un andamento costante.

## Cadmio:



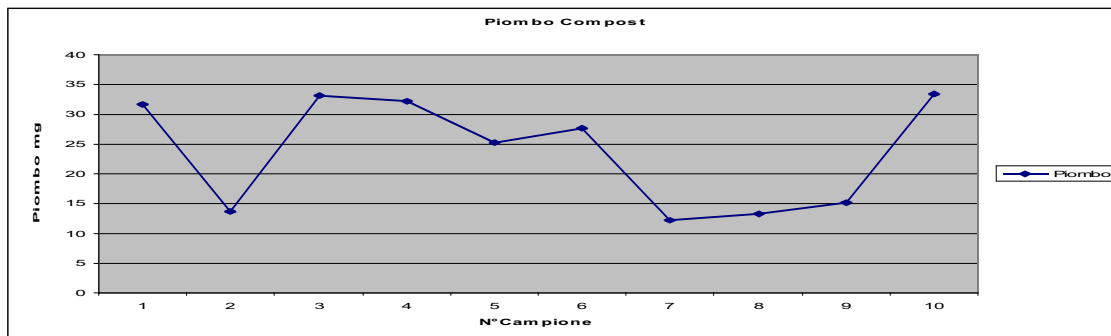
L'andamento del cadmio è molto incostante e casuale, è dovuto infatti alla presenza di inquinanti all'interno del materiale in ingresso all'impianto di compostaggio.

## Nichel:



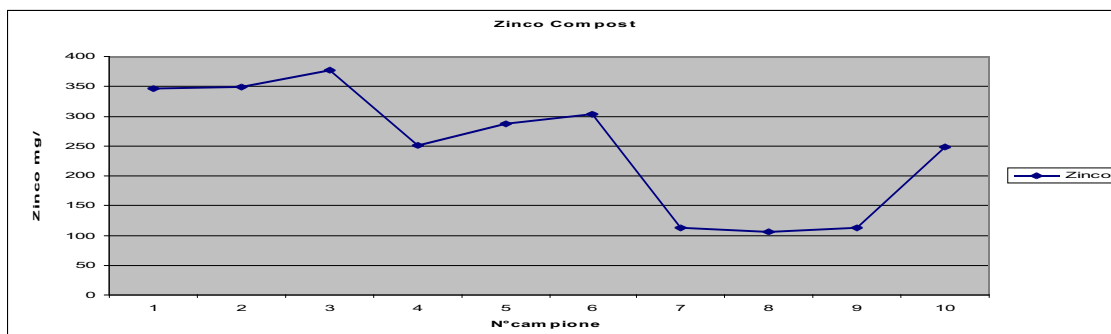
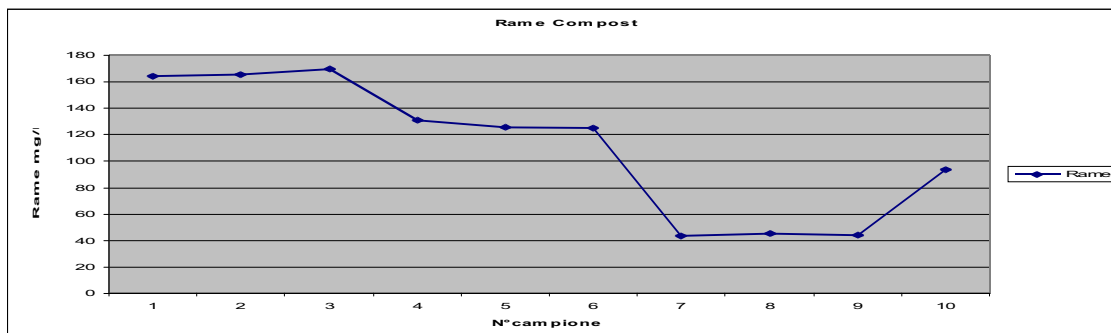
L'andamento del nichel è irregolare e casuale, con punti di minimo e massimo alternati.

## Piombo:



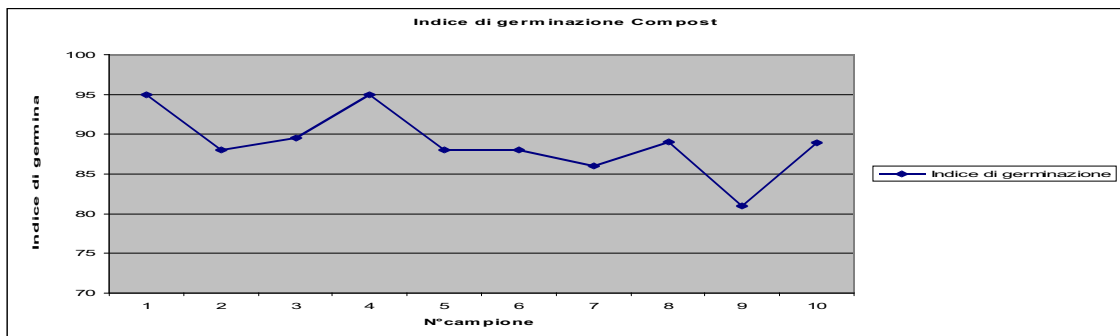
L'andamento del piombo è come per gli altri metalli casuale e irregolare, sempre a causa di possibili inquinanti presenti all'interno del materiale in ingresso all'impianto di compostaggio.

## Rame e Zinco:



L'andamento del Rame e dello Zinco sono paralleli, poiché ad avvallamenti di uno corrispondono avvallamenti dell'altro e lo stesso vale per i picchi di massimo. Quest'andamento è dovuto alla presenza all'interno del materiale compostato di polline di animali di allevamento quali tacchini, polli, ma anche dovuto ad animali selvatici quali i piccioni.

### **Indice di germinazione:**



L'andamento dell'indice di germinazione è casuale e dipende da innumerevoli fattori, tra i quali ad esempio la qualità dei semi della pianta definita per la prova.

### **3.3.3 Osservazioni finali:**

L'andamento dei metalli è un andamento casuale, dipende dal tipo di inquinante presente nel materiale in ingresso all'impianto di compostaggio.

Tutti i campioni analizzati sono consoni alla classificazione, e quindi all'utilizzo sotto forma di compost, rispetto ai limiti di riferimento fissati nella tabella riportata a pag. 33.



## **Capitolo 4**

### **CONCLUSIONI**

#### **4.1 Andamento economico e stagionale dei rifiuti**

Nell'ambito dell'argomento della caratterizzazione dei rifiuti, ai fini dello smaltimento, con particolare attenzione al recupero di materia ed energia, nel mio lavoro di tesi, che si è svolto in un laboratorio chimico, ho cercato di dare un'interpretazione dei dati e del materiale raccolto, al di là di un semplice aspetto analitico.

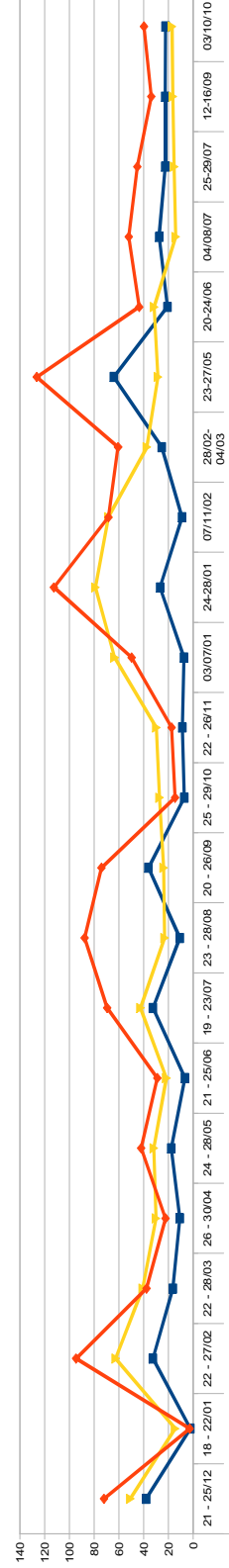
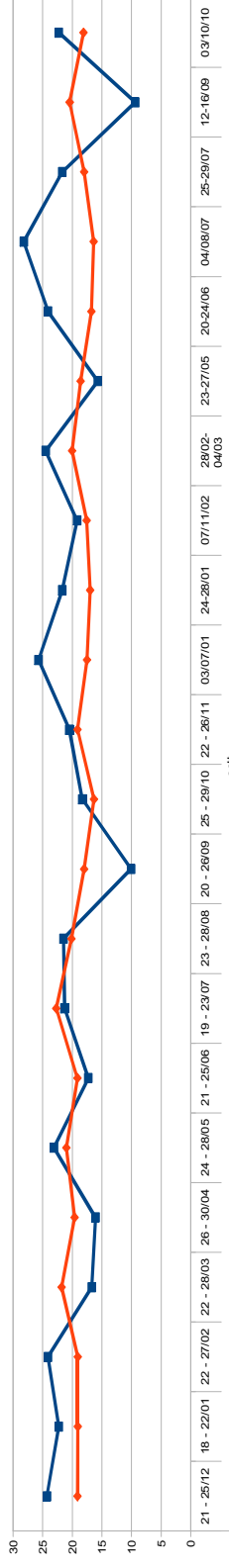
In particolare la mia attività si è concentrata sull'analisi del compost e del CDR.

La caratterizzazione del CDR è stata effettuata per determinare l'invio ad un impianto di termovalorizzazione, mentre per quanto riguarda il compost, il quale è stato prodotto da un'azienda della provincia di Verona, è stata fatta con la finalità dell'utilizzo dello stesso in discarica e come arricchente di nutrienti per il suolo.

Peculiarità per entrambi gli impianti di produzione del CDR e del compost è che hanno la maggior parte dell'utile attraverso i rifiuti in ingresso.

Andamento, in relazione ai dati del 2010 e del 2011 del CDR qualità normale, dell'umidità, del potere calorifico, del rame solubile e del piombo volatile.

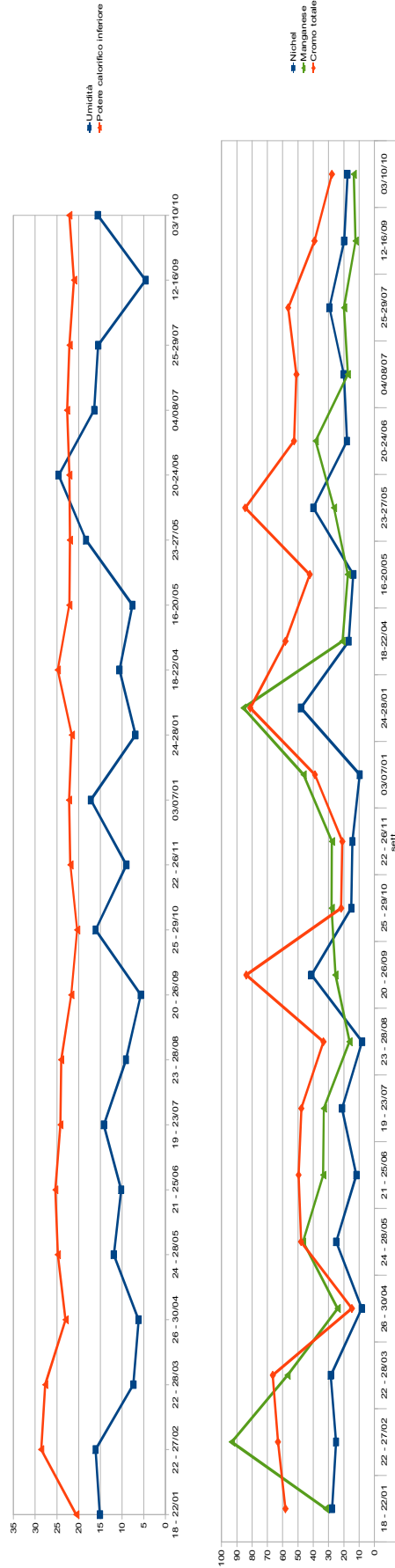
PARAMETRO	U.M.	Dati anno 2010												Dati anno 2011												misurazione statistica	risultato	C.A.	
		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		lim. Min.	lim. Max								
		RESULT.	RISULT.	RESULT.	RISULT.	RESULT.	RISULT.	RESULT.	RISULT.	RESULT.	RISULT.	RESULT.	RISULT.	RESULT.	RISULT.	RESULT.	RISULT.	RISULT.											
Umidità	%	24.3	22.3	24.1	16.7	16.1	23.1	17.3	21.3	18.3	20.5	25.7	21.7	19.2	24.5	15.7	24.1	28.2	21.7	9.4	22.3	media	20.4		25				
Ceneri	%ss	8.1	9.5	9.2	8.2	8.9	11.1	9.9	11.1	10.2	16.0	14.1	13.8	12.5	9.7	8.9	12.3	10.5	8.8	12.1	9.3	13.2	media	10.8		20			
Potere calorifico inferiore	Mj/kg TQ	19.11	19.07	19.08	21.80	19.59	20.98	19.15	22.70	20.15	18.02	16.35	19.11	17.51	16.98	17.57	20.05	16.78	16.40	18.02	20.45	18.12	media	18.9	15000				
Cloro totale	% SCl	0.23	0.22	0.17	0.14	0.34	0.07	0.33	0.35	0.23	0.08	0.15	0.15	0.09	0.14	0.06	0.19	0.25	0.21	0.14	0.28	0.45	media	0.2		0.9			
Zolfo	% SCl	0.05	0.07	0.05	0.09	0.12	0.06	0.22	0.10	0.08	0.10	0.16	0.16										media	0.1		0.6			
Arsenico (come As)	mg/kg ss	0.6	0.4	<0.1	0.5	0.4	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	media	0.4		9			
Cromo totale (come Cr)	mg/kg ss	72.0	2.8	94.6	37.7	22.4	42.0	29.1	69.5	87.7	74.1	14.6	17.5	49.8	68.6	60.7	126.4	43.7	52.0	45.1	33.9	39.7	media	54.4		100			
Manganese (come Mn)	mg/kg ss	50.8	14.6	62.7	40.8	30.0	31.9	21.7	42.6	23.1	23.8	27.2	29.8	63.5	79.1	68.6	37.4	28.5	31.6	14.1	15.5	16.4	17.1	media	35.0		400		
Nichel (come Ni)	mg/kg ss	38.0	2.3	32.5	16.4	10.9	17.7	6.6	32.5	10.8	36.1	7.2	8.7	7.5	26.8	9.0	25.4	64.2	20.9	27.6	22.5	22.4	22.4	media	21.3		40		
Rame (comp. solubili) (come Cu)	mg/kg ss	0.9	5.6	2.2	2.3	1.7	1.3	15.7	1.8	1.2	2.6	1.9	1.8	3.3	4.8	4.4	3.1	6.5	9.1	2.1	2.4	11.3	13.2	media	4.5		300		
Piombo volatile (come Pb)	mg/kg ss	11.3	1.0	33.3	33.8	5.4	<2.5	<2.5	10.3	<2.5	2.5	2.0	<0.5	10.6	25.8	29.2	26.8	10.0	36.1	<0.5	<0.5	<0.5	15.4	media	16.8		200		
Cadmio	mg/kg ss	<0.5	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	0.8	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	media	0.8				
Mercurio	mg/kg ss	<0.1	<0.1	0.5	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	media	0.3				
Cd + Hg	mg/kg ss	<0.5	<0.1	1.2	0.7	<0.1	0.8	0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	media	0.5				
Punto di rammolimento cenere	°C	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	media	>1100				
Cobalto	mg/kg ss	5.1	3.6	6.3	4.3	1.4	2.2	0.9	3.8	4.4	0.9	1.6	0.9	1.6	0.9	1.6	2.7	1.1	3.8	1.2	0.6	0.9	0.9	media	2.4				
Carbonio totale	%SS								52.9	49.9	46.9	51.5	50.6											media	50.4				





Andamento, in relazione ai dati del 2010 e del 2011 del CDR-Q, dell'umidità, del potere calorifico, del rame solubile e del piombo volatile.

PARAMETRO	Dati anni 2010												Dati anno 2011												misurazione statistica	risultato	C.A.
	sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.		sett.						
	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.	RESULT.	lim. Min.					
Umidità	16,1	7,4	16,1	7,4	10,2	14,2	9,1	5,7	16,1	9,0	17,2	6,9	10,6	18,3	24,6	16,4	15,5	4,6	15,6	12,3	18	15,6	12,3				
Ceneri	5,8	8,0	9,1	9,1	8,0	9,0	10,1	6,4	11,9	10,1	12,5	9,5	6,7	13,2	13,9	8,6	11,6	9,3	14,8	9,8	15	9,8	9,8				
Potere calorifico inferiore	20,54	28,62	27,70	23,01	24,80	25,36	24,19	24,02	21,70	20,34	21,90	21,57	24,83	22,13	22,01	22,65	22,11	21,07	22,15	23,1	20000	23,1	23,1				
Cromo totale	0,15	0,24	0,09	0,33	0,10	0,37	0,20	0,09	0,03	1,51	0,24	0,09	0,16	0,15	0,19	0,26	0,18	0,53	0,32	0,3	0,7	0,3	0,3				
Zolfo	0,09	0,12	0,06	0,17	0,08	0,26	0,06	0,55	0,02	0,22	0,15	0,07	0,16	0,15	0,19	0,26	0,18	0,53	0,32	0,3	0,7	0,3	0,3				
Arsenico	0,1	0,2	0,6	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,4	5	0,4	5				
Cromo totale	58,2	63,1	66,5	14,7	48,0	49,6	47,8	33,3	83,8	21,7	38,9	81,2	58,2	42,3	84,5	52,6	51,0	38,2	27,8	49,5	70	49,5	49,5				
Manganese	31,8	89,3	56,9	24,1	46,7	33,5	33,1	16,3	25,5	28,0	27,8	46,4	20,9	17,4	26,5	38,5	17,4	19,9	12,3	34,1	200	34,1	34,1				
Nichel	27,7	25,1	28,5	8,3	25,0	11,8	21,2	8,1	41,2	15,1	14,4	48,1	16,8	13,8	40,0	17,9	20,0	29,4	19,8	21,9	30	21,9	21,9				
Rame solubile	1,2	2,2	1,9	3,1	2,2	1,5	1,7	1,0	1,0	2,7	2,0	3,3	1,1	2,2	4,0	4,3	2,1	7,8	39,4	4,5	50	4,5	4,5				
Piombo volatile	7,9	23,9	33,3	3,2	11,0	12,4	3,8	14,1	0,9	9,9	<0,5	60,5	3,4	4,2	<0,5	10,7	<0,5	<0,5	<0,5	13,6	100	13,6	13,6				
Cadmio	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	3	<0,5	<0,5				
Mercurio	0,1	0,3	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,004	0,004	<0,005	0,004	<0,005	0,004	0,009	0,015	0,2	1	0,2	0,2				
Cd+ Hg	0,1	0,3	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,004	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,004	0,009	0,015	0,2	1	0,2	0,2				
Punto di ramollimento cereati	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1100	> 1102	> 1103	> 1104	> 1105	> 1106	> 1107	> 1108	> 1109	> 1110	> 1100	3	> 1100	> 1100			
Cobalto	5,5	4,9	2,2	12,6	1,8	1,8	1,8	0,5	1,0	1,2	1,1	1,7	1,1	1,7	2,8	1,3	1,3	1,6	0,6	2,3	50,4	2,3	2,3				
Carbonio totale								50,8	48,8	48,1	52,1	51,0															



Per quanto riguarda il CDR solo i parametri dell'umidità e del potere calorifico hanno valenza a livello commerciale, infatti più alto è il potere calorifico, più bassa è l'umidità e il valore del prodotto sarà maggiore. Il valore di mercato non è però fissato in quanto è soggetto a variazioni del mercato stesso, ma anche alle trattazioni tra le parti coinvolte nell'acquisto/vendita del prodotto. Come si potrà vedere dalle tabelle e dai grafici soprastanti, non c'è una correlazione tra qualità del CDR e quindi dei materiali eliminati ed inquinanti residui. C'è una correlazione invece tra potere calorifico e qualità del materiale che compone il CDR, infatti maggiore è il materiale plastico presente all'interno del CDR, maggiore sarà il suo potere calorifico.

Il CDR si inserisce nel concetto di raccolta differenziata, in quanto una raccolta fatta bene non porta a produrre CDR e come principale conseguenza vi è la scomparsa delle discariche e degli impianti di combustione.

La normativa che regola la differenziazione tra le due classi di CDR, ossia quello di qualità e quello normale, è la UNI 9903 del 1994.

Come si può vedere dall'andamento dei grafici soprastanti e anche dai valori in tabella tutti i campioni presi in esame sono conformi alle norme vigenti, l'andamento è casuale e non è in relazione con nessun tipo di aspetto economico, sia esso riguardante il prezzo di vendita, che il periodo di crisi economica che il nostro paese sta affrontando in questo periodo.

I dati analizzati riguardano un periodo di due anni, da inizio 2010 a fine 2011, il campionamento è stato eseguito ogni settimana, ma nel mio caso ho preso in considerazione una singola settimana di ogni mese, dall'analisi dei dati non è evidenziabile un particolare andamento dei dati in funzione del tempo, se non riguardo la stagionalità, infatti come si può vedere dal grafico che relaziona umidità e potere calorifico, all'aumentare della prima, il secondo diminuisce. Un aumento dell'umidità può essere dovuto ad esempio a periodi di pioggia durante la raccolta del RSU.

Per alcuni parametri tra cui Zolfo, Manganese, Rame, Cadmio e Mercurio, i valori riscontrati sono risultati sempre inferiori ai limiti imposti dalla normativa. Questo è attribuibile ad un'elevata qualità della separazione effettuata in impianto e ad uno sviluppo della raccolta differenziata effettuata sul territorio, con fine ultimo il riutilizzo degli elementi sopra citati in aziende produttrici di beni di consumo.



Per quanto riguarda il compost invece, la sua utilità e rilevanza a livello economico è riferita al solo utilizzo sotto forma di arricchente di nutrienti presenti nel materiale di copertura delle discariche e dei terreni agricoli, non ha nessuna funzione meccanica né di impermeabilizzazione, è infatti interamente utilizzato come concime, il prodotto finito è venduto a valore praticamente pari a zero, l'andamento delle "vendite" ha dei picchi in relazione con la stagionalità dell'agricoltura, ossia nei periodi di intensificazione dell'attività agricola, vi è maggior vendita di prodotto finito.

L'utilizzo di compost come arricchente per i terreni abbatte notevolmente l'utilizzo dei concimi chimici, inoltre a differenza di quest'ultimi avendo particolari proprietà, le quali sono controllate da restrittive norme quali il DGRV 568, può essere usato senza causare particolari problemi all'ambiente.

Come nel caso del CDR ho cercato un andamento per quanto riguarda i parametri del compost in funzione del tempo, andando ad analizzare dati del 2010 e del 2011. Il campionamento è stato eseguito per lotti, solitamente circa uno ogni mese.

Come si può vedere dall'andamento dei grafici, nello stesso periodo, ossia tra Luglio ed Settembre sia del 2010 che del 2011, si ha una diminuzione per quanto riguarda lo Zinco ed il Rame, mentre un incremento per quanto riguarda i vari tipi di carbonio, ossia quello umico, fulvico e quello organico.

Questo comportamento è dovuto alla differente composizione del materiale in ingresso all'impianto, infatti nel periodo estivo la miscela in ingresso è composta per lo più di verde, ramaglie, o comunque frazioni che fanno aumentare la parte organica, durante l'inverno invece è presente maggiormente il pollina, il quale fa aumentare il contenuto in rame e zinco della miscela in ingresso e di conseguenza del prodotto finito.

## **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- ♣ [1] Decreto legislativo 152/2006 parte IV
- ♣ [2] Norma UNI 9903
- ♣ [3] [www.it.wikipedia.org/wiki/Gestione\\_dei\\_rifiuti](http://www.it.wikipedia.org/wiki/Gestione_dei_rifiuti)
- ♣ [4] DM 5 febbraio 1998
- ♣ [5] [www.it.wikipedia.org/wiki/digestione\\_anaerobica](http://www.it.wikipedia.org/wiki/digestione_anaerobica)
- ♣ [6] [www.it.wikipedia.org/wiki/trattamento\\_meccanico\\_biologico](http://www.it.wikipedia.org/wiki/trattamento_meccanico_biologico)
- ♣ [7] [www.it.wikipedia.org/wiki/Gassificazione](http://www.it.wikipedia.org/wiki/Gassificazione)
- ♣ [8] [www.it.wikipedia.org/wiki/Inceneritore](http://www.it.wikipedia.org/wiki/Inceneritore)
- ♣ [9] [www.Ronaldberger.it/news/CDR\\_Q\\_cementieri/2009-04-15](http://www.Ronaldberger.it/news/CDR_Q_cementieri/2009-04-15)
- ♣ [10] Norma UNI 10802
- ♣ [11] Norma UNI 10780: 1998
- ♣ [12] DGRV 568

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio Lachiver Laboratori per avermi dato la possibilità di fare il tirocinio presso le loro strutture, ringrazio in particolar modo il dott. Paolo Camiletti per i consigli e l'aiuto datomi in fase di stesura della tesi e di conclusione della stessa, un grazie particolare anche alla Elisabetta, per i consigli riguardanti le tesi e non solo, ringrazio per la pazienza e la gentilezza tutti i componenti del laboratorio, Antonella, Giulia, Roberta, Chiara, Luca, Daniele, Michelangelo, Michele.

Ringrazio tutta la direzione e segreteria dal signor De conti alla signora silvana, inoltre ringrazio il dott. Stefano Zanetti per l'accompagnamento in visita agli impianti di compostaggio e del CDR.

Ringrazio Ivan per l'estrema disponibilità dimostratami e come per Luca, la Elisabetta e la Chiara anche al di fuori dell'ambito lavorativo.

Ringrazio il professor Renato Bonora per lo spirito di incoraggiamento e miglioramento ad andare sempre avanti ed oltre la semplice visione delle cose.

Ringrazio la mia famiglia per il sostegno conferitomi lungo tutto il periodo di studi, aiutandomi ad affrontare le difficoltà e accompagnandomi nei momenti felici.

*“Una dedica particolare a te che da lassù mi guidi e mi sostieni come hai sempre fatto.”*