

**ALMA MATER STUDIORUM –UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA,  
AMBIENTALE E DEI MATERIALI - DICAM**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA**

**per l'Ambiente e il Territorio LM**

**TESI DI LAUREA**

**in**

**Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie M**

**Analisi della produzione di energia biotermica attraverso l'utilizzo del  
ThermoCompost**

**Candidato  
Rubens Pistocchi 786371**

**Relatore  
Chiar.ma Prof.ssa Ing. Alessandra Bonoli  
Correlatore  
Ing. Francesco Lalli**

---

**Anno Accademico 2016/2017**

**Sessione III**

## Indice

Introduzione .....	7
CAPITOLO I .....	9
1 Gestione dei rifiuti in Italia .....	9
1.1 Gestione dei rifiuti in Emilia Romagna .....	16
CAPITOLO II .....	20
Il Compostaggio.....	20
2 Aspetti generali .....	20
2.1 Parametri di controllo del processo .....	21
2.2 Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.) ed il marchio di qualità .....	24
2.3 Compostaggio di comunità .....	26
CAPITOLO III .....	30
Aspetti normativi.....	30
3 Le Principali normative vigenti in materia di rifiuti, ammendanti e prodotti compostabili	30
3.1 Normativa a livello Europeo.....	31
3.2 Normativa a livello Nazionale.....	31
3.3 Normativa tecnica .....	39
CAPITOLO IV .....	41
ThermoCompost .....	41
4 Aspetti generali .....	41
4.1 Vermicomposting .....	48
CAPITOLO V .....	51
L'orto botanico di bologna .....	51
5 Orto botanico .....	51
5.1 La Convenzione sulla Biodiversità (CBD ) .....	53
5.2 Orto botanico Bologna .....	55
Capitolo VI.....	60
Biotrituratore .....	60
6 Aspetti generali .....	60
6.1 Sistemi di taglio .....	63
6.2 Trasportabilità .....	65
6.3 Biotrituratore elettrico.....	66

6.4	Biotrituratore a scoppio .....	68
Capitolo VII .....		70
7	Aspetti teorici.....	70
7.1	La trasmissione del calore .....	70
7.2	La conduzione cilindrica .....	74
7.2.1	Il coefficiente di conduzione termica k .....	76
7.3	Impianto teorico dello studio.....	78
7.3.1	I Ipotesi.....	78
7.3.2	Perdite di carico localizzate.....	81
7.3.3	Perdite di carico continue .....	82
7.3.4	II Ipotesi.....	84
7.3.5	III Ipotesi.....	86
7.3.6	Calcolo della Potenza termica assorbita .....	87
Capitolo VIII .....		88
8	Il caso studio.....	88
8.1	Software .....	89
Capitolo IX .....		92
9	Applicazione delle ipotesi progettuali al caso studio.....	92
9.1	Ipotesi progettuale.....	92
9.2	I Ipotesi.....	93
9.2.1	Perdite di carico.....	95
9.2.2	Perdite di carico localizzate.....	96
9.2.3	Perdite di carico continue .....	97
9.3	II Ipotesi.....	99
9.4	III Ipotesi.....	102
9.4.1	Perdite di carico continue .....	103
9.4.2	Perdite di carico continue .....	104
9.5	Pompe idrauliche .....	106
9.6	Calcolo della Potenza termica assorbita .....	108
9.7	Potenza termica generata dall'impianto di ThermoCompost.....	108
9.8	Possibili utilizzi dell'impianto .....	109
9.8.1	Scambiatore termico.....	109
9.8.2	Pompa di calore.....	110

Conclusioni .....	112
Ringraziamenti .....	115
Bibliografia .....	117
Sitografia .....	119

*“ Chi dice che è impossibile,  
non dovrebbe  
disturbare chi ce la sta facendo”.*

*Albert Einstein*



## INTRODUZIONE

L'utilizzo dell'energia è indispensabile nella vita quotidiana di ogni essere umano, ed è perciò doveroso, in un contesto di forte dipendenza economica dai combustibili fossili, affrontare con urgenza le grandi sfide da essi generate, quali i cambiamenti climatici, la lotta all'inquinamento atmosferico, la dipendenza crescente dalle importazioni, la fornitura di energia a prezzi accessibili.

Quotidianamente moltissime attività legate alla produzione di energia, alla sua trasformazione ed al suo utilizzo (quali i trasporti, la generazione energetica da fossile, i processi industriali, la distribuzione di carburanti e combustibili, il riscaldamento degli ambienti ecc.) hanno infatti come conseguenza l'emissione in atmosfera di sostanze inquinanti; inoltre, attualmente la richiesta di energia è in forte crescita.

Nell'ultimo decennio, al fine di ridurre la dipendenza dal fossile, si sono invece moltiplicate le iniziative di produzione di energia da fonti alternative.

La capacità di sfruttamento di queste fonti di energia in molti casi non si è ancora sviluppata in maniera tale da renderle competitive con le fonti tradizionali, seppure si siano raggiunti obiettivi importanti per quanto riguarda la riduzione dei costi di produzione.

All'interno di questo contesto si sviluppa il seguente elaborato di tesi, con un approfondimento sulla produzione di energia biotermica a partire dal riciclaggio tramite compostaggio di scarti agricoli e forestali.

Questo elaborato prende in esame il funzionamento di un impianto di ThermoCompost, ossia un impianto ecologico ed economico in grado di produrre energia biotermica, con il recupero di calore e la produzione di un ottimo ammendante, partendo dal compostaggio di rami e ramaglie di frutteti, giardini, parchi, boschi.

L'obiettivo principale del seguente elaborato è quello di effettuare un'analisi progettuale preliminare che permetta di stimare il recupero di energia mediante il ThermoCompost attraverso il trattamento di rifiuti agricoli e forestali.

L'ipotesi progettuale è stata sviluppata immaginando uno sviluppo della tecnologia presso l'Orto botanico dell'Università di Bologna situato in via Irnerio 42, con l'obiettivo di verificare l'efficacia e l'applicabilità del ThermoCompost al caso studio.

Se da un lato questo progetto ha l'obiettivo di produrre energia da fonti rinnovabili, dall'altro ha quello di ridurre la produzione di scarti di legno, rifiuto presente in

abbondanti quantità presso l'Orto botanico, così da chiudere il cerchio dei rifiuti in un'ottica di economia circolare e approccio sostenibile alla gestione ordinaria del luogo. L'analisi progettuale si è basata su alcuni scenari ipotetici, nei quali, con l'obiettivo di produrre energia biotermica, si è considerato un cumulo di cippato di legno di dimensioni standard all'interno del quale inserire una spirale di tubo in polietilene. L'acqua proveniente dall'acquedotto che scorre all'interno della spirale di tubo, sottrae parte del calore che naturalmente viene prodotto dal cumulo per effetto della biodegradazione aerobica del cippato di legno, uscendone così ad una temperatura più elevata.

L'obiettivo del presente elaborato è stimare, sotto diverse ipotesi, se la temperatura raggiunta dall'acqua circolante nella spirale di tubo può essere sufficiente per essere impiegata in un sistema di riscaldamento di un fabbricato.

## CAPITOLO I

### 1 GESTIONE DEI RIFIUTI IN ITALIA

La gestione dei rifiuti rappresenta l'insieme delle politiche, procedure o metodologie volte a gestire l'intero processo dei rifiuti, dalla loro produzione fino alla loro destinazione finale, considerando quindi la fase di raccolta, trasporto, trattamento (riciclaggio e/o smaltimento) con l'obiettivo di riutilizzare tutti i materiali di scarto, solitamente prodotti dall'attività umana, in modo da ridurre i loro effetti sulla salute umana e sull'impatto ambientale. (Wikipedia)

È particolarmente rilevante il comportamento che oggi la società moderna deve avere nell'affrontare la crescente produzione di rifiuti prodotti.

Pertanto negli ultimi vent'anni si è data particolare importanza alla ricerca di metodi di riciclo e riutilizzo al fine di ridurre la quantità di materiale avviato a processi di incenerimento ed in discarica.

Uno dei metodi a cui ci si è rivolti con particolare interesse è il trattamento che un impianto di ThermoCompost effettua nel generare energia biotermica a partire dal riciclaggio e compostaggio dei sottoprodotti agricoli e forestali.



Figura 1 : Impianto ThermoCompost

Gli sfalci e le potature rappresentano un aspetto molto rilevante del sistema soprattutto da quando si è razionalizzata, incentivata e consolidata la raccolta differenziata del rifiuto quale misura gestionale del processo.

Tale impianto è un sistema ecologico ed economico per il recupero di calore dal compostaggio di rami e ramaglie di frutteti, giardini, parchi, boschi il quale, che produce un ottimo ammendante.

Le potature finemente triturate ed opportunamente bagnate, vengono accatastate in cumuli che possono andare da 1 metro a 10 metri di diametro.

I cumuli possono avere una forma naturale data dal materiale (angolo circa 70 gradi) e assumere quindi una forma tronco conica. Possono essere contenute anche con strutture (tipo ferro o, balle di paglia, on cemento o altri materiali...) che permettono di salire in altezza con la stessa larghezza di partenza della base.

Come un compost domestico i batteri (aerobici), naturalmente presenti, o aggiunti quando necessario sia con letame o preparati innalzano la temperatura nel cumulo nel giro di poco tempo anche oltre i 55 °C per 12-18 mesi.

La durata e l'energia estratta è molto variabile dall' essenza, dal periodo di taglio, dal diametro, quindi dal contenuto delle sostanze, dal tempo trascorso dal taglio alla cippatura, dal tempo trascorso dalla cippatura alla posa in opera, dalla quantità di calore estratta, dalla velocità di circolazione, dai tipi di microrganismi, dalla differenza di temperatura dell'acqua estratta, dalla quantità di ossigeno presente, dalle condizioni climatiche esterne, ed interne.

Un semplice impianto idraulico realizzato con tubi in polietilene per l'irrigazione ed una piccola pompa elettrica consentono di estrarre acqua calda per uso sanitario e/o per riscaldamento, di un edificio, serra, piscina.

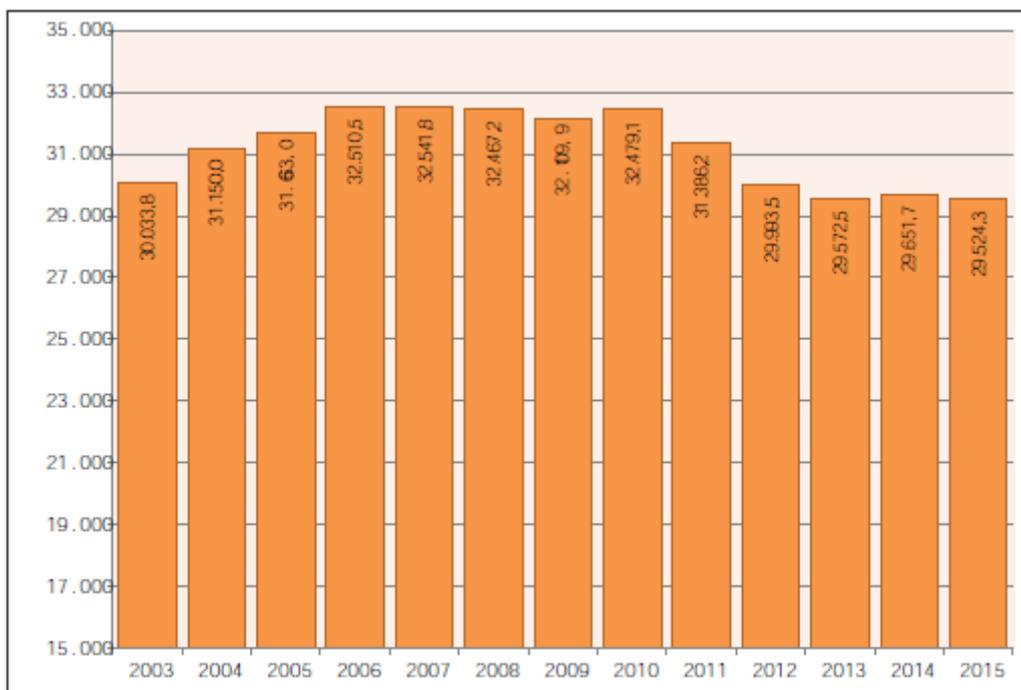
A monte del processo di un impianto di ThermoCompost è pertanto indispensabile la fase di gestione dei rifiuti indirizzata al recupero, al riutilizzo ed al riciclaggio cioè una strategia che prevede una gestione integrata definendo le azioni da intraprendere secondo un preciso ordine di priorità, come indicato dalla direttiva 2008/98/CE:

- prevenzione (nel senso della riduzione della produzione e pericolosità dei rifiuti);
- riutilizzo;
- riciclaggio;
- recupero di materia;
- recupero di energia;
- smaltimento finale in discarica.

La raccolta differenziata del rifiuto urbano ha quindi incentivato il miglioramento del trattamento che tale impianto effettua per il recupero di calore dal compostaggio di rami e ramaglie di frutteti, giardini, parchi, boschi il quale, con la produzione di un ottimo ammendante utilizzato nel settore agricolo.

Il 20 dicembre 2016 è stato presentato a Roma il rapporto Rifiuti urbani Ispra 2016, il quale fornisce i dati, aggiornati all'anno 2015, sulla produzione, raccolta differenziata, gestione dei rifiuti urbani e dei rifiuti di imballaggio, compreso l'import/export, a livello nazionale, regionale e provinciale.

Attualmente la produzione nazionale di rifiuti è in calo rispetto agli anni precedenti, infatti basta vedere che nel 2015 sono state prodotte 29,5 milioni di tonnellate di rifiuti urbani, facendo rilevare una riduzione di -0,4% rispetto al 2014 e un calo complessivo, rispetto al 2011, di quasi 1,9 milioni di tonnellate (-5,9%). A ridurre maggiormente la produzione di rifiuti è il Centro Italia (-0,8%), che in valori assoluti produce 6,6 milioni di tonnellate di rifiuti, mentre il Nord si mantiene sulla media nazionale (-0,4%) con un quantitativo prodotto pari a 13,7 milioni di tonnellate, mentre al Sud la produzione si riduce dello 0,2% (9,2 milioni di tonnellate).

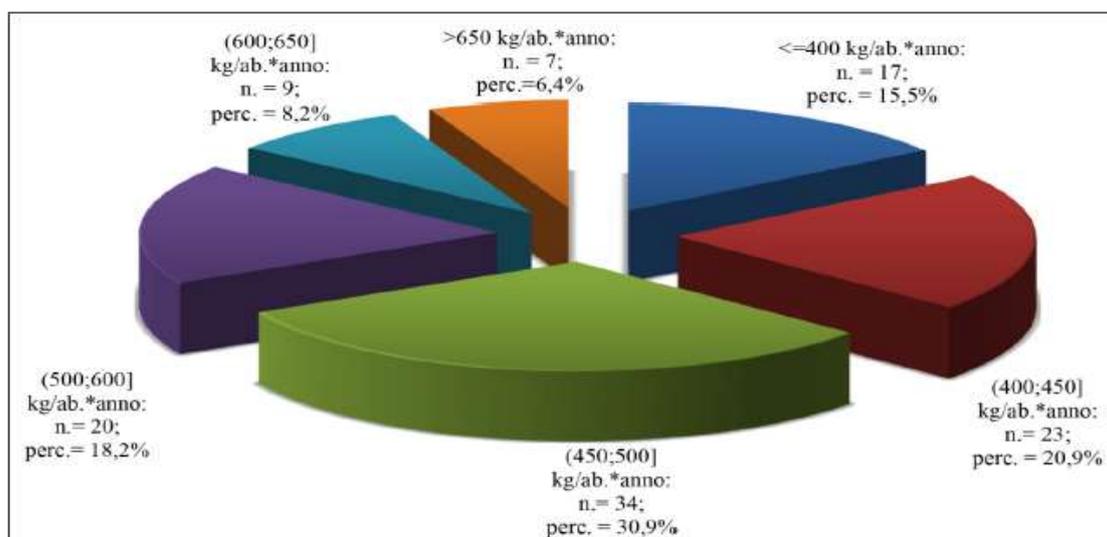


Fonte: ISPRA

Figura 2: Andamento della produzione dei rifiuti urbani dal 2003 al 2015

Inoltre dai dati ottenuti sono 11 le regioni italiane ad avere una riduzione della produzione dei rifiuti urbani nel 2015. In particolare, una diminuzione di poco inferiore al 3% si osserva per l'Umbria e cali superiori o pari al 2% per la Liguria, il Veneto e il Lazio. Il Trentino Alto Adige, la Basilicata e la Calabria mostrano riduzioni rispettivamente pari all'1,4%, 1,1% e 1%, mentre per Lombardia, Marche, Puglia e Sardegna la contrazione risulta inferiore all'1%.

In base ai valori pro capite, che tengono conto della produzione di rifiuti in rapporto alla popolazione residente. l'Emilia Romagna è la regione che produce più rifiuti per abitante (642 kg pro capite nel 2015), Scendendo nel dettaglio delle province, è Reggio Emilia quella con il più alto valore di produzione pro capite (750 kg per abitante per anno), seguita da Rimini (726 kg). Seguono Ravenna e Forlì-Cesena, tutte con produzione pro capite superiore a 650 kg per abitante per anno.



Note: lettura delle etichette: 1) classe di produzione pro capite RU (kg/abitante\*anno); 2) numero di province appartenenti alla classe; 3) percentuale di province appartenenti alla classe sul totale delle province.  
Fonte: ISPRA

Figura 3: Quantitativi di rifiuti prodotti pro capite in Italia nel 2015

Nell'anno 2015, la raccolta differenziata ha raggiunto il 47,5% della produzione nazionale, facendo notare una crescita di + 2,3 punti percentuali rispetto al 2014 (45,2%), superando i 14 milioni di tonnellate.

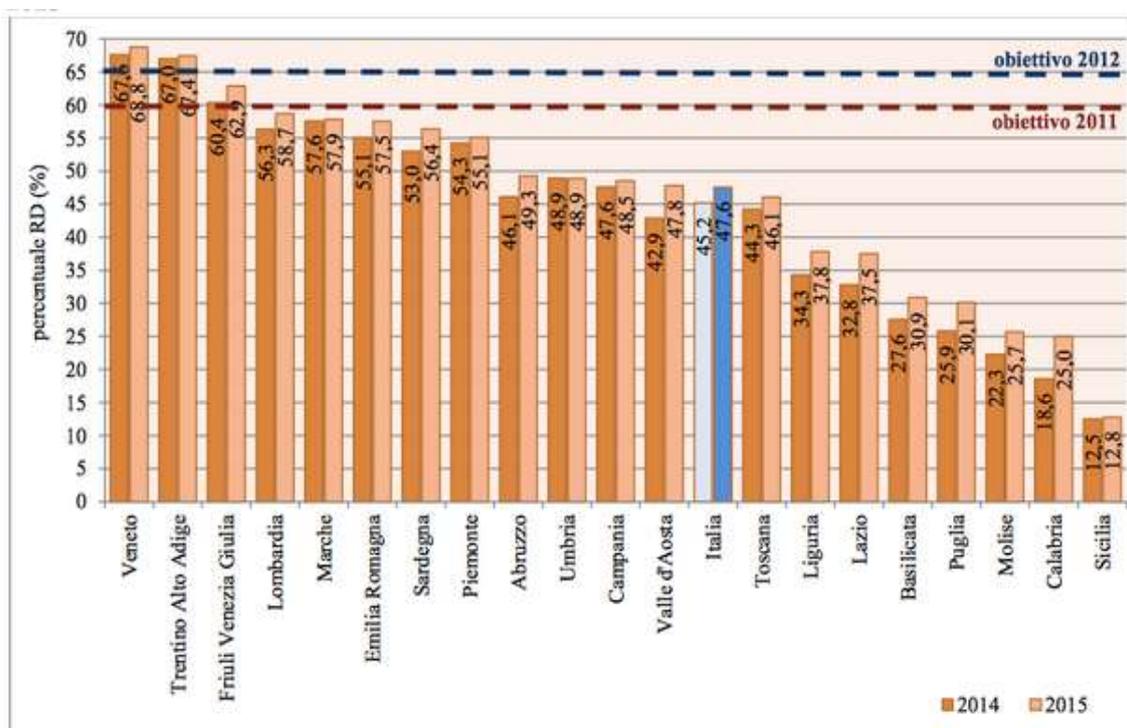
Si è ovviamente potuto effettuare una suddivisione tra nord centro e sud d'Italia:

- Al nord il quantitativo si attesta al di sopra di 8 milioni di tonnellate;

- nel Centro a quasi 2,9 milioni di tonnellate;
- nel Sud a 3,1 milioni di tonnellate.

La regione Veneto rappresenta quella più virtuosa per la raccolta differenziata nel 2015 con valori pari al 68,8%, seguita dal Trentino Alto Adige con il 67,4%. Entrambe le regioni sono già dal 2014 al di sopra dell'obiettivo del 65% fissato dalla normativa per il 2012.

Seguono, tra le regioni più virtuose, il Friuli Venezia Giulia (62,9%), seguita da Lombardia, Marche, Emilia Romagna, Sardegna e Piemonte, queste ultime cinque con tassi superiori al 55%.



Fonte: ISPRA

Figura 4: Andamento della produzione dei rifiuti urbani a confronto tra il 2014 e il 2015

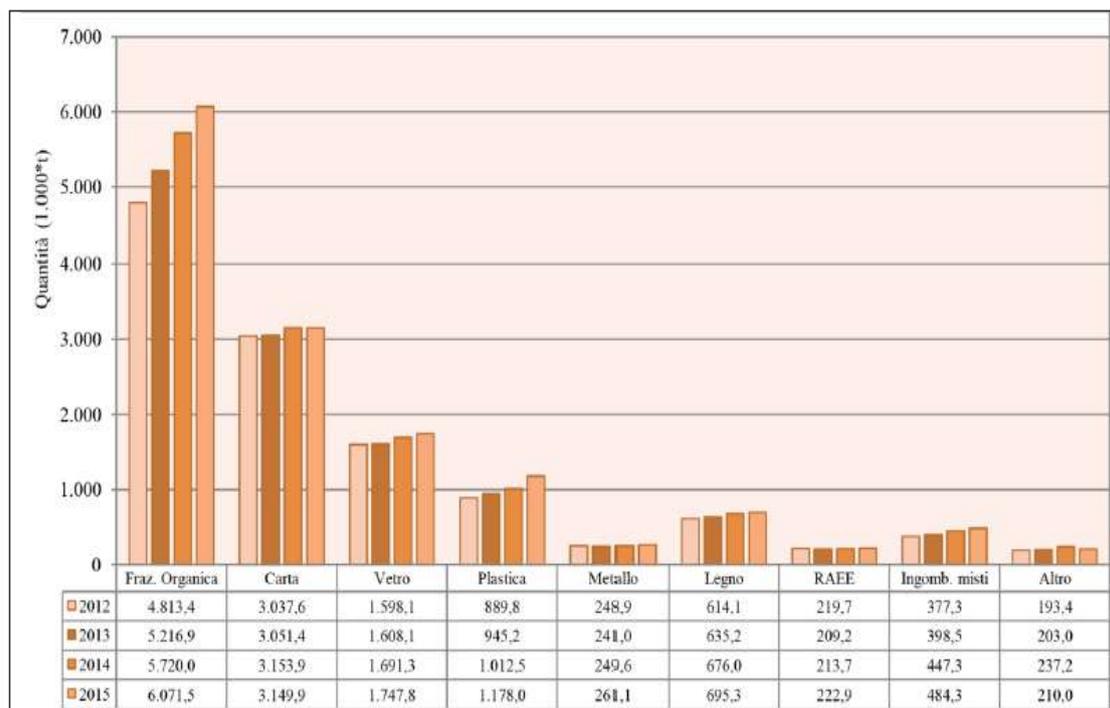
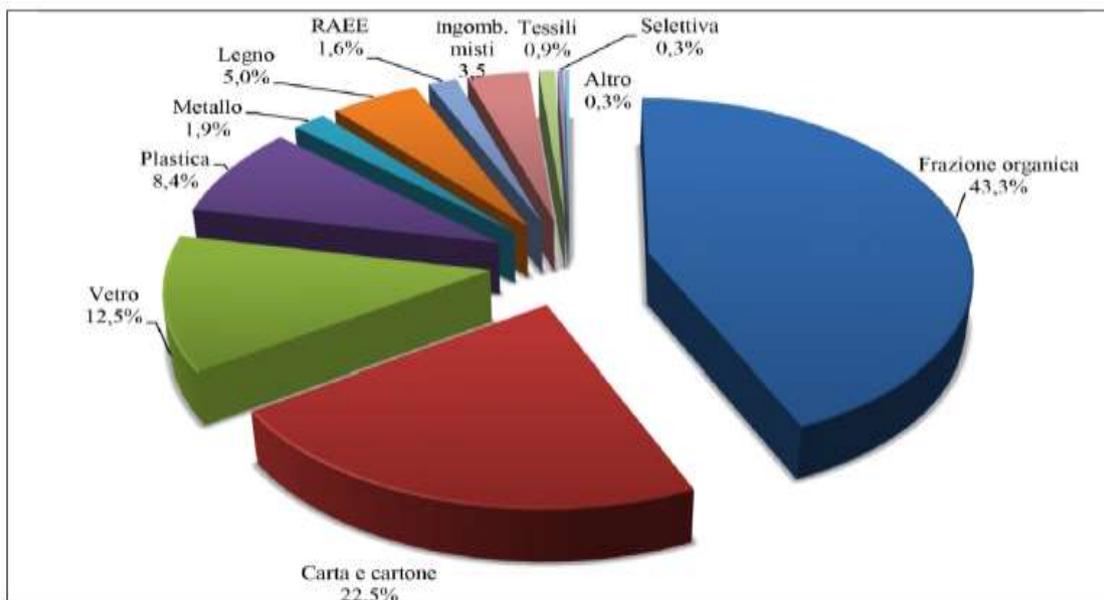


Figura 5 : Ripartizione delle diverse tipologie di rifiuti urbani a confronto negli anni 2012, 2013, 2014, 2015 Fonte: ISPRA

In questo ultimo diagramma viene definita la ripartizione percentuale di tutti i rifiuti che subiscono la raccolta differenziata. si nota che la frazione cellulosica e quella organica rappresentano, in peso, nel loro insieme, il 66% del totale della raccolta differenziata. Inoltre, queste due frazioni, unitamente ai rifiuti tessili e al legno, costituiscono i cosiddetti rifiuti urbani biodegradabili, il cui quantitativo complessivamente raccolto in modo differenziato è pari, nel 2015, a 10 milioni di tonnellate (71,6% del totale raccolto).



Fonte: ISPRA

Figura 6 : Ripartizione delle diverse tipologie di rifiuti urbani 2015

Inoltre possiamo affermare che gli “sfalci e potature da giardini, parchi e aree cimiteriali” raccolti in Italia attraverso le raccolte differenziate nell’anno 2014 sono stati pari a 1.700.000 ton. (dati ISPRA) di questi quasi 1/3 raccolti nella sola Lombardia.

Gli attuali costi di riciclo degli “sfalci e potature” con recupero di materia presso gli impianti di compostaggio a livello nazionale sono mediamente inferiori a € 30/ton. (in Lombardia i costi sono mediamente inferiori a € 25/ton.) 1.700.000 ton. di “sfalci e potature” provenienti dalle raccolte differenziate la frazione legnosa, la sola utilmente impiegabile dalle centrali a biomassa, rappresentano circa il 20 % del totale corrispondente a circa 340.000 ton. a cui vanno naturalmente sottratti i materiali inquinanti normalmente contenuti quali plastiche, vetri, carte, metalli, terra e inerti con percentuali che variano dal 2 al 5 %.

## **1.1 Gestione dei rifiuti in Emilia Romagna**

La gran parte della gestione dei rifiuti in Emilia Romagna è gestita dal gruppo HERA. La raccolta differenziata in Regione, nel 2015 tocca quota 60,7%, cioè 1 milione e 796.765 tonnellate, pari a 403 chilogrammi per abitante, con un conseguente incremento del 2,5% rispetto all'anno precedente.

Le province che hanno fatto registrare questi incrementi percentuali sono: Parma, Bologna e Modena le quali confermano l'aumento complessivo regionale in continua crescita negli ultimi quindici anni, in cui la raccolta differenziata è più che raddoppiata, passando dal 25,3% del 2001 all'attuale 60,7%.

Tutto questo ha comportato una notevole diminuzione della produzione di rifiuti urbani indifferenziati, che nel 2015 è stata del 5% in meno rispetto agli anni precedenti, in linea con il continuo e costante decremento registrato a partire dal 2002: allora la produzione annua era di 1.901.063 tonnellate, nel 2015 è scesa a 1.165.311 tonnellate.

Si è pertanto registrato una riduzione dello smaltimento in discarica, dove i rifiuti conferiti scendono dall'11,1% del 2014 all'8,5% del 2015. Un dato che colloca già l'Emilia-Romagna al di sotto della soglia prevista a livello comunitario per il 2030 (pari al 10%) nel nuovo pacchetto di misure sull'economia circolare.

In leggero aumento (+1,1%) la produzione complessiva dei rifiuti urbani, pari a 2 milioni e 962.076 tonnellate, che a livello pro capite passa da 657 a 665 chilogrammi per abitante.

Sono alcuni dei principali dati sulla produzione e gestione dei rifiuti urbani nel 2015 in Emilia-Romagna, elaborati da Regione e Arpa (Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna).

I dati relativi al 2015 confermano che l'Emilia-Romagna è più vicina gli obiettivi fissati dall'Unione europea al 65% entro il 2030.

Un risultato che colloca la Regione ai primi posti in Italia e che si consoliderà ulteriormente nei prossimi anni, grazie alle azioni previste dalla legge regionale sull'economia circolare e dal piano regionale dei rifiuti.

Per quanto riguarda la raccolta differenziata, questa, oltrepassa abbondantemente il 50% in tutte le province (si va dal 54,4% al 73,3%).

Parma tocca il 73,3%, facendo registrare l'incremento maggiore, +4,1%; a Reggio Emilia arriva al 67,6% (+2,4%), a Modena al 63,3% (+3,2%), a Piacenza al 62,5%

(+3,6%), a Ravenna al 57,1% (+0,3%), a Ferrara al 56,1% (+2,4%), a Forlì-Cesena al 54,7% (+2,2%). Consistente l'aumento percentuale anche a Bologna, +3,4%, che raggiunge così il 54,4%. A Rimini sfiora il 60 (59,8%), anche se, rispetto all'anno scorso, subisce un calo dell'1,8%, dovuto alla scelta delle attività produttive di mandare direttamente a recupero una parte dei rifiuti altrimenti destinati alla raccolta differenziata.

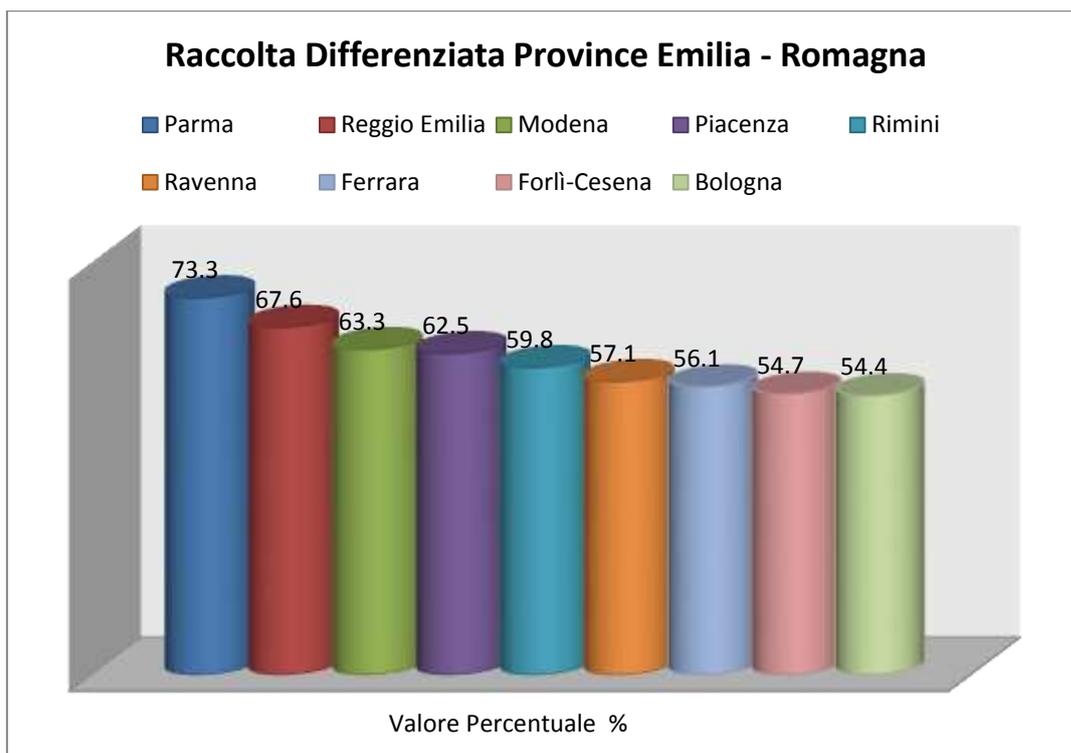


Figura 7 : Raccolta differenziata province Emilia-Romagna

Per la composizione merceologica media della raccolta differenziata, a livello regionale, la percentuale maggiore (26%) è relativa al verde cioè sottoprodotti agricoli e forestali scarti di giardino e grosse potature.

Seguono carta e cartone (21%), umido (14%) vetro (9%) legno (8%), plastica (7%) , ingombranti e inerti domestici (5%) metalli ferrosi e non (2%), altre raccolte differenziate (2%) e, infine, i rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche, i cosiddetti Raee (1%).

## Composizione Merceologica Media della Raccolta Differenziata

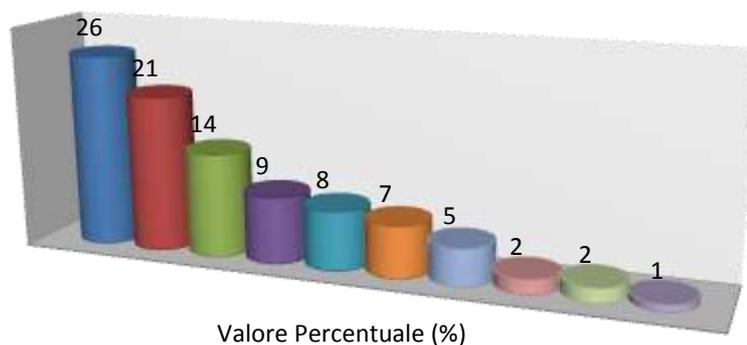


Figura 8 : Composizione merceologica media della raccolta differenziata

Il sistema di raccolta tradizionalmente più diffuso a livello regionale continua ad essere quello con contenitori stradali, anche se in diminuzione rispetto al 2013, che intercetta il 33% della raccolta differenziata. Seguono i centri di raccolta (30%), gli altri sistemi (servizi di raccolta effettuati su chiamata, tramite ecomobile, attraverso specifici contenitori in esercizi commerciali, scuole, uffici) con il 19% e la raccolta porta a porta (18%). Nell'ultimo triennio (2013-2015) le differenze sono minime, con un leggero aumento dei servizi dedicati (+2%) e un calo dei contenitori stradali (-4%); aumenta (+1%) anche il porta a porta.

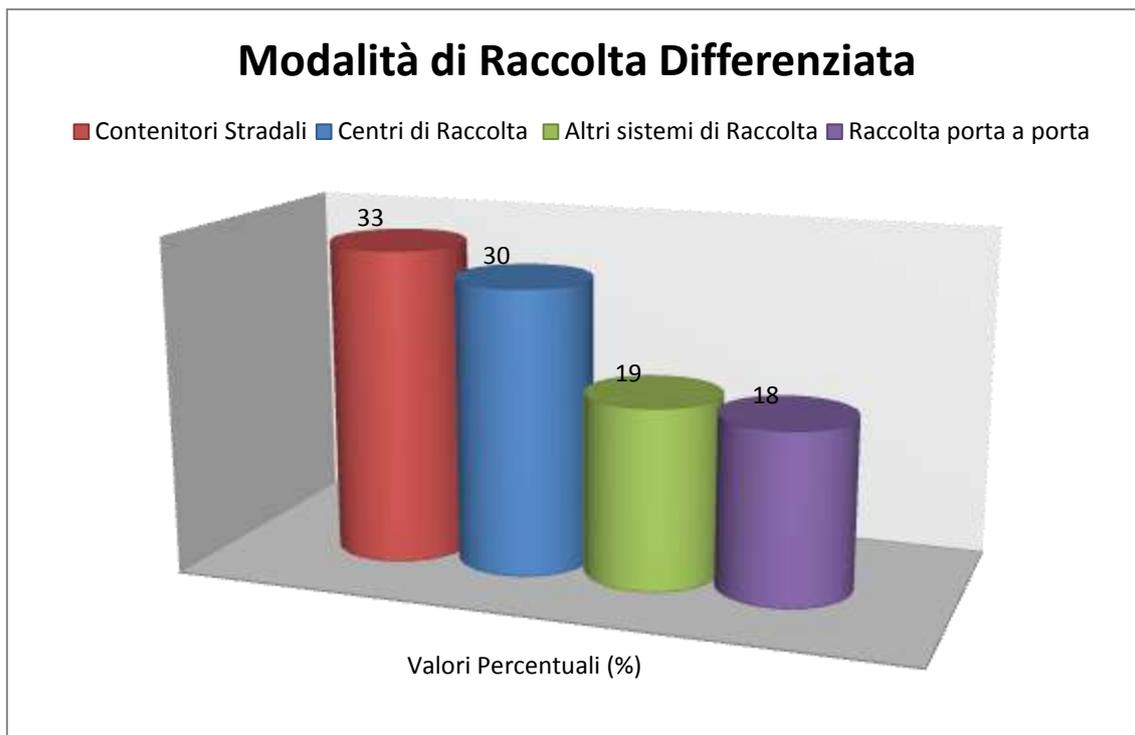


Figura 9 : Modalità di raccolta differenziata

I rifiuti indifferenziati vengono così selezionati e trattati, 18.518 tonnellate di frazioni merceologiche omogenee sono state avviate a recupero di materia (principalmente metalli); 135.474 tonnellate sono state avviate a bio-stabilizzazione per la produzione della frazione organica stabilizzata; 253.081 tonnellate sono state conferite in discarica; 758.236 tonnellate sono state avviate agli impianti di incenerimento.

Per i rifiuti speciali, i dati disponibili si riferiscono al 2014, dove la produzione regionale, costituita per il 90% da rifiuti non pericolosi, si attesta a circa 8,6 milioni di tonnellate, escludendo i rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi, con un aumento del 6% rispetto al 2013. Un dato coerente con l'incremento della produzione rilevato su scala nazionale, +5%. Le modalità di gestione di questa tipologia di rifiuti è sicuramente migliorata nel corso degli anni, infatti, basta pensare che gran parte dei rifiuti speciali non pericolosi viene recuperato come materia o energia, solo il 15% avviato in discarica e il 3% negli impianti di incenerimento.

## CAPITOLO II

### IL COMPOSTAGGIO

#### 2 ASPETTI GENERALI

Si può affermare che il concetto di sostenibilità in ambito ambientale, è considerato un aspetto fondamentale ed essenziale per garantire la stabilità di un ecosistema, cioè la capacità di mantenere nel futuro i processi ecologici che avvengono all'interno di un ecosistema e la sua biodiversità. Il concetto di sostenibilità visto in ambito ambientale è stato il primo ad essere definito e analizzato, dove poi successivamente il concetto di sostenibilità fu allargato ad altri ambiti, in particolare alla sfera economica e sociale, fornendo una definizione più ampia, secondo la quale le tre condizioni di sostenibilità ambientale, economica e sociale partecipano insieme alla definizione di benessere e progresso.

Il compostaggio è un processo di bioconversione aerobica (ossigeno-dipendente), effettuata ad opera dei microrganismi a partire da residui vegetali sia verdi sia legnosi o anche animali.

Tale operazione è un processo controllato di degradazione della sostanza organica attraverso il quale è possibile ottenere un prodotto finito stabile dal punto di vista fisico, chimico e microbiologico, di colore brunastro e con le caratteristiche di un ammendante: il compost.

Il compostaggio, in condizioni ottimali, si sviluppa mediante in tre fasi principali:

- **Fase mesofila o di latenza:** in questa prima fase, la matrice iniziale viene invasa dai microrganismi, il cui metabolismo causa il progressivo riscaldamento del substrato. In questa fase, la decomposizione del substrato è dovuta all'intervento di specie microbiche mesofile che utilizzano rapidamente i composti solubili e facilmente degradabili.
- **Fase termofila o di stabilizzazione:** in questa fase la temperatura raggiunge valori molto elevati, anche superiori ai 70 °C e si ha l'igienizzazione del substrato: le specie patogene per l'uomo e per le piante e i semi delle infestanti vengono disattivati.
- **Fase di maturazione:** in questa fase con l'abbassamento e la riduzione progressiva della disponibilità di composti ricchi di energia, la temperatura

della matrice in trasformazione diminuisce, consentendo alle popolazioni microbiche mesofile, responsabili dei processi di umificazione, di colonizzare il substrato.

Dopo questa fase si ottiene un prodotto costituito da sostanza organica stabilizzata, formata da composti ad alto peso molecolare. La Legge 748 del 19/10/1984 e successive integrazioni classifica il compost come un ammendante vegetale composto, cioè “un prodotto fermentato derivato da una miscela di sostanze di origine vegetale che può contenere rifiuti di origine animale e/o sostanze minerali e/o sostanze inerti e nel quale il contenuto in torba è inferiore al 30% delle sostanze vegetali totali”. Tale prodotto deve avere un contenuto minimo di sostanza organica del 20% e del 30% sul secco.

## **2.1 Parametri di controllo del processo**

Per il corretto funzionamento del processo bisogna cercare di creare ed ottenere le migliori condizioni ambientali richieste dall'attività microbica, e pertanto, è di fondamentale importanza la gestione dei parametri di controllo del processo:

- ossigenazione della biomassa
- natura del substrato e concentrazione degli elementi nutritivi
- umidità
- PH
- pezzatura della matrice
- temperatura

La richiesta di ossigeno è molto elevata nella fase termofila per poi decrescere lentamente durante l'avanzamento del processo: esiste infatti una relazione tra consumo di ossigeno e attività microbica, consumo che risulta massimo a temperature tra i 30-55 °C (Haug, 1980). La scarsa ossigenazione della massa può portare allo sviluppo di una microflora artefice di fermentazioni indesiderate, di accumulo di composti ridotti (acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani) e rilascio di odori sgradevoli.

Per assicurare una buona ossigenazione la biomassa deve essere aerata tramite rivoltamento o insufflazione di aria.

Fondamentali nel metabolismo microbico sono il carbonio e l'azoto, il primo usato come fonte energetica, il secondo per la sintesi proteica.

Con un rapporto tra questi elementi troppo alto ( $C/N > 35$ ) il boom microbico non ci sarà fino a che il rapporto non si sarà abbassato con l'ossidazione del carbonio in eccesso. Con un rapporto C/N troppo basso, invece, sono favorite perdite di azoto sotto forma ammoniacale. In condizioni ottimali  $20 < C/N < 30$ .

Durante il processo si verifica una perdita di azoto, imputabile alla volatilizzazione sia di ammoniaca che di azoto elementare.

La perdita di azoto, dovuta ai processi anaerobici di denitrificazione, può essere limitata attraverso l'aerazione della massa.

Nelle ultime fasi del processo si ha comunque un parziale recupero dell'azoto perduto grazie all'attività dei batteri azoto-fissatori liberi.

Un giusto equilibrio tra la fase acquosa e la fase gassosa della biomassa consente, nel primo caso, di veicolare il trasporto degli elementi nutritivi e il movimento dei microrganismi e, nel secondo caso, di garantire una sufficiente ossigenazione.

Nelle condizioni più favorevoli il valore ottimale di umidità deve essere intorno al 45-65% e mai al di sotto del 40%, poiché la matrice da avviare a compostaggio deve avere un contenuto maggiore del 45% visto che l'umidità diminuisce con l'avanzare del processo.

Il valore del pH varia notevolmente durante il processo a seconda della fase in cui ci troviamo, i valori ottimali sono  $6,5 < pH < 8$ . Durante la prima fase, in cui si ha il rilascio di acidi organici, il pH tende a scendere, per poi subito risalire durante la fase termofila in cui la proteolisi e il rilascio di ammoniaca ne provocano un innalzamento. Nelle fasi finali tende di nuovo ad abbassare ritornando a valori intorno alla neutralità. Come accennato in precedenza, la fase termofila del processo di compostaggio è molto importante dal punto di vista sanitario e fitosanitario: le elevate temperature di questa fase garantiscono la disattivazione dei patogeni umani, della maggior parte dei microrganismi fitopatogeni e dei semi delle erbe infestanti.

Tuttavia temperature elevate per lunghi periodi di tempo possono portare ad una riduzione degli effettori del processo di compostaggio, problema controllabile comunque attraverso una buona aerazione.

Durante la fase mesofila, invece, la sostanza organica si avvia verso la stabilizzazione, che consiste soprattutto in un arricchimento in composti umici.

Tali composti, una volta applicati al terreno, andranno lentamente incontro a processi di mineralizzazione rilasciando nutrienti utili alla crescita delle piante.

Le popolazioni microbiche che partecipano al processo, variano a seconda delle condizioni del microambiente della massa in fermentazione: la fase termofila ospita solo una cerchia ristretta di batteri, in grado di sopravvivere ad alte temperature: i batteri termofili.

I funghi invece, responsabili della degradazione di complessi carboniosi come la cellulosa e la lignina, intervengono nella fase mesofila, quando la temperatura scende al di sotto di una certa soglia.

La fase finale, in cui si ha l'umificazione della sostanza degradata nelle fasi precedenti, avviene ad opera degli attinomiceti. Dal punto di vista macroscopico, oltre ad una notevole riduzione della biomassa iniziale da  $\frac{1}{2}$  ad  $\frac{1}{4}$ , si può apprezzare una omogeneizzazione del materiale originale, che assume aspetto sempre più simile ad un terriccio. Infatti, dopo un periodo di circa 120 gg, si riscontra nella biomassa un decremento del contenuto in carbonio totale, dell'azoto totale e del rapporto C/N.

Si verifica inoltre una diminuzione del contenuto in lipidi e una completa detossificazione del materiale di partenza già dal trentesimo giorno, coincidente con una diminuzione degli acidi organici volatili e dei composti fenolici.

## 2.2 Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.) ed il marchio di qualità

Il Consorzio Italiano Compostatori (C.I.C.) è una struttura senza fini di lucro che riunisce imprese e enti pubblici e privati produttori di compost e altre organizzazioni che sono comunque interessate alle attività di compostaggio (produttori di macchine e attrezzature, di fertilizzanti, enti di ricerca, ecc.).

Il Consorzio è attivo in Italia dal 2003 con l'obiettivo di promuovere la politica di riduzione dei rifiuti, l'attuazione della raccolta differenziata per la separazione, lavorazione, riciclaggio e valorizzazione delle biomasse ed in genere delle frazioni organiche compostabili. Tale consorzio permette la verifica volontaria della qualità del compost, al quale è stato istituito il Marchio di Qualità.



Figura 10 : Marchio di qualità del Consorzio Italiano Compostatori

Il C.I.C. , rappresenta tutti coloro che si occupano della produzione di ammendanti compostati di qualità mediante compostaggio e ad oggi rappresenta circa il 75% dell'intero comparto, inoltre è l'unica associazione di filiera presente sul territorio nazionale. L'obiettivo del marchio è quello di rendere identificabili i prodotti che rispettano i requisiti di qualità fissati, così da fornire valore aggiunto, trasparenza, affidabilità e qualità del compost agli utilizzatori finali.

Le ragioni per le quali il Marchio C.I.C. è stato creato prendono spunto dalla frequente difficoltà in cui si sono trovati gli utilizzatori nel reperire informazioni sulla qualità delle matrici utilizzate per la produzione di compost e quindi sulla qualità dell'ammendante che ne deriva, con la conseguente mancanza di garanzie dal punto di vista dell'origine e dei controlli.

Il Marchio C.I.C. prevede una serie di verifiche sulla qualità che ne determina la sicurezza d'uso sia dal punto di vista ambientale che agronomico.

Il rilascio del marchio prevede diverse fasi:

- Fase preliminare : cioè la raccolta di dati ed informazioni relative all'impianto di compostaggio;
- Fase di Rilascio : sopralluoghi e i campionamenti che, se rispettano i requisiti individuati dal Regolamento, possono consentire all'azienda produttrice di utilizzare il logo del "COMPOST C.I.C.";
- Fase di Mantenimento: la quale ha lo scopo di garantire con una frequenza di campionamenti variabile in funzione dei quantitativi prodotti, di monitorare costantemente la qualità delle partite immesse sul mercato.

Il Marchio di qualità è stato istituito come strumento utile sia ai produttori di ammendante compostato qualificati al fine di monitorare e controllare la produzione e la qualità del prodotto, sia ai consumatori potenziali per avere garanzie sulla qualità dell'ammendante.

### 2.3 Compostaggio di comunità

Il compostaggio di comunità è quel processo che si colloca al centro tra il grande impianto industriale e quello domestico (compostiera).

Rappresenta il processo di compostaggio effettuato collettivamente da più utenze domestiche e non domestiche della frazione organica dei rifiuti urbani prodotti dalle medesime, per l'utilizzo del compost prodotto da parte delle utenze conferenti.

Si tratta di piccole macchine utilizzate per accelerare il naturale processo di compostaggio a cui vengono sottoposti i rifiuti organici.

Queste macchine vengono utilizzate per servire da poche decine ad alcune centinaia di utenze domestiche (famiglie) o la necessità di una mensa, di un albergo o altro produttore di scarti organici. Il compostaggio di comunità è spesso anche chiamato compostaggio elettromeccanico, qualora si utilizzino macchine elettromeccaniche (come in Italia), o compostaggio comunitario, compostaggio collettivo, compostaggio locale, compostaggio urbano, compostaggio in sito o compostaggio di prossimità.

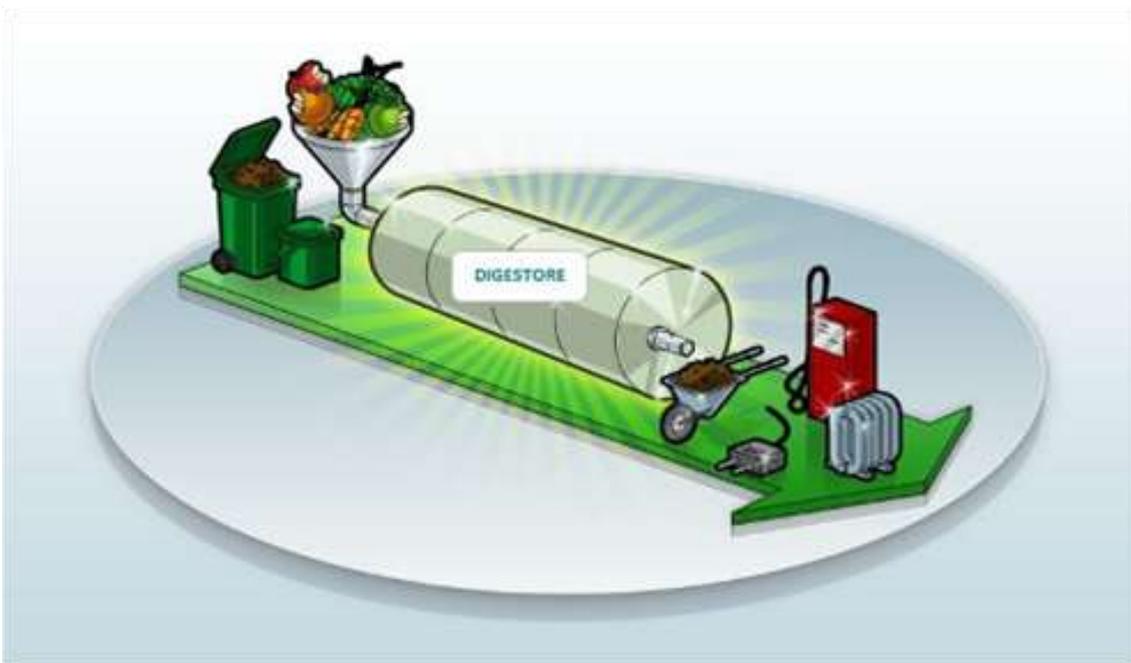


Figura 11 : Schema illustrativo di un impianto di compostaggio di comunità

Tutti i criteri e le procedure autorizzative semplificate per il compostaggio di comunità sono rappresentate dal decreto del 29 dicembre 2016, n. 266, pubblicato nella G.U. n. 45 del 23 Febbraio 2017. All'interno di tale decreto vengono definiti i limiti quantitativi pari a 130 ton/anno. Le disposizioni previste dal regolamento si applicano alle strutture

che gestiscono quantità non superiori alle 130 tonnellate annue, mentre per i quantitativi superiori si applica la normativa prevista dagli articoli 208 e 214 del decreto legislativo 152 del 2006. Può richiedere l'avvio al compostaggio di comunità un organismo collettivo come definito dall'Art. 2 (Definizioni): *«due o piu' utenze domestiche o non domestiche costituite in condominio, associazione, consorzio o societa', ovvero in altre forme associative di diritto privato che intendono intraprendere un'attività di compostaggio»*.

Inoltre tutte le attrezzature utilizzate per il compostaggio di comunità devono essere ubicate all'interno di un' area situata in un luogo che ricade nella disponibilità giuridica dell'organismo collettivo. Ovviamente possono portare i propri rifiuti solo le utenze "registrate", che si devono, comunque, trovare nelle immediate vicinanze o al massimo entro un chilometro di distanza, dalla struttura.

I rifiuti che possono essere conferiti sono:

- rifiuti biodegradabili di cucine e mense;
- rifiuti biodegradabili prodotti da giardini e parchi;
- segatura, trucioli, residui di taglio, legno, piallacci
- scarti di corteccia e legno dalla lavorazione della carta qualora non addizionati ;
- materiale filtrante derivante dalla manutenzione periodica del biofiltro a servizio dell'apparecchiatura;
- imballaggi in carta e cartone;
- imballaggi in legno;
- carta e cartone.

Il Compost che viene prodotto deve rispettare determinati e precisi requisiti (indicati nell'allegato 6), come ad esempio:

- umidità compresa tra il 30 e il 50%;
- temperatura massima non superiore ai 2 gradi rispetto a quella ambientale;
- pH compreso tra 6 e 8,5;
- assenza di frazioni pericolose

Pertanto il compost che viene prodotto è impiegato secondo il piano di utilizzo, e cioè in terreni a disposizione delle utenze conferenti anche se non localizzati in prossimità dell'ubicazione dell'apparecchiatura, nonché per la concimazione di piante e fiori delle medesime utenze. Per quanto riguarda il compost che non rispetta le caratteristiche

riportate nell'allegato 6 e non è impiegato secondo quanto stabilito nel piano di utilizzo, è da considerarsi rifiuto urbano.

Tutte le operazioni sono inserite nella modalità operativa indicate nell'allegato 4, parte A, le quali riguardano in particolare :

- La percentuale in peso dello strutturante (non inferiore al 5% del totale dell'immesso);
- L'obbligo di vagliatura (in caso di assenza di triturazione) e destinazione del sopravaglio;
- L'utilizzo del biofiltro per trattare le emissioni in atmosfera (o, in alternativa, collegamento dell'aria estratta alla rete fognaria);
- L'ubicazione – su area pavimentata e coperta — del cumulo per la fase di maturazione.

Nella parte B del medesimo allegato si ha :

- La temperatura della massa in processo per le apparecchiature di tipo elettromeccanico;
- I tempi di produzione del compost;
- I tempi di residenza;
- I tempi dei rivoltamenti.

Le normative a livello regionale sono rappresentate dalla Delibera Giunta ER 196-2006 che regola l'utilizzo del compost, definito come biostabilizzato e definisce tutte le caratteristiche del controllo qualità :

- caratteristiche chimico fisiche delle matrici organiche,
- temperatura di processo
- apporto di ossigeno
- durata della stabilizzazione pari ad almeno 21 giorni (periodo intercorso fra l'ingresso delle matrici organiche nel processo e l'uscita della biomassa stabilizzata al termine della fase di stabilizzazione).

A livello comunale per la gestione dei rifiuti urbani e assimilati, la disciplina della raccolta differenziata dei rifiuti e di altri servizi di igiene ambientale ad esempio per il Comune di Bologna (OdG n. 193, PG n. 41245/2014), che all'art. 11 - RIFIUTI ORGANICI, definisce che il compostaggio domestico e/o di comunità deve essere attuato:

- a) con l'utilizzo di adeguata metodologia (cumulo, concimaia, casse di compostaggio, compostiere distribuite dal Gestore, ecc.);
- b) con processo controllato senza l'utilizzo di apparecchiature e con cumuli non superiori a 2 metri;
- c) in relazione alle caratteristiche quali-quantitative del materiale da trattare (rifiuto organico e rifiuto vegetale);
- d) nel rispetto delle distanze tra le abitazioni, a non meno di 10 metri di distanza dalle altrui abitazioni, allo scopo di non arrecare disturbi ai vicini e non dare luogo ad emissioni di cattivi odori.

## CAPITOLO III

### ASPETTI NORMATIVI

#### **3 LE PRINCIPALI NORMATIVE VIGENTI IN MATERIA DI RIFIUTI, AMMENDANTI E PRODOTTI COMPOSTABILI**

La normativa di riferimento è ampiamente diversificata, infatti il processo di compostaggio da un lato si lega alla gestione del rifiuto in quanto tale ed ai processi di recupero di materiali riutilizzabili e riciclabili mentre dall'altro lato, per quanto riguarda il prodotto finito, cioè il compost propriamente detto, rientra nella normativa legata ai fertilizzanti.

E' proprio questo duplice aspetto che fa del processo di compostaggio una risorsa non trascurabile nella strategia di gestione dei rifiuti.

La principale normativa vigente in materia può essere riassunta nei seguenti atti normativi:

- Direttiva 2008/98/CE del Consiglio del 19 novembre 2008 concernente i rifiuti.
- D.lgs 3 aprile 2006 n. 152 – Parte quarta. Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati
- D.lgs. 3 dicembre 2010 n. 205 – Disposizioni di attuazione della Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive.
- D.lgs. 29 aprile 2010 n. 75 – Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti a norma dell'art. 13 della Legge 7 luglio 2009, n. 88.
- Norma UNI EN 13432 del 1 marzo 2002 – Requisiti per imballaggi recuperabili mediante compostaggio e biodegradazione.

### **3.1 Normativa a livello Europeo**

La **Direttiva 2008/98/CE** del Consiglio del 19 novembre 2008 concernente i rifiuti stabilisce il quadro normativo per il trattamento dei rifiuti nella Comunità Europea.

Tale direttiva definisce alcuni concetti basilari, come le nozioni di rifiuto, recupero e smaltimento, e stabilisce gli obblighi essenziali per la gestione dei rifiuti, in particolare un obbligo di autorizzazione e di registrazione per un ente o un'impresa che effettua le operazioni di gestione dei rifiuti e un obbligo per gli Stati membri di elaborare piani per la gestione dei rifiuti. Stabilisce inoltre principi fondamentali come l'obbligo di trattare i rifiuti in modo da evitare impatti negativi sull'ambiente e sulla salute umana, un invito a rispettare la gerarchia dei rifiuti e, secondo il principio «chi inquina paga», il requisito che i costi dello smaltimento dei rifiuti siano sostenuti dal detentore dei rifiuti, dai detentori precedenti o dai produttori del prodotto causa dei rifiuti.

Lo scenario nazionale mostra in modo più preciso l'andamento della gestione del rifiuto della frazione avviata a processi di recupero in particolare attraverso compostaggio.

### **3.2 Normativa a livello Nazionale**

**Il D.lgs 3 aprile 2006 n. 152 – Parte quarta**, definisce le norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati, tale è suddivisa in diversi articoli.

L'art. 177 definisce il campo di applicazione e stabilisce la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati anche in attuazione delle direttive comunitarie sui rifiuti, sui rifiuti pericolosi, sugli oli usati, sulle batterie esauste, sui rifiuti di imballaggio, sui policlorobifenili (PCB), sulle discariche, sugli inceneritori, sui rifiuti elettrici ed elettronici, sui rifiuti portuali, sui veicoli fuori uso, sui rifiuti sanitari e sui rifiuti contenenti amianto. Sono fatte salve disposizioni specifiche, particolari o complementari, conformi ai principi di cui alla parte quarta del presente decreto, adottate in attuazione di direttive comunitarie che disciplinano la gestione di determinate categorie di rifiuti.

Le regioni e le province autonome adeguano i rispettivi ordinamenti alle disposizioni di tutela dell'ambiente e dell'ecosistema contenute nella parte quarta del presente decreto entro un anno dalla data di entrata in vigore dello stesso.

L'art. 178 definisce le finalità del decreto legislativo e stabilisce che la gestione dei rifiuti costituisce attività di pubblico interesse ed è disciplinata dalla parte quarta del presente decreto al fine di assicurare un'elevata protezione dell'ambiente e controlli efficaci, tenendo conto della specificità dei rifiuti pericolosi.

I rifiuti devono essere recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente e, in particolare:

- a) senza determinare rischi per l'acqua, l'aria, il suolo, nonché per la fauna e la flora;
- b) senza causare inconvenienti da rumori o odori;
- c) senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse, tutelati in base alla normativa vigente.

La gestione dei rifiuti è effettuata conformemente ai principi di precauzione, di prevenzione, di proporzionalità, di responsabilizzazione e di cooperazione di tutti i soggetti coinvolti nella produzione, nella distribuzione, nell'utilizzo e nel consumo di beni da cui originano i rifiuti, nel rispetto dei principi dell'ordinamento nazionale e comunitario, con particolare riferimento al principio comunitario "chi inquina paga". A tal fine la gestione dei rifiuti è effettuata secondo criteri di efficacia, efficienza, economicità e trasparenza.

Per conseguire le finalità e gli obiettivi della parte quarta del presente decreto, lo Stato, le regioni, le province autonome e gli enti locali esercitano i poteri e le funzioni di rispettiva competenza in materia di gestione dei rifiuti in conformità alle disposizioni di cui alla parte quarta del decreto in oggetto, adottando ogni opportuna azione ed avvalendosi, ove opportuno, mediante accordi, contratti di programma o protocolli d'intesa anche sperimentali, di soggetti pubblici o privati.

I soggetti di cui al comma 4 costituiscono, altresì, un sistema compiuto e sinergico che armonizza, in un contesto unitario, relativamente agli obiettivi da perseguire, la redazione delle norme tecniche, i sistemi di accreditamento e i sistemi di certificazione attinenti direttamente o indirettamente le materie ambientali, con particolare riferimento alla gestione dei rifiuti, secondo i criteri e con le modalità di cui all'articolo 195, comma 2, lettera a), e nel rispetto delle procedure di informazione nel settore delle norme e delle regolazioni tecniche e delle regole relative ai servizi della società

dell'informazione, previste dalle direttive comunitarie e relative norme di attuazione, con particolare riferimento alla legge 21 giugno 1986, n. 317.

L'art. 179 definisce i criteri di priorità nella gestione dei rifiuti e stabilisce che le pubbliche amministrazioni perseguono, nell'esercizio delle rispettive competenze, iniziative dirette a favorire prioritariamente la prevenzione e la riduzione della produzione e della nocività dei rifiuti, in particolare mediante:

- a) lo sviluppo di tecnologie pulite, che permettano un uso più razionale e un maggiore risparmio di risorse naturali;
- b) la messa a punto tecnica e l'immissione sul mercato di prodotti concepiti in modo da non contribuire o da contribuire il meno possibile, per la loro fabbricazione, il loro uso o il loro smaltimento, ad incrementare la quantità o la nocività dei rifiuti e i rischi di inquinamento;
- c) lo sviluppo di tecniche appropriate per l'eliminazione di sostanze pericolose contenute nei rifiuti al fine di favorirne il recupero.

L'art. 180 definisce la prevenzione della produzione di rifiuti stabilendo in particolare :

- a) la promozione di strumenti economici, eco-bilanci, sistemi di certificazione ambientale, analisi del ciclo di vita dei prodotti, azioni di informazione e di sensibilizzazione dei consumatori, l'uso di sistemi di qualità, nonché lo sviluppo del sistema di marchio ecologico ai fini della corretta valutazione dell'impatto di uno specifico prodotto sull'ambiente durante l'intero ciclo di vita del prodotto medesimo;
- b) la previsione di clausole di gare d'appalto che valorizzino le capacità e le competenze tecniche in materia di prevenzione della produzione di rifiuti;
- c) la promozione di accordi e contratti di programma o protocolli d'intesa anche sperimentali finalizzati, con effetti migliorativi, alla prevenzione ed alla riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti;
- d) l'attuazione del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59, e degli altri decreti di recepimento della direttiva 96/61/CE in materia di prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento.

L'art. 181 definisce il recupero dei rifiuti all'interno del quale ai fini di una corretta gestione dei rifiuti le pubbliche amministrazioni favoriscono la riduzione dello smaltimento finale dei rifiuti stessi, attraverso:

- a) il riutilizzo, il reimpiego ed il riciclaggio;

- b) le altre forme di recupero per ottenere materia prima secondaria dai rifiuti;
- c) l'adozione di misure economiche e la previsione di condizioni di appalto che prescrivano l'impiego dei materiali recuperati dai rifiuti al fine di favorire il mercato di tali materiali;
- d) l'utilizzazione dei rifiuti come mezzo per produrre energia.

L'art. 182 definisce lo smaltimento dei rifiuti , il quale deve essere effettuato in condizioni di sicurezza e costituisce la fase residuale della gestione dei rifiuti, previa verifica, da parte della competente autorità, della impossibilità tecnica ed economica di esperire le operazioni di recupero.

A tal fine, la predetta verifica concerne la disponibilità di tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell'ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte in ambito nazionale, purchè vi si possa accedere a condizioni ragionevoli.

I rifiuti da avviare allo smaltimento finale devono essere il più possibile ridotti sia in massa che in volume, potenziando la prevenzione e le attività di riutilizzo, di riciclaggio e di recupero.

Lo smaltimento dei rifiuti deve essere attuato con il ricorso ad una rete integrata ed adeguata di impianti di smaltimento, attraverso le migliori tecniche disponibili e tenuto conto del rapporto tra i costi e i benefici complessivi, al fine di:

- a) realizzare l'autosufficienza nello smaltimento dei rifiuti urbani non pericolosi in ambiti territoriali ottimali;
- b) permettere lo smaltimento dei rifiuti in uno degli impianti appropriati più vicini ai luoghi di produzione o raccolta, al fine di ridurre i movimenti dei rifiuti stessi, tenendo conto del contesto geografico o della necessità di impianti specializzati per determinati tipi di rifiuti;
- c) utilizzare i metodi e le tecnologie più idonei a garantire un alto grado di protezione dell'ambiente e della salute pubblica.

Il **decreto legislativo del 3 dicembre 2010 n. 205**, rappresenta le disposizioni di attuazione della Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive.

L'art. 1 rappresenta le modifiche effettuate all'articolo 177 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e stabilisce il campo di applicazione e la finalità :

- La parte quarta del presente decreto disciplina la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati, anche in attuazione delle direttive comunitarie, in particolare della direttiva 2008/98/CE, prevedendo misure volte a proteggere l'ambiente e la salute umana, prevenendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell'uso delle risorse e migliorandone l'efficacia.
- La gestione dei rifiuti costituisce attività di pubblico interesse.
- Sono fatte salve disposizioni specifiche, particolari o complementari, conformi ai principi di cui alla parte quarta del presente decreto adottate in attuazione di direttive comunitarie che disciplinano la gestione di determinate categorie di rifiuti.
- I rifiuti sono gestiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente e, in particolare : senza determinare rischi per l'acqua, l'aria, il suolo, per la fauna e la flora; senza causare inconvenienti da rumori o odori; senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse, tutelati in base alla normativa vigente.
- Per conseguire le finalità e gli obiettivi di cui ai commi da 1 a 4, lo Stato, le regioni, le province autonome e gli enti locali esercitano i poteri e le funzioni di rispettiva competenza in materia di gestione dei rifiuti in conformità alle disposizioni di cui alla parte quarta del presente decreto, adottando ogni opportuna azione ed avvalendosi, ove opportuno, mediante accordi, contratti di programma o protocolli d'intesa anche sperimentali, di soggetti pubblici o privati.
- I soggetti di cui al comma 5 costituiscono, altresì, un sistema compiuto e sinergico che armonizza, in un contesto unitario, relativamente agli obiettivi da perseguire, la redazione delle norme tecniche, i sistemi di accreditamento e i sistemi di certificazione attinenti direttamente o indirettamente le materie ambientali, con particolare riferimento alla gestione dei rifiuti, secondo i criteri e con le modalità di cui all'articolo 195, comma 2, lettera a), e nel rispetto delle procedure di informazione nel settore delle norme e delle regolazioni tecniche e delle regole relative ai servizi della società dell'informazione, previste dalle direttive

comunitarie e relative norme di attuazione, con particolare riferimento alla legge 21 giugno 1986, n. 317.

- Le regioni e le province autonome adeguano i rispettivi ordinamenti alle disposizioni di tutela dell'ambiente e dell'ecosistema contenute nella parte quarta del presente decreto entro un anno dalla data di entrata in vigore della presente disposizione.
- Ai fini dell'attuazione dei principi e degli obiettivi stabiliti dalle disposizioni di cui alla parte quarta del presente decreto, il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare può avvalersi del supporto tecnico dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA), senza nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica.

L'art. 2 rappresenta le modifiche all'articolo 178 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, il definisce che la gestione dei rifiuti è effettuata conformemente ai principi di precauzione, di prevenzione, di sostenibilità, di proporzionalità, di responsabilizzazione e di cooperazione di tutti i soggetti coinvolti nella produzione, nella distribuzione, nell'utilizzo e nel consumo di beni da cui originano i rifiuti, nonché del principio chi inquina paga. A tale fine la gestione dei rifiuti è effettuata secondo criteri di efficacia, efficienza, economicità, trasparenza, fattibilità tecnica ed economica, nonché nel rispetto delle norme vigenti in materia di partecipazione e di accesso alle informazioni ambientali.

L'art. 3 definisce le responsabilità estese al produttore in modo da riuscire a rafforzare la prevenzione e facilitare l'utilizzo efficiente delle risorse durante l'intero ciclo di vita, comprese le fasi di riutilizzo, riciclaggio e recupero dei rifiuti, evitando di compromettere la libera circolazione delle merci sul mercato, possono essere adottati, le modalità e i criteri di introduzione della responsabilità estesa del produttore del prodotto, inteso come qualsiasi persona fisica o giuridica che professionalmente sviluppi, fabbrica, trasforma, tratti, venda o importi prodotti, nell'organizzazione del sistema di gestione dei rifiuti, e nell'accettazione dei prodotti restituiti e dei rifiuti che restano dopo il loro utilizzo.

L'art. 4 rappresenta le modifiche all'articolo 179 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152 e stabilisce i criteri di priorità nella gestione dei rifiuti :

- a) prevenzione;
- b) preparazione per il riutilizzo;
- c) riciclaggio;
- d) recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- e) smaltimento.

L'art. 5 rappresenta le modifiche all'articolo 180 del decreto legislativo 3 aprile 2006, per quanto riguarda la prevenzione sulla produzione di rifiuti.

L'art 6 definisce le caratteristiche per il riutilizzo di prodotti e la preparazione per il riutilizzo di rifiuti, nella quale ad esempio le pubbliche amministrazioni promuovono, nell'esercizio delle rispettive competenze, iniziative dirette a favorire il riutilizzo dei prodotti e la preparazione per il riutilizzo dei rifiuti.

L'art. 7 rappresenta le modifiche all'articolo 181 del decreto legislativo 3 aprile 2006, sul riciclaggio e sul recupero dei rifiuti, in modo che al fine di promuovere il riciclaggio di alta qualità e di soddisfare i necessari criteri qualitativi per i diversi settori del riciclaggio, le regioni stabiliscono i criteri con i quali i comuni provvedono a realizzare la raccolta differenziata in conformità delle normative di legge.

Le autorità competenti realizzano entro il 2015 la raccolta differenziata almeno per la carta, metalli, plastica e vetro, e ove possibile, per il legno, stabilendo misure necessarie per conseguire i seguenti obiettivi:

- entro il 2020, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio di rifiuti quali: carta, metalli, plastica e vetro provenienti dai nuclei domestici, sarà aumentata complessivamente almeno al 50% in termini di peso;
- entro il 2020 la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e altri tipi di recupero di materiale, di rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi, sarà aumentata almeno al 70 % in termini di peso.

L'art. 8 rappresenta le modifiche all'articolo 182 del decreto legislativo 3 aprile 2006, per quanto riguarda lo smaltimento dei rifiuti come ad esempio è vietato lo smaltimento di rifiuti urbani non pericolosi in regioni diverse da quelle dove gli stessi sono prodotti, fatti salvi eventuali accordi regionali o internazionali, qualora gli aspetti territoriali e

l'opportunità tecnico economica di raggiungere livelli ottimali di utenza servita lo richiedano.

Il **decreto legislativo del 29 aprile 2010 n. 75** –Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti a norma dell'art. 13 della Legge 7 luglio 2009, n. 88, definisce per «fertilizzanti» i prodotti e i materiali di seguito definiti:

a) «concimi»: prodotti la cui funzione principale è fornire elementi nutritivi alle piante; i concimi si suddividono in «concimi CE» e «concimi nazionali» i cui tipi e caratteristiche sono riportati rispettivamente nel regolamento (CE) n. 2003/2003 e nell'allegato 1;

b) «elementi chimici della fertilità», sono considerati:

- «elementi nutritivi principali»: esclusivamente gli elementi azoto, fosforo e potassio;
- «elementi nutritivi secondari»: gli elementi calcio, magnesio, sodio e zolfo;

c) «microelementi»: gli elementi boro, cobalto, rame, ferro, manganese, molibdeno e zinco, essenziali alle piante in quantità esigue in confronto a quelle degli elementi nutritivi principali e secondari;

d) «carbonio organico di origine biologica»: il carbonio organico costituente di prodotti di origine vegetale o animale o derivante direttamente da detti prodotti con esclusione di qualsiasi forma di carbonio organico di sintesi;

e) «azoto organico»: l'azoto contenuto in composti chimici organici di origine vegetale oppure animale o derivante direttamente da detti prodotti;

f) «concime minerale»: un concime nel quale gli elementi nutritivi dichiarati sono presenti sotto forma di composti minerali ottenuti mediante estrazione o processi fisici e chimici industriali, o processi fisici o chimici industriali; per convenzione possono essere classificati come concimi minerali la calciocianammide e l'urea e i suoi prodotti di condensazione e associazione, nonché i concimi contenenti microelementi chelati o complessati;

L'art. 3 definisce i limiti di tolleranza i quali devono tenere conto delle variazioni in termini di fabbricazione, campionamento e analisi; pertanto, le tolleranze includono le incertezze di misura associate ai metodi analitici utilizzati ai fini del controllo.

L'art. 4 stabilisce che i fertilizzanti possono essere immessi in commercio se sono adempite le prescrizioni riportate nel regolamento (CE) n. 2003/2003 e nel decreto in oggetto.

L'art. 5 stabilisce la clausola di salvaguardia dove la circolazione e l'immissione sul mercato dei fertilizzanti conformi alle disposizioni del presente decreto possono essere vietate o subordinate a condizioni particolari con provvedimento del Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali, di concerto con i Ministri interessati, se i predetti fertilizzanti hanno caratteristiche che possono rappresentare un rischio per la sicurezza o la salute delle persone, degli animali o delle piante ovvero un rischio per l'ambiente o per la pubblica sicurezza.

L'art.6 definisce che i fertilizzanti immessi in commercio sono sottoposti al controllo per l'accertamento della conformità alle disposizioni del regolamento.

### **3.3 Normativa tecnica**

La **Norma UNI EN 13432** del 1 marzo 2002 definisce i requisiti e le caratteristiche che un materiale deve possedere per essere definito compostabile.

Secondo la EN 13432:2002, le caratteristiche che un materiale compostabile deve avere sono le seguenti:

- Biodegradabilità, determinata misurando la effettiva conversione metabolica del materiale compostabile in anidride carbonica. Questa proprietà è valutata quantitativamente con un metodo di prova standard: EN 14046 (anche pubblicato come ISO 14855: biodegradabilità in condizioni di compostaggio controllato). Il livello di accettazione è pari al 90% da raggiungere in meno di 6 mesi.
- Disintegrabilità, ovvero la frammentazione e perdita di visibilità nel compost finale (assenza di contaminazione visiva). Misurata con una prova di compostaggio su scala pilota (EN 14045). Il materiale in esame viene biodegradato insieme con rifiuti organici per 3 mesi. Alla termine di tale processo il compost viene vagliato con un setaccio di 2 mm di luce.

I residui del materiale di prova con dimensioni maggiori di 2 mm sono considerati non disintegrati. Questa frazione deve essere inferiore al 10% della massa iniziale.

- Assenza di effetti negativi sul processo di compostaggio: ciò è un requisito verificato con una prova di compostaggio su scala pilota.
- Bassi livelli di metalli pesanti : cioè valori al di sotto dei valori massimi predefiniti e assenza di effetti negativi sulla qualità del compost (esempio: riduzione del valore agronomico e presenza di effetti ecotossicologici sulla crescita delle piante). Una prova di crescita di piante (test OECD 208 modificato) è eseguita su campioni di compost dove è avvenuta la degradazione del materiale di prova. Non si deve evidenziare nessuna differenza con un compost di controllo.
- Altri parametri chimico-fisici che non devono differire dal compost di controllo dopo la biodegradazione sono: pH; contenuto salino; solidi volatili; N; P; Mg; K.

Ovviamente ciascuno di questi punti è necessario per la definizione della compostabilità ma da solo non è sufficiente. Ad esempio, un materiale biodegradabile non è necessariamente compostabile perché deve anche disintegrarsi durante un ciclo di compostaggio. D'altra parte, un materiale che si frantuma durante un ciclo di compostaggio in pezzi microscopici che non sono però poi totalmente biodegradabili non è compostabile.

La norma UNI EN 13432 : 2002 è una norma armonizzata, ossia è stata riportata nella Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee e pertanto deve essere recepita in Europa a livello nazionale e fornisce presunzione di conformità con la Direttiva Europea 94/62 EC , sugli imballaggi e rifiuti da imballaggio.

## **CAPITOLO IV**

### **THERMOCOMPOST**

#### **4 ASPETTI GENERALI**

Il ThermoCompost è un impianto che genera energia biotermica a partire dal riciclaggio e compostaggio dei sottoprodotti agricoli e forestali.

Tale impianto è un sistema ecologico ed economico per il recupero di calore dal compostaggio di rami e ramaglie di frutteti, giardini, parchi, boschi il quale, che produce un ottimo ammendante.

Le potature finemente triturate ed opportunamente bagnate, vengono accatastate in cumuli che possono andare da 1 metro a 10 metri di diametro.

I cumuli possono avere una forma naturale data dal materiale (angolo circa 70 gradi) e assumere quindi una forma tronco conica. Possono essere contenute anche con strutture (tipo ferro o, balle di paglia, on cemento o altri materiali...) che permettono di salire in altezza con la stessa larghezza di partenza della base.

Come un compost domestico i batteri (aerobici), naturalmente presenti, o aggiunti quando necessario sia con letame o preparati innalzano la temperatura nel cumulo nel giro di pochi giorni anche oltre i 55 °C per 12-18 mesi.

La durata e l'energia estratta è molto variabile dall' essenza, dal periodo di taglio, dal diametro, quindi dal contenuto delle sostanze, dal tempo trascorso dal taglio alla cippatura, dal tempo trascorso dalla cippatura alla posa in opera, dalla quantità di calore estratta, dalla velocità di circolazione, dai tipi di microrganismi, dalla differenza di temperatura dell'acqua estratta, dalla quantità di ossigeno presente, dalle condizioni climatiche esterne, ed interne.

Un semplice impianto idraulico realizzato con tubi in polietilene per l'irrigazione ed una piccola pompa elettrica consentono di estrarre acqua calda per uso sanitario e/o per riscaldamento, di un edificio, serra, piscina etc.



Figura 12 : Impianto ThermoCompost

I tubi, che a seconda della grandezza dell' impianto possono essere possono essere di misure che vanno dal 16mm al 40 mm vengono posati in molti modi: ad esempio a spirale concentrica o a spirali sovrapposte. La pompa può essere comandata con un timer, o con dei termostati con sonde di temperatura. In impianti più complessi si possono usare anche delle elettrovalvole.

L'accumulo generalmente viene fatto esternamente, come in un impianto solare, ma abbiamo anche la possibilità di inserirlo internamente con i vari vantaggi di trasmissione del calore e isolamento dall' esterno. Generalmente il fluido che scambia è acqua, ma potrebbe anche essere glicole o altri fluidi .

Ogni giorno, enormi quantità di ramaglie e potature vengono prelevate da boschi, frutteti, parchi e giardini per fare pulizia ed evitare il propagarsi di incendi.

Nella maggior parte dei casi questi sottoprodotti agricoli e forestali sono trattati come rifiuti: dopo esser stati accumulati e tritati vengono bruciati, generando inquinamento, effetto serra e polveri sottili.

Se riciclati e riutilizzati, però, sono materiali che assumono un valore molto importante sia per l'autoproduzione di energia biotermica che per la coltivazione.

Le tecniche che lo consentono hanno origini antichissime, e negli anni sono state riprese e perfezionate in tutto il mondo.

In Italia, l'Associazione T.E.R.R.E. è promotrice di incontri, workshop e corsi di formazione volti a diffondere un sistema ecologico ed economico che, proprio a partire dal riutilizzo di queste ramaglie, genera risorse bioenergetiche per lungo tempo a un costo veramente contenuto.

L'impianto è auto-costruibile e consente la produzione sia di energia biotermica, sia di humus per il nutrimento del terreno.

Questa tecnica, le cui prime testimonianze si trovano in Spagna, prevedeva la tritatura di ramaglie fresche in materiale molto fino, che poi veniva immerso in grandi vasche e trattato secondo fasi che seguivano i cicli lunari, e successivamente un trattamento anaerobico e poi uno aerobico.

Una volta che se ne acquisiscono le tecniche di realizzazione, questo impianto può essere autoprodotta a costi molto contenuti.

È rivolto a chiunque abbia un minimo di spazio esterno, è necessaria una superficie minima di 4 metri quadri.

Quindi ad aziende agricole, centri sportivi, abitazioni, agriturismi, scuole, case, serre, piscine.

L'obiettivo principale del ThermoCompost è il recupero dei sottoprodotti della filiera agricola e forestale sia per migliorare il suolo, rafforzare le piante e avere dei prodotti più sani, sia per l'autoproduzione di energia biotermica e il riscaldamento di acqua sanitaria, case e serre. Se l'impianto viene realizzato bene, la sua durata è piuttosto lunga, va dai 12 ai 18 mesi.

I sottoprodotti agricoli sono ancora considerati rifiuti: una volta raccolti vengono molto spesso bruciati generando inquinamento, contribuendo ai cambiamenti climatici e alle emissioni di polveri sottili.

Tuttavia, se questi materiali si riciclano e la combustione viene sostituita dal compostaggio, il valore finale che se ne trae è nettamente superiore a quello del prodotto iniziale

Inoltre è economico, modulabile, autocostruibile, le competenze tecniche che richiede non sono enormi. Secondo l'Associazione T.E.R.R.E. i costi di investimento si recuperano in un anno e mezzo.

Una volta realizzato e collegato agli impianti sanitari, se vogliamo potenziarlo non dobbiamo cambiarlo, ma implementarlo.

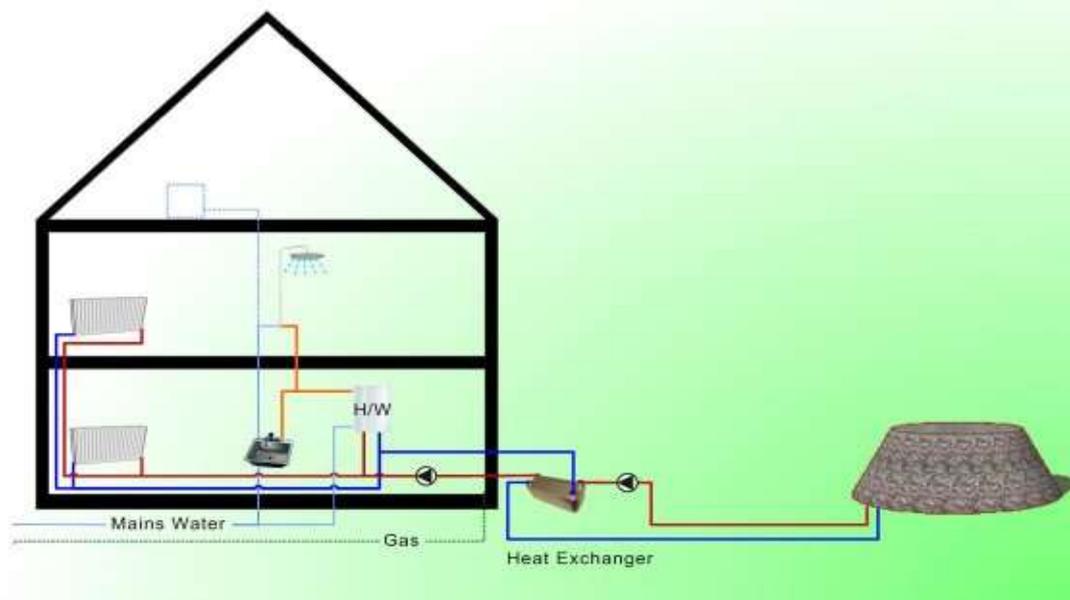


Figura 13: Schema di impianto

La procedura prevede una prima fase di recupero delle ramaglie, che può avvenire in modi diversi: un'azienda agricola utilizza i propri scarti; i privati, invece, si rivolgono agli enti della propria zona atti alla gestione delle potature.

Sono scarti raccolti quotidianamente in grandi quantità e poi cippati per ridurre i volumi, quindi possono essere acquistati già pronti per il compostaggio.

Una volta recuperate e cippate le ramaglie, si inizia a metterle in opera: il materiale viene posato in grandi contenitori di forma cilindrica realizzati con dei grigliati metallici, in seguito il cippato viene disposto su vari strati a spirali formati con dei tubi di irrigazione molto economici, e umidificato gradualmente per tre giorni per creare le condizioni microbiologiche fondamentali per la produzione del calore.

Tecnicamente il ThermoCompost è rappresentato come un volume cilindrico formato da una spirale di tubi collegati in modo che l'acqua possa scaldare al meglio.

L'acqua così riscaldata viene immagazzinata in un serbatoio chiamato puffer e una centralina, quando rileva che la temperatura è ai giusti livelli, fa partire la pompa.

In questo modo si accumula energia, la si stocca nel serbatoio e la si preleva sotto forma di riscaldamento.

Il cippato così trasformato non produce rifiuti, ma un composto ricco di humus e sostanze nutritive utilizzabile in agricoltura come ammendante, contribuendo così all'evoluzione dei suoli verso una certa complessità e una stabilità ecologica come i suoli naturali.

In definitiva il ThermoCompost ha come obiettivo la riduzione dell'inquinamento per il minor consumo di energia fossile per produrre acqua calda e un minor inquinamento dovuto alla combustione delle ramaglie.

In Italia, la principale associazione che promuove, forma, progetta e realizza impianti di ThermoCompost è Terre la quale ne ha realizzato e costruite una decina, all'estero, dove troviamo contesti più consolidati: in Germania c'è la già citata Native Power, che con grande esperienza ha realizzato centinaia di impianti; in Olanda c'è la Biomeiler, in America e Canada troviamo gli impianti di Compost Power.

Un'altra applicazione del ThermoCompost è il ThermoCompost autosufficienza, questo schema propone un modello integrato il quale mostra le energie di flusso di entrata ed uscita dal ThermoCompost, il percorso con cui i vari "rifiuti organici" prodotti vengono riciclati e riutilizzati in azienda per produrre energia e fertilizzanti per essere così energeticamente autosufficienti.

L'impianto prevede una cella di digestione anaerobica al centro e intorno il cumulo di cippato dell'impianto di ThermoCompost, dove gli scarti organici dell'allevamento, del cibo, delle potature compostate, dell'orto, dei campi etc. , vengono digeriti anaerobicamente per produrre BIOGAS (composto da metano e anidride carbonica), il quale può essere utilizzato per: cucinare, produrre acqua calda, co-generare corrente elettrica e acqua calda simultaneamente, alimentare veicoli a motore.

Il sottoprodotto chiamato digestato può essere utilizzato:

- come fertilizzante liquido o solido
- in un processo di carbonizzazione microbica, per trasformare gli scarti del verde in humus simile alla terra preta (orizzonti doppiamente fertili che si trovano nei suoli amazzonici)
- per alimentare e accelerare la crescita in: colture acquatiche tipo: alghe, lenticchia d'acqua, colture in serra o allevamento di pesci.

Gli scarti delle potature vengono compostati aerobicamente in un cumulo, il che permette di:

- produrre acqua calda per uso sanitario (cucina, docce etc.)
- produrre acqua calda per uso riscaldamento domestico e stalle
- produrre aria calda dall'acqua calda per l' essiccazione di foraggi
- tenere costantemente al caldo il digestore nel mezzo inserito ed aumentarne così l'efficienza
- produrre acqua calda per il riscaldamento dei bancali florovivaistici e delle coltivazioni in serra
- recuperare gas prodotti dalla decomposizione ( CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, vapore e calore) e convogliarli nella serra per aumentarne la produzione

Altra applicazione è il ThermoCompost biogas, questo modello consente, oltre al recupero dell'acqua calda, la produzione di biogas. Il biogas si forma all'interno di un digestore anaerobico inserito nel cumulo. All'interno del digestore, cioè un serbatoio chiuso, e quindi in assenza di ossigeno, i batteri specifici trasformano i rifiuti domestici, letame e scarti del giardino in biometano.

Il gas, opportunamente accumulato, può essere utilizzato:

- tale quale per alimentare i fuochi della cucina
- per produrre corrente elettrica mediante un generatore, (o con un cogeneratore è possibile recuperare anche l'acqua calda del motore per usi domestici),
- per essere utilizzato come carburante per autotrazione

Successivamente , il processo di digestione igienizza il materiale in uscita, il quale così trasformato è pronto per essere impiegato in agricoltura come biofertilizzante.

L'idea del posizionamento del digestore nel centro del cumulo è vincente, perché il calore costante fornito consente di migliorare la produzione rispetto a quelle in condizioni normali: a parità di sostanza organica fornita, si necessita di un volume del serbatoio più piccolo e si ha una riduzione dei tempi di ritenzione.

Infine un'altra applicazione è il ThermoCompost serra: questo modello consente, oltre al classico recupero dell'acqua calda, anche il recupero dei gas prodotti dalla decomposizione della sostanza organica attraverso un impianto di aereazione.

Sapendo che il processo di compostaggio, ad opera dei microrganismi, produce CO<sub>2</sub>, vapore acqueo, calore, composti dell' azoto (NH<sub>3</sub>) ed altri elementi, un ventilatore in aspirazione estrae i gas "esausti" prodotti e li dirige in serra, dove vengono riciclati per poi essere utilizzati dalle piante per crescere più velocemente che in una serra classica.

La velocità con la quale i gas vengono estratti crea una condizione di richiamo di aria dall' esterno del cumulo che essendo normalmente ricca di ossigeno può essere regolata per accelerare il processo. L'acqua calda estratta, attraverso i tubi dell'impianto idraulico, consente di riscaldare il letto di semina o il suolo di coltivazione.

Qualora si abbia la possibilità di costruire il cumulo nella serra, oltre al vantaggio di un ambiente più caldo, può essere impiegato come letto caldo, in questo modo le piante usufruiranno del calore e dei gas prodotti con la possibilità del risparmio del costo degli impianti o può essere regolata per accelerare il processo.

L'acqua calda estratta, attraverso i tubi dell'impianto idraulico, consente di riscaldare il letto di semina o il suolo di coltivazione.

Il ritorno dell' investimento stimato secondo l'associazione T.E.R.R.E è previsto circa entro l' anno infatti basta pensare che :

- le spese di gestione sono praticamente assenti, unica parte in movimento è una piccola pompa con un bassissimo consumo elettrico.
- l'unico lavoro di manutenzione è il rinnovo annuale del cippato.
- I materiali, escluso il cippato, è fatto per durare decine di anni, quindi i costi per il secondo cumulo consistono nel recupero del materiale "cippato" o da cippare

In generale il costo di un impianto di riciclaggio si aggira intorno ai 350 € ogni 30 m<sup>3</sup> incluso un trasporto di circa 2 ore.

Un ulteriore possibilità di reddito, la si può avere vendendo humus di lombrico, risultato del vermicomposting similmente ad un terriccio di bosco, aumenta la fertilità svolgendo ottimamente il ruolo:

- Vitale, contribuisce all' aumento della biodiversità microbiologica
- Nutrizionale, è ricco di minerali e favorisce la simbiosi tra ife e miceli radicali
- Strutturante, contribuisce all'aereazione del terreno
- Irrigatore, assorbe le precipitazioni ed evita la perdita dei nutrienti per lisciviazione
- Termoregolatore, aumenta la resistenza agli stress da freddo, caldo, secco e umido
- Sanitario, ne rafforza il sistema immunitario, offrendo maggior resistenza ai parassiti

## 4.1 Vermicomposting

Il vermicompostaggio è un processo di stabilizzazione bio-ossidativa che avviene in condizioni mesofile (temperatura non superiore ai 35 °C).

A differenza del compostaggio, il vermicompostaggio manca della fase termofila di igienizzazione.

Tuttavia, numerose prove dimostrano come i microrganismi patogeni non riescano a sopravvivere al processo di vermicompostaggio.

I lombrichi, che vengono inseriti artificialmente, ingerendo e trasformando la materia organica, svolgono azione di frantumazione, inoculo microbico e rimescolamento della massa, come avviene meccanicamente nel compostaggio, trasformando i materiali di scarto in un composto di più fine pezzatura, omogeneo, umificato e microbiologicamente attivo.

Nel caso dei lombrichi è stata inoltre dimostrata la presenza di sostanze ad azione fito-ormonale, in grado di stimolare la crescita delle piante.

Numerosi sono i vantaggi del vermicompostaggio come tecnica di bioconversione della sostanza organica.

Infatti, questo processo richiede costi ridotti e consente di ottenere un prodotto umificato di buona qualità.

Inoltre, non necessita dell'intervento dell'uomo o di attrezzature meccaniche, poiché le condizioni aerobiche necessarie sono mantenute dai lombrichi stessi, che con la loro attività creano gallerie e rimescolano continuamente il materiale.

Il risultato che si ottiene è un ammendante organico umificato e ricco di acidi fulvici ed umici, con azione agglutinante per il terreno e stimolante per lo sviluppo delle piante.

In quanto ammendante è inoltre in grado di migliorare le caratteristiche chimico-fisiche del suolo.

Nel vermicompostaggio è tuttavia necessario il mantenimento di condizioni ambientali (pH, temperatura, umidità, ecc.) idonee alla sopravvivenza e riproduzione dei lombrichi.

Inoltre in questo processo la stabilizzazione è lenta (6-9 mesi) ed avviene su cumuli bassi per evitare l'innalzamento termico, incompatibile con la vita del lombrico.

Per questi motivi non risulta opportuno per lo smaltimento massivo della sostanza organica.



Figura 14 : Vermicompostaggio

I microrganismi che intervengono nel processo di vermicompostaggio sono batteri, funghi, attinomiceti, alghe e protozoi.

I batteri coinvolti nel processo sono per la maggior parte rappresentati da specie mesofile (simili a quelle che si ritrovano nella fase mesofila del processo di compostaggio) aerobiche o anaerobiche facoltative, che vivono a temperature comprese tra i 15 ed i 45° C.

I funghi presenti sono mesofili in quanto crescono ad una temperatura compresa tra 5 e 37° C, con un optimum di temperatura compreso tra i 25 ed i 30° C (Dix, Webster, 1995). I funghi, in generale, sono in grado di degradare polimeri complessi di origine vegetale quali cere, emicellulose, cellulosa, pectina e lignina.

Quindi, nei processi di degradazione della sostanza organica, i funghi giocano un ruolo fondamentale poiché rendono disponibili metaboliti intermedi che i batteri provvedono poi a trasformare ulteriormente. I funghi che riescono maggiormente a degradare la lignina appartengono alla sottodivisione dei Basidiomycotina .

Il prodotto che si ottiene come risultato del processo di vermicompostaggio è un prodotto stabilizzato, maturo, contenente materia organica stabile umificata.

È un prodotto atossico, quindi ideale come ammendante in ambito agricolo e per il recupero di suoli degradati. L'aggiunta ad un suolo di un ammendante organico, come il

vermicompost, apporta sostanza organica umificata ad alto peso molecolare ed enzimaticamente attiva che ne migliora sensibilmente la qualità.

Infatti si ha sia una modificazione della struttura fisica del terreno che un apporto di sostanze pseudo-ormonali che intervengono sulla germinazione del seme e nei processi di crescita delle piante. Si ha inoltre un aumento delle attività microbiologiche e biochimiche del terreno che contribuiscono al miglioramento della ciclizzazione dei nutrienti. Le sostanze umiche sono in grado di legare proteine a carattere enzimatico e formare complessi umo-enzimatici, considerati di grande importanza per la fertilità del suolo in quanto rappresentano un ponte di collegamento tra le reazioni minerali e le reazioni organiche che avvengono nel terreno. Gli enzimi dei complessi umo-enzimatici sono enzimi extracellulari, che in questo stato sono capaci di mantenere la propria attività anche quando le condizioni del suolo sono proibitive per la loro attività, condizioni che spesso si vengono a verificare in suoli degradati o stressati.

Infine il vermicompost è considerato un fertilizzante/ammendante organico a lento rilascio di nutrienti. Infatti, le cariche negative, che caratterizzano le sostanze umiche, tendono a legare le cariche positive di macro e micronutrienti ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ) evitando così la perdita di questi ultimi per lisciviazione o per trasformazione in composti poco solubili.

## **CAPITOLO V**

### **L'ORTO BOTANICO DI BOLOGNA**

#### **5 ORTO BOTANICO**

L'obiettivo del seguente elaborato di tesi è quello di sviluppare l'idea progettuale necessaria a produrre energia biotermica attraverso l'utilizzo di un impianto pilota di ThermoCompost.

Tale impianto pilota è da realizzarsi all'interno dell'orto botanico di Bologna situato in Via Irnerio 42.

Tecnicamente un orto botanico rappresenta un ambiente naturale ricreato artificialmente il quale raccoglie e contiene una grande varietà di piante con obiettivi scientifici e per l'educazione dei visitatori.

Gli orti botanici hanno una lunga tradizione di scambi, studi, mostre e progetti di conservazione di specie vegetali provenienti da tutto il mondo.

Questi, rappresentando sia luoghi di serenità ed incanto ma anche centri di ricerca medico- scientifico, hanno avuto un ruolo centrale nella diffusione di piante utili nel mondo e nello sviluppo delle economie nazionali.

Oggi, poiché le specie vegetali di tutto il mondo stanno diminuendo per numerosi fattori come ad esempio la degradazione e perdita degli habitat, inquinamento e cambiamenti climatici , la conservazione sta diventando un fondamento logico e vitale per gli orti botanici già esistenti e per lo sviluppo di nuovi.

Attualmente ciascun orto botanico si concentra in maniera diversa su specie locali o globali, sull'educazione del pubblico, sulla ricerca in botanica, ecologia e orticoltura, sulle iniziative di conservazione in situ ed ex situ e sulla ricerca di nuovi usi sostenibili delle specie.

Tutte queste attività ricadono all'interno del campo della Convenzione delle Nazioni Unite sulla Biodiversità (CBD), una convenzione internazionale che ha portato allo sviluppo di molte nuove leggi, politiche e iniziative nazionali in tutto il mondo.

Gli orti botanici rappresentano importanti ponti tra le organizzazioni di ricerca e conservazione, le autorità governative, le comunità locali e i settori commerciali come l'orticoltura e le industrie farmaceutiche. Questi legami, così preziosi per la società, necessitano di essere riconosciuti e osservati nel contesto della CBD.

La scoperta degli Orti botanici risale sicuramente a tempi antichi, partendo infatti dal “Giardino botanico di Karnak” del faraone egizio Tutmosi III, fino agli ambienti dedicati alle raccolte di piante medicinali di epoca ateniese nel IV secolo a.C..

A partire dal periodo medioevale e rinascimentale, si iniziò a diffondere la coltivazione di piante medicinali negli Horti sanitatis situati presso i monasteri e presso le scuole di medicina e farmacia delle Università. Successivamente nacque il primo orto botanico del mondo occidentale, a Salerno ad opera di Matteo Silvatico, insigne medico della Scuola medica salernitana tra il XIII secolo ed il XIV secolo.

Silvatico, si contraddistinse come un ottimo conoscitore di piante per la produzione di medicinali. Il suo giardino conosciuto come il Giardino della Minerva, è stato sicuramente il promotore per la prima volta di coltivazione e classificazione di grande quantità di piante ed erbe, con l’obiettivo di studiarne a scopo scientifico le proprietà terapeutiche e medicamentose.



Figura 15 : Giardino della Minerva, Orto Botanico di Salerno

Tutto questo si aggiunse ad un'esigenza di tipo didattico rivolta agli studenti delle Università, che portò alla nascita dei primi orti botanici. Successivamente, nacquero così l'Orto botanico di Pisa, nel 1544, l'Orto botanico di Padova nel giugno del 1545, quello di Firenze nel dicembre 1545, quello di Bologna nel 1567.

## **5.1 La Convenzione sulla Biodiversità (CBD )**

La Convenzione sulla Biodiversità (CBD), nota anche come Convenzione sulla Diversità Biologica o Convenzione di Rio, è una convenzione internazionale che si pone tre obiettivi: la conservazione della biodiversità, l'uso sostenibile delle risorse biologiche e la ripartizione giusta ed equa dei benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse genetiche. La CBD è nata il 5 giugno 1992 durante la Conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente e lo Sviluppo (Summit della Terra di Rio) ed è entrata in vigore il 29 dicembre 1993, 90 giorni dopo la ratifica dei primi 30 paesi. Attualmente sono più di 190 i paesi che oggi fanno parte della CBD.

Nei primi anni '80, un gruppo di conservazionisti, guidati dall'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN), iniziarono a lavorare allo sviluppo di una nuova convenzione mondiale sulla conservazione. Il compito fu intrapreso dal Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP) nel 1988. . Nella fase iniziale fu data maggiore enfasi al riconoscimento del diritto sovrano dei paesi di sfruttare le proprie risorse (dalla Dichiarazione di Stoccolma, 1972) e alla biodiversità come un interesse comune piuttosto che come patrimonio dell'umanità. Il trattato non venne accettato a livello internazionale finché non venne aggiunto il terzo obiettivo: la giusta ed equa ripartizione dei benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse genetiche. Molti paesi con alti livelli di biodiversità sono relativamente sottosviluppati e hanno scarse risorse finanziarie. Questi paesi mostrarono la preoccupazione di dover sostenere costi molto alti per la conservazione della propria biodiversità mentre quelli più sviluppati avrebbero continuato ad avervi libero accesso e a trarne profitti. Per far fronte a questo problema fu istituito un sistema di finanziamento che ripartisse in maniera equa i costi della conservazione e che garantisse ai paesi più ricchi in biodiversità di avere maggior controllo sulle proprie risorse e di beneficiare del loro utilizzo. Il concetto di equa ripartizione dei benefici in cambio dell'accesso alle risorse genetiche, spesso chiamato "il Grande Baratto", fu sancito nel cuore della CBD ma in pratica rimane la questione più contenziosa e ambigua per le parti.

Il testo originale della CBD è composto da 42 articoli che espongono definizioni, condizioni e funzionamento della Convenzione. Molti articoli sono di particolare importanza per gli orti botanici, come, per esempio, quelli su identificazione e

monitoraggio, conservazione in situ ed ex situ, uso sostenibile, ricerca e formazione, istruzione e divulgazione al pubblico, accesso e ripartizione dei benefici.

Nel 2010 è stato istituito un piano strategico della Convenzione durante la COP6 all'Aja, Olanda nel 2002. Tale piano stabiliva gli obiettivi da raggiungere negli anni successivi.

Il Piano Strategico era costituito da una Sezione introduttiva, la quale definiva l'obiettivo del Piano che serviva a guidare l'attuazione della Convenzione a livello nazionale, regionale e globale. Tale sezione è suddivisa in diverse parti:

**Sezione A:**

- informa che la perdita di biodiversità è in aumento,
- identifica le principali minacce alla biodiversità,
- sottolinea l'importanza della Convenzione quale strumento essenziale,
- presenta alcuni successi ottenuti, e
- presenta le sfide ancora aperte.

**Sezione B:** la quale definisce l'impegno delle Parti ad una più efficiente e coerente attuazione dei tre obiettivi della Convenzione per raggiungere, entro il 2010, una riduzione significativa dell'attuale tasso di perdita della biodiversità a livello globale, regionale e nazionale come contributo alla riduzione della povertà e a beneficio di tutta la vita sulla terra.

**Sezione C:** definisce i 4 goal ed i 4/6 obiettivi per ciascun goal del Piano Strategico.

**Sezione D:** chiarisce che il Piano Strategico sarà messo in atto attraverso i Programmi di Lavoro, le Strategie Nazionali e gli altri strumenti ufficiali della Convenzione e delle Parti.

Nella decima Conferenza delle Parti della Convenzione, a Nagoya, Prefettura di Aichi, Giappone, è stato concordato il Piano strategico per la biodiversità 2011-2020 ed i relativi 20 obiettivi chiamati gli Aichi Target.

Successivamente, il 14 luglio 2014, il segretariato della CBD ha dichiarato che il protocollo di Nagoya è stato ratificato da oltre 50 paesi ed è quindi entrato in vigore a tutti gli effetti.

La principale novità di questo piano, rispetto al vecchio piano strategico della Convenzione, è quella di rappresentare un punto di riferimento per tutto il sistema delle Nazioni Unite e non solo della Convenzione sulla Diversità Biologica.

## 5.2 Orto botanico Bologna

L'orto botanico di Bologna è situato in via Irnerio 42, ed ha una superficie di circa 20.000 mq. L'origine e la nascita dell'orto botanico di Bologna risale al 1568 dove fu istituito il primo Orto Botanico bolognese fondato da Ulisse Aldrovandi. Inizialmente era situato all'interno di un cortile di Palazzo D'Accursio, in prossimità di piazza Maggiore ed era costituito da una serie di aiuole all'interno di un'area rettangolare. L'obiettivo dell'orto botanico era quello di mostrare agli studenti di medicina quali fossero le piante da cui si preparavano i medicinali dell'epoca.

Però dato che lo spazio risultò inadeguato, per ospitare tutte le piante che si andavano raccogliendo, l'Orto Botanico fu spostato nell'attuale via S. Giuliano, presso Porta S. Stefano.

Per esigenze didattiche, successivamente, nel 1600 venne riaperta anche la sede di Palazzo Pubblico. Nel 1803, abbandonate le sedi precedenti, l'Università acquistò all'interno delle mura un'ampia area agricola, tra Porta Mascarella e S. Donato, che comprendeva anche la palazzina della Viola per stabilirvi la nuova e definitiva sede dell'Orto Botanico.



Figura 16 : Orto Botanico Bologna

All'inizio del Novecento l'area fu ridimensionata, con l'apertura di Via Irnerio e venne suddivisa in due parti:

- La prima di pertinenza della Facoltà di Agraria con la Palazzina della Viola;
- La seconda di pertinenza della Facoltà di Scienze, comprendente l'Orto Botanico. All'interno di quest'ultima area venne costruita nel 1916, su progetto di Collamarini, l'attuale Sede del Dipartimento di Biologia.

Strutturalmente l'attuale Orto Botanico di Bologna situato in via Irnerio 42, si sviluppa su una superficie di circa 2 ettari a pianta rettangolare che raggiunge le antiche mura di Bologna. Al suo interno sono presenti due edifici che rappresentano la sede di parte del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali e quattro serre, di cui due serre tropicali di cui una semi-interrata e due di piante succulente con annessi locali di servizio. Inoltre si ha la presenza di una piccola serra che ospita la collezione di piante insettivore.

Dal 1998 l'istituzione fa parte del Sistema Museale di Ateneo dell'Università. Il personale è costituito da tre giardinieri afferenti all'Orto coordinati da un curatore (dott. Umberto Mossetti) e da un'addetta alle visite guidate alle scuole.

L'Orto botanico è costituito da circa 1800 specie e numerosi esemplari arborei monumentali. In una apposita banca dati sono archiviati i dati relativi a tutti gli esemplari presenti e la loro collocazione e in essa viene registrata ogni nuova accessione. Molte delle specie coltivate sono rare o protette. L'Orto si articola in diverse sezioni:

- Giardino anteriore : dove sono situate diverse piante di interesse ornamentale di provenienza asiatica (*Metasequoia glyptostroboides*, *Cryptomeria japonica*, *Gingko biloba*, *Koelreuteria paniculata*) o italiana (*Taxus baccata*, *Pinus brutia*, *Ilex aquifolium*).
- Giardino posteriore , situato nella parte posteriore l'edificio del Dipartimento si trovano le seguenti collezioni collocate all'aperto e in serra :

Collezione di piante officinali italiane come ad esempio : *Ricinus communis*, *Digitalis purpurea*; si ha la presenza del giardino dei Semplici, ispirato alla mappa di quello antico di Aldrovandi e suddiviso in sezioni di interesse farmacologico.

Si ha inoltre la presenza di collezione di piante acquatiche italiane come : *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria sagittifolia*, ed esotiche come : *Nelumbo nucifera*).



Figura 17: Settore delle piante medicinali

In serra si ha la collezione di piante succulente (la più importante dell'Italia settentrionale) come: *Beaucarnea recurvata*, *Marginatocereus marginatus*, *Myrtillocactus geometrizans*, e tante altre; la collezione di piante tropicali come : *Carica papaya*, *Ananas bracteata*; la collezione di piante insettivore , specie diverse di *Drosera*, *Nepenthes*, e tante altre piante.

Inoltre vi è una parte posteriore, che rappresenta un' area a bosco cioè un parco con esemplari monumentali come ad esempio : *Platanus occidentalis*, *Taxodium distichum* e ornamentali come : *Magnolia denudata*, *Cercis siliquastrum*.

Si ha inoltre la presenza di diverse aree adibite a ricostruzioni di ambienti naturali un bosco planiziaro tipico della Pianura Padana, un lembo di macchia mediterranea con ad esempio: *Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*; un bosco montano appenninico con *Acer platanoides*, *Laburnum anagyroides*, uno stagno con specie acquatiche spontanee della Pianura Padana con *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, un giardino roccioso con settori di diverso substrato con *Leontopodium alpinum*,



Figura 18: Giardino Roccioso



Figura 19 : Serre Orto Botanico Bologna

Infine possiamo dire che per quanto riguarda l'attività didattica l'Orto Botanico è di supporto agli insegnamenti di Botanica che si svolgono nel Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali fornendo materiale per esercitazioni ed esami, ed

inoltre vengono coltivate anche specie per la ricerca scientifica che si svolge nel Dipartimento. Vengono svolte visite guidate gratuite per le scuole d'ogni ordine e grado e vengono inoltre annualmente organizzate mostre scientifiche, fotografiche e artistiche (nella serra delle succulente e all'aperto) con visite guidate anche in collaborazione col Comune di Bologna. L'Orto botanico partecipa a diverse iniziative annuali (Settimana della Cultura Scientifica, Festa della Storia, Città dello Zecchino) organizzate da diversi Enti. Per quanto riguarda le attività editoriali è stata realizzata una guida a colori contenente una mappa dell'Orto suddivisa in settori e un libro sulle Gimnosperme presenti (a cura dell'Aula Didattica). L'Orto Botanico di Bologna ha partecipato a numerose iniziative (corsi di aggiornamento, convegni e incontri scientifici) organizzate dal Gruppo Orti Botanici e Giardini Storici della Società Botanica Italiana.

## CAPITOLO VI

### BIOTRITURATORE

#### 6 ASPETTI GENERALI

La continua produzione di biomasse agricole e forestali e la manutenzione degli spazi verdi ha contribuito sempre di più all'utilizzo e lo sviluppo di macchinari come i biotrituratori, i quali in base alle proprie esigenze sviluppano una vasta scelta di tecnologie.

Il biotrituratore è un'apparecchiatura che può essere sia elettrica sia con motore a scoppio, in grado di azionare delle particolari lame rotanti con la funzione di tagliare e sminuzzare radici, rami, foglie, detriti verdi o addirittura tronchi di legno. In base alla potenza del motore, un biotrituratore può macinare rami di legno dal differente diametro.

La funzione dei biotrituratori ci permette da un lato di ridurre il volume di tronchi, rami, arbusti, ramaglie, foglie, erba e anche residui organici, facilitandone così il trasporto, e dall'altro di consentire il recupero di materiale di scarto che, diversamente, andrebbe smaltito in discarica o in altra forma.

Tecnicamente l'apparecchiatura è formata da tre parti: la tramoggia, il motore e la camera di triturazione.

Il motore è fissato su un piano in lamiera e l'albero in uscita è collegato con una cinghia trapezoidale ad un dispositivo rotante su cui sono fissati dei coltelli. Mettendo in movimento il motore, il portacoltelli inizia a ruotare e, per la forza centrifuga, le lame ad esso fissate iniziano a ruotare insieme a tutto il dispositivo che è racchiuso da un carter in lamiera. Le ramaglie, introdotte nella tramoggia, arrivano alla camera di triturazione dove il sistema rotante con i coltelli le sminuzza in parti molto piccole che escono al di sotto della macchina.

Il prodotto così ottenuto, finemente tritato, sarà accumulato in una compostiera e diventerà un ottimo compost in 10-12 mesi. Oppure, se lasciato all'aperto in superficie, farà un'ottima pacciamatura organica per orto e giardinaggio.

Il principio di funzionamento si basa su l'inserimento di materiale vegetale, dove in alcuni casi questo va spinto con l'aiuto di una pressa fino a raggiungere la vite rotante che presenta delle lame dai vertici affilati. Il movimento rotante consente un taglio elicoidale in grado di sminuzzare i rami e convogliare il cippato ottenuto nel sottostante cassonetto di raccolta.

La sminuzzatura o cippatura, ha come obiettivo quello di ridurre il materiale più o meno lignificato in scaglie (*chip*) di dimensioni variabili in larghezza e spessore (pochi centimetri) mediante un taglio netto effettuato da uno o più coltelli inseriti in uno o più dischi o in un rotore.



Figura 20 : Biotrituratore

Dalla biotriturazione si ottiene un prodotto che, a seconda della composizione, viene destinato alla produzione di compost, oppure di pellet, o anche in campo industriale per ottenere pannelli in truciolato; altrimenti la destinazione può essere la discarica. Indipendentemente dalla tipologia, cioè se elettrico o con motore a scoppio, le parti essenziali della macchina sono date dalla tramoggia di alimentazione e dalla camera di trinciatura o cippatura, dall'apparato di alimentazione del materiale, a tappeto o a rulli, e dal canale di espulsione del prodotto. Come detto, l'energia motrice è fornita da un motore endotermico (a scoppio o diesel) o elettrico.

Ovviamente un biotrituratore è dotato di due aperture una superiore e una inferiore. Attraverso l'apertura superiore viene inserito il materiale da tritare (scarti di potatura, rami, sfalci), mentre dall'apertura sottostante esce del materiale vegetale tagliuzzato finemente. Si tratta di un cippato fine che occupa pochissimo spazio rispetto al materiale vegetale di partenza e può essere usato per diversi scopi. Utilizzando un'apparecchiatura di buona qualità si riesce a ottenere un cippato utilizzabile per essere facilmente smaltito anche nella compostiera. Il cippato ottenuto dal biotrituratore può essere facilmente utilizzato per la produzione di energia biotermica attraverso un impianto di ThermoCompost oppure convertito in fertilizzante naturale.

In definitiva per l'utilizzo di un biotrituratore da utilizzare in giardino o in campagna sicuramente è più conveniente dal punto di vista economico un modello elettrico a rullo, che ha anche il vantaggio di minore manutenzione ed è più silenzioso.

Un modello elettrico che sviluppa una potenza fino a 3 kW è più che sufficiente per qualsiasi utilizzo domestico. Per esigenze più professionali si dovrà prendere in considerazione l'acquisto di modelli più potenti ed evoluti, che permettano anche diversi tipi di taglio; di solito questi biotrituratori sono spinti da motori a scoppio e arrivano a sviluppare una potenza fino a 8 kW.

Altro parametro è il diametro massimo dei rami che il biotrituratore riesce a tollerare che è di circa 40 mm per quelli elettrici mentre i modelli a scoppio riescono a tritare misure ben maggiori fino a 100 mm circa. Altro aspetto importante riguarda l'impatto ambientale: infatti l'apparecchiatura con il motore a scoppio ha sicuramente delle emissioni maggiori in atmosfera rispetto ad un'apparecchiatura elettrica, pensando ovviamente che l'energia elettrica utilizzata è stata ricavata anche da fonti rinnovabili, secondo il mix energetico locale.

## 6.1 Sistemi di taglio

Il biotrituratore può essere costituito da almeno tre tipi di sistema di taglio: il sistema a turbina, il sistema a rullo ed il sistema a lame.

Sicuramente il sistema di taglio più efficiente è rappresentato dal sistema a turbina, nel quale, attraverso l'utilizzo delle turbine stesse, si riesce a tritare facilmente tutte le parti e le tipologie di piante con dimensioni e caratteristiche differenti. Tale sistema quindi, permette di tritare una quantità maggiore di materiale.

Grazie alla presenza della turbina si ha il vantaggio di creare una corrente aspirante, che permette di far entrare anche foglie o rametti di piccole dimensioni.

Inoltre un altro aspetto vantaggioso è rappresentato dalla silenziosità, dato che si richiede al motore di effettuare un basso numero di giri al minuto.



Figura 21: Sistema a turbina

Il sistema a rullo è più economico del sistema a turbina, ma ha delle performance sicuramente inferiori. In tale sistema si producono dei residui di dimensioni maggiori rispetto al sistema a turbina, non è molto indicato per fili d'erba e foglie, poiché non le riesce a sminuzzare a sufficienza. Un altro problema riguarda il rischio di incepparsi, dunque per tale motivo alcuni biotrituratori a rullo sono dotati della funzione di inversione della rotazione, la quale permette la rimozione di eventuali rami incastrati. Tale sistema è comunque valido ed efficiente per arbusti e cespugli.

Il sistema a rullo ha il vantaggio di garantire delle buone prestazioni anche a pochi giri al minuto, normalmente intorno ai 40 giri/min ed ha il vantaggio di essere silenzioso.



Figura 22: Sistema a rullo

L'ultimo sistema è rappresentato dal sistema a lame il quale è sicuramente quello meno versatile, in quanto veramente efficace solo con rametti e frasche. Tale sistema è dotato di lame molto sottili e taglienti, però questo le rende inadeguate a tagliare dei rami di dimensioni più grandi. Avendo quindi tali caratteristiche il sistema risulta fragile e ha bisogno di una manutenzione più frequente. Tale sistema è vantaggioso in quanto è più economico, ma svantaggioso in quanto è più rumoroso rispetto ad uno a rullo o a turbina, in quanto le lame per sminuzzare al meglio dovranno muoversi ad un numero di giri molto superiore. In media i biotrituratori a lame hanno motori dalla velocità di 4000 giri/min.



Figura 23: Sistema a lame

## 6.2 Trasportabilità

Un parametro importante è la trasportabilità, perché influisce sulla mobilità del nostro biotrituratore e sulla semplicità con cui potremo spostarlo.

Basta pensare infatti che alcuni modelli arrivano a pesare anche 30 kg, e dunque le caratteristiche di trasportabilità sono di notevole rilevanza.

Tra le diverse caratteristiche ritroviamo :

- **Dimensioni e peso:** diversi sono i parametri che influiscono sulle dimensioni ed il peso del biotrituratore come ad esempio : il sistema di taglio, il motore o la capacità di taglio.

In commercio si hanno dei biotrituratori che hanno un peso variabile fra i 15 ed i 30 kg. Per le dimensioni, consideriamo il parametro dell'altezza: dove essendo che la macchina che ha un caricamento dall'alto, tanto maggiore sarà l'altezza del biotrituratore, tanto più è difficile l'inserimento dei rami nella tramoggia.

- **Ruote:** queste rappresentano il parametro di mobilità della macchina, che permettono di potersi spostare , senza dover ogni volta trasportare i rami vicino al biotrituratore. Le dimensioni delle ruote devono essere di una grandezza tale da scorrere facilmente su tutti i tipi di terreno.
- **Lunghezza del cavo:** per i biotrituratori elettrici, un altro parametro importante è rappresentato dalla lunghezza del cavo che permette di definire il raggio di movimento del biotrituratore.
- **Maniglia:** è quello strumento che permette di trascinare il biotrituratore senza fatica agevolando gli spostamenti . Inoltre la maniglia è fondamentale per evitare di afferrare il modello in maniera sbagliata rischiando di danneggiarlo o procurarsi ferite.



Figura 24 : Parametri di trasportabilità

### 6.3 Biotrituratore elettrico

In generale tutti i biotrituratori sia elettrici che con motore a scoppio, sono alimentati da materiale come scarti di potatura, rami, sfalci, i quali permettono il corretto funzionamento delle lame rotanti che sminuzzano la materia vegetale immessa.

Le caratteristiche ed il funzionamento di un biotrituratore differisce in base al modello e alla potenza. Per quanto riguarda i biotrituratori elettrici i più potenti sono quelli con funzionamento a rullo portafresa.

Un biotrituratore con rullo portafresa ha la capacità di triturazione molto elevata, grazie alla potenza del sistema a rullo riesce a sminuzzare rami dal diametro fino a 40 mm pur assicurando una rumorosità contenuta.

Un apparecchiatura con queste caratteristiche può costare all'incirca sulle 250-300 euro.



Figura 25: Biotrituratore elettrico

I biotrituratori azionati da un motore elettrico con trasmissione diretta al gruppo di taglio, sono dotati di un'unica tramoggia di carico, dove la triturazione di potature avviene per mezzo di due lame temperate ed una controlama che eseguono il primo

taglio e, dove previsto, alcuni martelli mobili riducono ulteriormente il prodotto in piccole schegge.

Il materiale ottenuto può essere utilizzato per compostaggio, e dove possibile l'utilizzo di un impianto di ThermoCompost permette la produzione di energia biotermica.

Costruiti interamente in acciaio di buoni spessori e seguendo scrupolosamente le normative comunitarie in materia di sicurezza, risultano affidabili e semplici nel loro utilizzo anche per gli utilizzatori più esigenti.



Figura 26: Cippato ottenuto da Biotrituratore elettrico

Il biotrituratore elettrico è indubbiamente vantaggioso per diversi aspetti:

- è economico, il costo in generale varia dai 250- 300 €
- ha un impatto ambientale minore considerando che l'energia elettrica utilizzata è stata ricavata da fonti rinnovabili.
- è silenzioso

Dall'altro lato ovviamente ha dei limiti di produzione, considerando che la triturazione massima di sfalci da potatura che può sopportare ha un diametro di 40 mm.

#### 6.4 Biotrituratore a scoppio

Un biotrituratore a scoppio ha una capacità di triturazione molto più elevata rispetto a quello elettrico. Ad esempio se consideriamo un modello da soli 7 HP (con motore a scoppio dalla potenza di 7 cavalli), si possono macinare tronchetti dal diametro di 60 mm. Ovviamente in base al budget economico, si possono utilizzare dei biotrituratori da 15 cavalli, ideali per produrre cippato a partire da tronchetti dal diametro di 100 mm. Lo svantaggio dei biotrituratori professionali a scoppio sta nell'elevata rumorosità e nel prezzo. Un modello a scoppio professionale con motore a 4 tempi da 15 HP arriva a costare dai 1000 ai 1500 euro.

Questi tipi di biotrituratori possono essere azionati da motore a scoppio con trasmissione a cinghia e pulegge a presa di forza trattore con trasmissione attraverso giunto elastico e spina di sicurezza. Dotati di un'unica tramoggia di carico, la triturazione di potature fresche avviene per mezzo di una lama ed una controlama temperate a cuore che eseguono il primo taglio e martelli mobili che riducono ulteriormente il prodotto in piccole schegge.

Il materiale ottenuto può essere utilizzato per compostaggio, paciamatura o, se opportunamente essiccato in caldaie a cippato.



Figura 27: Biotrituratore con motore a scoppio

Avvalendosi di ruote e maniglia di spostamento risulta di facile utilizzo, l'apparecchiatura è interamente in acciaio e seguendo scrupolosamente le normative comunitarie in materia di sicurezza, risulta affidabile e semplice nel suo utilizzo anche per gli utilizzatori più esigenti.

In definitiva questo tipo di apparecchiatura è sicuramente più vantaggiosa ed affidabile per triturazioni a livello professionale.

## CAPITOLO VII

### 7 ASPETTI TEORICI

#### 7.1 La trasmissione del calore

Il calore rappresenta l'energia che transita quando la sua trasmissione da un corpo ad un altro avviene solo in virtù di una differenza di temperatura.

L'insieme dei processi mediante i quali ha luogo tale trasporto di energia prende il nome di Trasmissione del calore, che studia l'evoluzione nel tempo degli eventi generati da stati di non equilibrio termico.

Lo scambio termico tra corpi che hanno temperatura diversa, può avvenire:

- per contatto in assenza di moto relativo tra due corpi;
- per contatto in presenza di moto relativo tra un corpo ed un fluido;
- senza contatto tra corpi separati da uno spazio anche vuoto.

Il fenomeno di trasmissione del calore consiste nel trasferimento di calore tra il corpo a temperatura più calda a quello a temperatura più fredda fino a quando entrambi raggiungono la stessa temperatura, il cui valore risulta intermedio tra quelli delle loro temperature iniziali.

La trasmissione del calore può avvenire in tre diversi modi:

- **Conduzione:** un fenomeno microscopico che si manifesta sotto forma di oscillazione delle molecole del materiale, dove tali oscillazioni aumentano all'aumentare della temperatura.

La trasmissione del calore avviene dal corpo a T maggiore al corpo a T minore e si ferma quando i corpi hanno raggiunto l'equilibrio termico. Può avvenire sia nei solidi che nei fluidi.

La quantità di calore scambiato che si propaga per conduzione attraverso una parete a temperatura Tcalda e una a Tfredda di area A e spessore x è definita dalla legge di Fourier secondo la seguente equazione :

$$Q = k * A * \frac{(T_c - T_f)}{x}$$

Dove

- Q= è il flusso di calore scambiato nell'unità di tempo (Kcal/h);
- k= coefficiente di conducibilità (W/m\*K);

$$k = k_0 * (1 + \alpha * T)$$

- $\alpha$ = coefficiente costante;
- T=temperatura;
- A=Area disponibile per lo scambio termico;
- A=Superficie di scambio termico (m<sup>2</sup>);
- T<sub>c</sub>-T<sub>f</sub>= Differenza di temperatura in K;

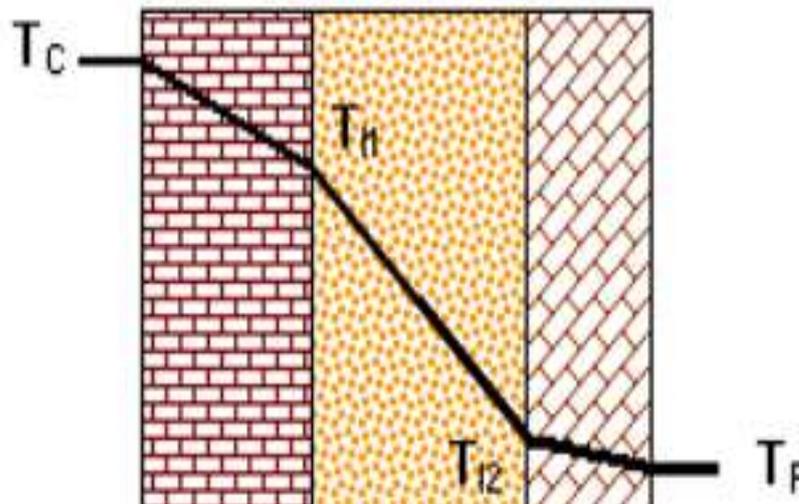


Figura 28: Scambio di calore in parete

- **Convezione** : un fenomeno macroscopico che avviene solo nei fluidi e consiste nel trasferimento di energia generato da un trasferimento di massa.

$$Q = h * A * (T1 - T2)$$

Dove

- Q= è il flusso di calore scambiato nell'unità di tempo (Kcal/h)
- h= coefficiente di convezione
- A=Superficie di scambio termico (m<sup>2</sup>)
- T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>= Differenza di temperatura in K

Tale fenomeno può essere naturale o forzato.

In quella naturale il moto è generato dalla differenza di densità provocata dalla differenza di temperatura.

Quella forzata si ha quando il moto del fluido è generato meccanicamente.

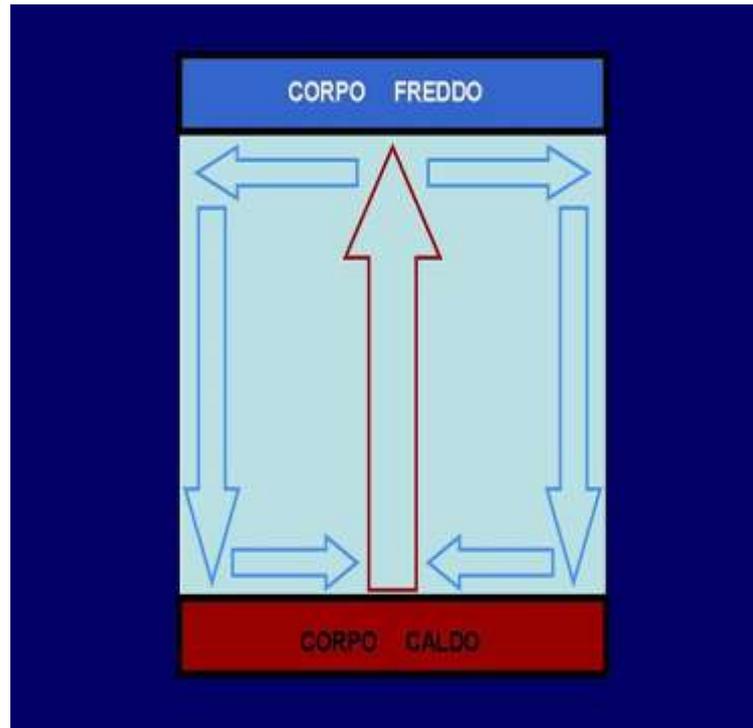


Figura 29: Convezione

- **Irraggiamento** : il calore è scambiato mediante emissione e assorbimento di energia radiante. L'intensità e la lunghezza d'onda dipendono dalla temperatura e dalla superficie, non è richiesto il contatto fisico tra i due corpi, è permessa la trasmissione del calore anche nel vuoto.

Per la conservazione dell'energia si ha che :

$$r + a + \tau = 1$$

Dove

- $r$  = potere riflettente;
- $a$  = potere assorbente;
- $\tau$  = potere trasmittente.

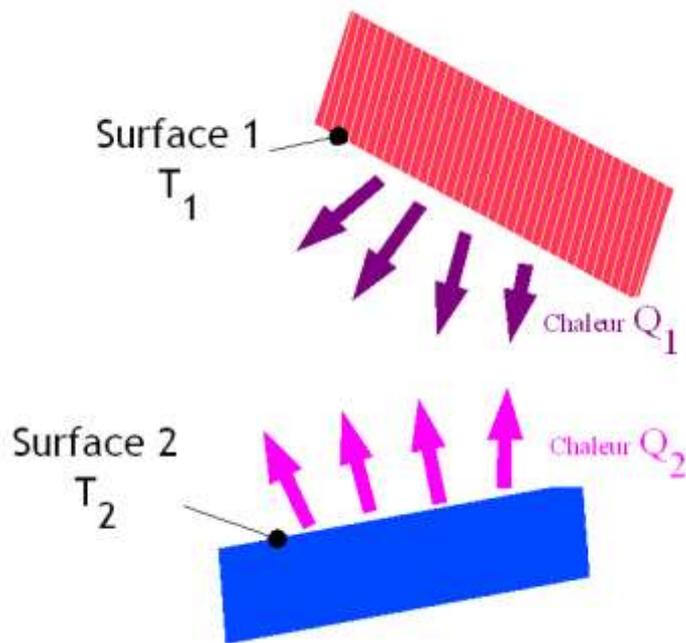


Figura 30 : Rappresentazione dello scambio termico tra due superfici per irraggiamento

Per i corpi neri  $a=1$  e dunque  $r = \tau = 0$  ;

$$E = \sigma * T^2$$

Dove :

- $E$ = emittanza termica
- $\sigma$ = costante di Boltzmann  $5.67 * 10^{-8}$  ( $W/m^2 * K^{-4}$ )
- $T$ = Temperatura Assoluta in K

Per i corpi opachi  $\tau = 0$

Per i corpi grigi  $\varepsilon=a$ =costante con  $\varepsilon$ = emissività=  $\frac{\text{Energia emessa corpo}}{\text{Energia emessa corpo nero}}$

In generale l'energia trasmessa da un qualsiasi corpo è data da:

$$E = \sigma * T^2 * \varepsilon$$

## 7.2 La conduzione cilindrica

Il fenomeno di conduzione termica può avvenire anche in un tubo di forma cilindrica, all'interno del quale scorre un fluido a temperatura diversa dall'ambiente esterno, come nel caso di un impianto di ThermoCompost dove l'acqua scorre all'interno dell'impianto di riscaldamento.

Se il tubo è sufficientemente lungo tanto da trascurare gli effetti di bordo e delimitato da due superfici isoterme a temperature differenti, si può ipotizzare che lo scambio termico avvenga solo nella direzione radiale, quindi che sia monodimensionale.

Se poi le temperature interna ed esterna al tubo sono costanti nel tempo il fenomeno avviene in regime stazionario.

Facendo riferimento alla figura 31 seguente, consideriamo un tubo a sezione circolare di raggio interno  $r_1$  e raggio esterno  $r_2$ , lunghezza  $L$  e conducibilità termica media  $k$ , delimitato da sue superfici isoterme a temperature, rispettivamente,  $T_1$  e  $T_2$ .

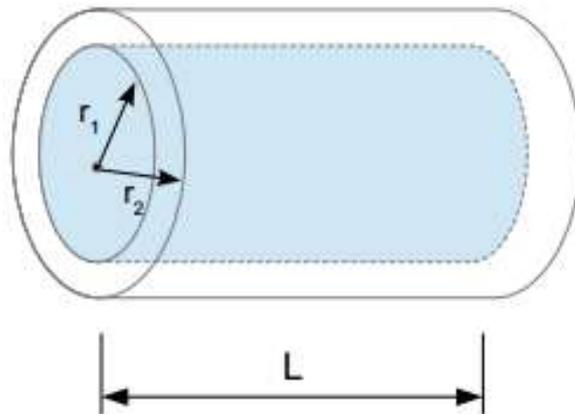


Figura 31 : Sezione di un tubo

Dal momento che lo scambio di calore dal corpo a  $T$  più calda al corpo a  $T$  più fredda avviene attraverso la superficie di un tubo in polietilene, si riporta di seguito la legge di Fourier per uno strato cilindrico:

$$q = -k * \frac{dT}{dr}$$

- $q$  = flusso termico specifico o densità di flusso termico [W/m<sup>2</sup>]
- $d T / d r$  = variazione di temperatura  $T$  lungo il raggio  $r$  del cilindro [K/m]
- $k$  = coefficiente di conduttività termica [W/(m·K)]

Si può dedurre una proporzionalità diretta tra flusso termico, differenza di temperatura ed area della sezione  $A$ , ed una proporzionalità inversa tra flusso termico e lunghezza

del tubo. Il fattore di proporzionalità è detto coefficiente di conduzione termica o conduttività termica del materiale  $k$ . Tale coefficiente è una proprietà fisica del materiale e ne caratterizza il comportamento.

La legge di Fourier approssima il fenomeno della conduzione, dal momento che non esiste una relazione lineare fra l'energia termica scambiata e le temperature dei corpi coinvolti nel processo.

Inoltre, tale equazione è valida solo in regime stazionario non considerando la dipendenza del campo termico del corpo dal tempo.

Anche nel caso cilindrico è possibile definire il valore della resistenza termica attraverso la legge di Fourier tramite la seguente espressione :

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2 * \pi * L * k)}$$

Dove

- $R$ = resistenza termica conduttiva espressa in  $K/W$ ;
- $r_2$  = raggio esterno del cilindro espresso in metri;
- $r_1$  = raggio interno del cilindro espresso in metri;
- $k$ = coefficiente di conducibilità ( $W/m*K$ );
- $L$  è la lunghezza del tubo in metri;

Successivamente si è definita la potenza termica :

$$Q^o = \frac{(T_1 - T_2)}{R}$$

Dove:

- $T_1 - T_2$  rappresenta la differenza di temperatura espressa in  $K$ ;
- $R$ = resistenza termica conduttiva espressa in  $K/W$ ;

### 7.2.1 Il coefficiente di conduzione termica $k$

Il valore del coefficiente di conduttività termica  $k$  delle diverse sostanze varia entro limiti larghissimi, tale coefficiente è in funzione di diversi parametri cioè dipende dallo stato del materiale e può variare con la temperatura, la pressione e gli eventuali trattamenti termici che il materiale ha subito.

La conduttività termica, come detto, si misura, nel sistema internazionale (SI), in  $W/(m \cdot K)$ . All'interno delle tabelle seguenti vengono riportati a grandi linee i valori della conduttività  $k$  per le diverse classi di sostanze e per le sostanze più utilizzate.

<b>Materiale</b>	<b><math>k</math> [<math>W/(m \cdot K)</math>]</b>
Gas alla pressione atmosferica	0,007 ÷ 0,2
Materiali isolanti	0,02 ÷ 0,2
Liquidi non metallici	0,05 ÷ 0,7
Solidi non metallici	0,3 ÷ 2,3
Metalli liquidi	8 ÷ 80
Metalli e leghe metalliche	40 ÷ 420

Tabella 1 : classi di sostanze

<b>Materiale</b>	<b><math>k</math> [<math>W/(m \cdot K)</math>]</b>
Acqua	0,6
Ghiaccio	1,8
Legno	0,15
Balsa	0,055
Aria	0,026
Alluminio	200
Vetro	1,4
Plastica	0,45
Diamante	2300

Tabella 2 : Sostanze più utilizzate

<b>Materiali isolanti</b>	<b><math>k</math> [W/(m K)]</b>
Polistirolo espanso	0,024
Sughero espanso	0,036
Lana di vetro	0,04
Fibra di vetro	0,035

Tabella 3 : Materiale isolante

<b>Materiali da costruzione</b>	<b><math>k</math> [W/(m K)]</b>
Calcestruzzo	0,8 ÷ 1,4
Mattoni di argilla	1,0 ÷ 1,2
Marmo	2,8
Sabbia	0,27
Terreno	0,52

Tabella 4 : Materiale da costruzione

### 7.3 Impianto teorico dello studio

L'impianto teorico dello studio ha come obiettivo quello di sviluppare l'idea progettuale necessaria a produrre energia biotermica attraverso l'utilizzo di un impianto pilota di ThermoCompost.

Tale impianto sarà da realizzarsi all'interno dell'orto botanico di Bologna situato in Via Irnerio 42 a Bologna.

All'interno di tale analisi sono state effettuate diverse ipotesi progettuali in modo da riuscire a descrivere la funzionalità di un impianto di ThermoCompost.

#### 7.3.1 I Ipotesi

Nell'analisi effettuata si è considerato un impianto di ThermoCompost costituito da un cumulo di materiale cippato di 3 metri di diametro con altezza totale pari a 2 metri, dove all'interno di esso è stato inserito un tubo a spirale in polietilene con diametro interno pari a 0.032 metri e diametro esterno pari a 0.035m.

La temperatura interna del cumulo di cippato del ThermoCompost ( $T_c$ ) è pari a 55°C cioè 328 K, mentre la temperatura in ingresso dell'acqua è pari a 18 ° C cioè 291 K.

Nella fase iniziale di analisi è stata calcolata la lunghezza del tubo  $L$  attraverso la seguente relazione:

$$L = \pi * N * R$$

Dove:

- $N$ = numero di giri calcolato attraverso la seguente formula  $N = R/tp$  ;
- $R$ = raggio massimo della spirale nell'impianto;
- $tp$ = passo.

Successivamente si è calcolata la potenza termica ( $Q^\circ$ ) :

$$Q^\circ = \frac{(T_c - T_{in})}{R}$$

dove:

- $T_c$  è la temperatura del cumulo del ThermoCompost in K;
- $T_{in}$  è la temperatura dell'acqua in ingresso all'impianto in K;
- $T_c - T_{in}$  rappresenta la differenza di temperatura espressa in K pari a 37 K;
- $R$ = Resistenza Termica conduttiva tubo cilindrico in K/W;

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2 * \pi * L * k)}$$

Successivamente si è ricavato il valore della Tout per acqua in uscita mediante la relazione che è in funzione della potenza termica complessiva espressa in :

$$Q^\circ = M * CL * (Tin - Tout)$$

Dove :

- $Q^\circ$  = potenza termica complessiva scambiata dal fluido attraverso la superficie cilindrica del tubo (W), calcolato come sopraccitato;
- $Tin$  = temperatura del fluido in ingresso al tubo (K) valore noto;
- $Tout$  = temperatura del fluido in uscita dal tubo (K) valore noto;
- $R$  = resistenza termica dello strato cilindrico (K/W),
- $CL$  = calore specifico del fluido, in  $J/(Kg * K)$  valore noto;

$$M = \rho \cdot v \cdot A$$

- $M$  = portata in massa del fluido all'interno del tubo (Kg/s);
- $\rho$  = densità del fluido in  $Kg/m^3$ ;
- $v$  = velocità del fluido all'interno del tubo (m/s);
- $A$  = sezione interna del tubo ( $m^2$ ).

Conoscendo la temperatura del fluido in ingresso al tubo ( $Tin$  per acqua in ingresso pari a 291 k), e conoscendo la potenza termica complessiva ( $Q^\circ=38489.84$  W) è stato possibile andare a definire la temperatura del fluido in uscita al tubo ( $Tout$  per acqua in uscita), definendo prima la velocità, in modo da ricavare la portata in massa di acqua, attraverso la formula in funzione della portata dell'acqua  $Q$ , attraverso la seguente formula :

$$v = \frac{Q}{0.785 * D^2}$$

Dove :

- $Q$  è la portata dell'acqua all'interno della condotta espressa in  $m^3/s$ ;
- $D$  è il diametro interno del tubo espresso in m.

Attraverso la seguente formula si è definita la velocità di un fluido in condotte circolari in pressione.

Attraverso il calcolo della velocità  $v$  e della lunghezza della tubazione  $L$ , si è potuto ricavare il tempo  $t$  (espresso in secondi) necessario per il riscaldamento del flusso di acqua dall'esterno all'interno della condotta dell'impianto mediante la seguente formula:

$$t = \frac{L}{v}$$

Da qui è stato possibile definire il valore della  $T_{out}$  in uscita dell'acqua mediante la seguente formula :

$$T_{out} = T_{in} + \frac{Q^\circ}{M * CL}$$

Dove :

- $T_{out}$  = temperatura del fluido in uscita dal tubo (K);
- $T_{in}$  = temperatura del fluido in ingresso al tubo (K);
- $Q^\circ$  = potenza termica totale scambiata con il fluido (W);
- $M$  = portata in massa di fluido all'interno del tubo (Kg/s), ricavabile dall'equazione scritta precedentemente;
- $CL$  = calore specifico del fluido in J/(Kg·K)

Successivamente dopo aver calcolato la  $T_{out}$  si è introdotto un coefficiente correttivo  $\alpha = 0.85$  che ha permesso di definire il valore reale di  $T_{out}$  considerando il calore che si disperde per irraggiamento dai punti dove l'acqua è aumentata di temperatura verso le zone più esterne della spirale.

In una fase successiva sono state calcolate le perdite di carico, considerando sia le perdite localizzate che le perdite di carico continue.

Tali perdite sono perdite di pressione, causate dalle resistenze che si oppongono al moto di un fluido. Conoscere il loro valore serve, essenzialmente, a:

- dimensionare i condotti che convogliano i fluidi;
- determinare le caratteristiche degli organi motori (pompe, air-lift, eccetera), cioè dei mezzi che servono a mantenere in movimento i fluidi.

Le perdite di carico possono essere **localizzate** oppure **continue**:

- quelle localizzate si manifestano in corrispondenza di organi meccanici e/o pezzi speciali che fanno variare la direzione o la sezione di passaggio del fluido (come, ad esempio: imbocchi, riduzioni, allargamenti, derivazioni, raccordi, curve, confluenze, valvole, filtri, misuratori, sbocchi, eccetera).

- quelle *continue* si manifestano lungo i tratti lineari dei condotti;

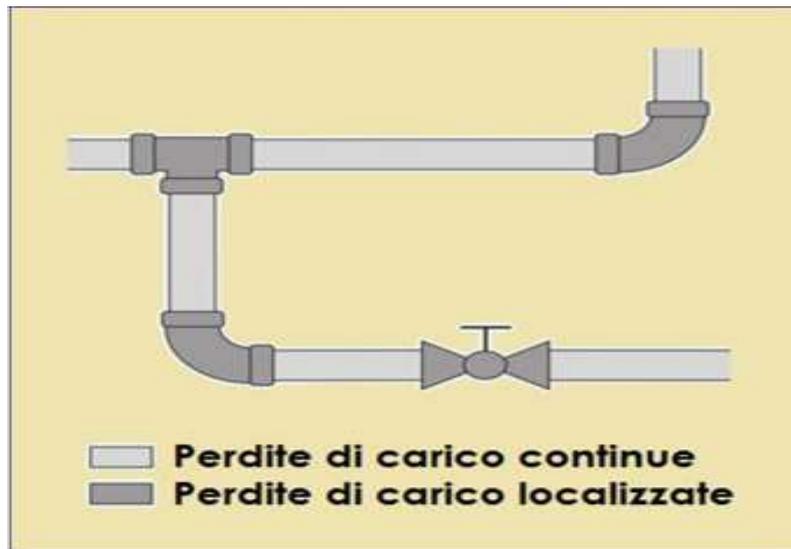


Figura 32: Perdite di carico in un circuito idraulico

### 7.3.2 Perdite di carico localizzate

Per le perdite di carico localizzate si è considerata la sommatoria delle singole perdite di carico, data dalla seguente formula:

$$hL = \sum kl * \frac{v^2}{2g}$$

- $kl$  è il coefficiente di perdite di carico
- $v$  è la velocità del fluido in  $\frac{m}{s}$
- $g$  è l'accelerazione gravitazionale in  $\frac{m}{s^2}$

All'interno dell'impianto in base alla disposizione del tubo a spirale sono state calcolate le perdite di carico localizzate all'imbocco, con curvature 90° e allo sbocco.

Il coefficiente di perdite di carico  $kl$  è così definito :

- $kl_{imbocco} = 1$
- $kl_{sbocco} = 1$
- $kl_{90^\circ} = 0.24$

In definitiva le perdite di carico localizzate totali sono date dalla sommatoria di tutte le perdite appena calcolate, pertanto si ha che:

$$hL_{Totale} = \sum kL * \frac{v^2}{2g}$$

### 7.3.3 Perdite di carico continue

Successivamente sono state calcolate le perdite di carico continue attraverso la seguente relazione :

$$r = Fa * \frac{1}{D} * \rho * \frac{v^2}{2}$$

Dove :

- $r$  rappresentano le perdite di carico continue ( m ) ;
- $Fa$  è il fattore di attrito adimensionale ;
- $\rho$  è la densità dell'acqua espressa in  $\text{Kg}/\text{m}^3$  ;
- $v$  è la velocità dell'acqua in condotta (m/s);
- $D$  diametro interno tubo (m).

Nell'analisi effettuata per il calcolo del fattore di attrito  $Fa$ , si è stabilito il tipo di moto con il quale si muove il fluido e per farlo si è considerato il calcolo del numero di Reynolds attraverso la seguente formula :

$$Re = \frac{\rho * v * D}{u}$$

Dove :

- $v$  è la velocità dell'acqua in condotta (m/s);
- $D$  diametro interno tubo (m);
- $\rho$  è la densità dell'acqua espressa in  $\text{Kg}/\text{m}^3$ ;
- $u$  è la viscosità dell'acqua ;

Il numero di Reynolds permette di definire se il fluido scorre in moto laminare, transitorio o turbolento:

- $Re < 2000$  moto laminare quando le particelle del fluido hanno traiettorie ordinate e fra loro parallele (il moto è calmo e regolare);
- $2000 < Re < 2500$  moto transitorio quando il moto non è chiaramente né laminare, né turbolento;
- $Re > 2500$  moto turbolento quando le particelle del fluido si muovono in modo irregolare e variabile nel tempo (il moto è disordinato ed instabile);

Nel nostro caso il numero  $Re > 2500$  pertanto ci ritroviamo nelle condizioni di moto turbolento e dunque il fattore di attrito è dato dalla seguente relazione:

$$Fa = 0.316 * Re^{-0.25}$$

In definitiva le perdite di carico totali sono date dalla somma delle perdite di carico continue più le perdite di carico localizzate sono pari a :

$$HL\ Totale = hL\ Totale + r$$

### 7.3.4 II Ipotesi

Nella seconda ipotesi si è andato a calcolare la  $T_{out}$  dell'acqua all'interno dell'impianto di ThermoCompost.

In questa fase di analisi sono state effettuate le stesse ipotesi della prima, ma al contrario si è utilizzata una lunghezza della tubazione più piccola rispetto a quella calcolata precedentemente.

Nella prima ipotesi, se non si considera il coefficiente correttivo, viene di fatto calcolata la quantità di calore che dal ThermoCompost passa all'acqua in circolo nel tubo, nel caso più vantaggioso, ovvero quello di tubazione lineare lunga quanto la spirale in oggetto.

In questa seconda ipotesi si considera il caso teorico meno vantaggioso, ovvero un tubo che attraversa il ThermoCompost orizzontalmente e linearmente fino al centro dell'impianto per poi uscirne.

Le due ipotesi rappresentano i casi teorici estremi. Nell'applicazione reale si utilizza la prima ipotesi, applicando un coefficiente riduttivo; il risultato deve ricadere tra i due casi precedentemente menzionati.

Questa seconda ipotesi quindi, pur non avendo scopo applicativo, ha come obiettivo quello di validare il coefficiente correttivo applicato alla prima ipotesi.

In questa II° ipotesi si è calcolata la potenza termica ( $Q^\circ$ ) :

$$Q^\circ = \frac{(T_c - T_{in})}{R}$$

dove:

- $T_c$  è la temperatura del cumulo del ThermoCompost in K;
- $T_{in}$  è la temperatura dell'acqua in ingresso all'impianto in K;
- $T_c - T_{in}$  rappresenta la differenza di temperatura espressa in K pari a 37 K;
- $R$  = Resistenza Termica conduttiva tubo cilindrico in K/W;

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2 * \pi * L * k)}$$

E' stato dunque possibile ricavare dalla variazione di temperatura ( $T_c$  per  $T$  del ThermoCompost -  $T_{in}$  per acqua in ingresso) il valore della  $T_{out}$  attraverso la relazione che è in funzione della potenza termica complessiva, tenendo presente che si ha una lunghezza differente rispetto alla prima ipotesi, espressa attraverso la seguente formula :

$$Q^{\circ} = M \cdot CL \cdot (TIN - TOUT)$$

Dove :

- $Q^{\circ}$  = potenza termica complessiva scambiata dal fluido attraverso la superficie cilindrica del tubo (W);
- $Tin$  = temperatura del fluido in ingresso al tubo (K);
- $Tout$  = temperatura del fluido in uscita dal tubo (K);
- $R$  = resistenza termica dello strato cilindrico (K/W);
- $CL$  = calore specifico del fluido, in J/(Kg\*K);

$$M = \rho \cdot v \cdot A$$

- $M$  = portata in massa del fluido all'interno del tubo (Kg/s);
- $\rho$  = densità del fluido;
- $v$  = velocità del fluido all'interno del tubo (m/s);
- $A$  = sezione interna del tubo (m<sup>2</sup>).

Conoscendo la temperatura del fluido in ingresso al tubo ( $Tin$  per acqua in ingresso pari a 291 k), e conoscendo la potenza termica complessiva ( $Q^{\circ}=875.12$  W) è stato possibile andare a definire la temperatura del fluido in uscita al tubo ( $Tout$  per acqua in uscita), definendo prima la velocità, in modo da ricavare la portata in massa di acqua, attraverso la formula in funzione della portata dell'acqua  $Q$ , attraverso la seguente formula :

$$v = \frac{Q}{0.785 \cdot D^2}$$

Dove :

- $Q$  è la portata dell'acqua all'interno della condotta espressa in m<sup>3</sup>/s;
- $D$  è il diametro interno del tubo espresso in m.

Attraverso la seguente formula è stata definita la velocità di un fluido in condotte circolari e non circolari in pressione.

Attraverso il calcolo della velocità  $v$  e della lunghezza della tubazione  $L$  che in questo caso è differente rispetto alla prima ipotesi effettuata, si è potuto ricavare il tempo  $t$  (espresso in secondi) necessario per il riscaldamento del flusso di acqua in transito all'interno della condotta dell'impianto mediante la seguente formula:

$$t = \frac{L}{v}$$

Da qui è stato possibile definire il valore della Tout mediante la seguente formula :

$$T_{out} = T_{in} + \frac{Q^{\circ}}{M * CL}$$

Dove :

- Tout = temperatura del fluido in uscita dal tubo (K);
- Tin = temperatura del fluido in ingresso al tubo (K);
- Q°= potenza termica totale scambiata con il fluido (W);
- M = portata in massa di fluido all'interno del tubo (Kg/s), ricavabile dall'equazione scritta precedentemente;
- CL = calore specifico del fluido in J/(Kg\*K).

### 7.3.5 III Ipotesi

Nella terza ipotesi si è andato a calcolare il tempo impiegato dall'acqua per riscaldarsi all'interno dell'impianto di ThermoCompost fino a raggiungere una temperatura imposta in uscita.

In questa fase di analisi si è ipotizzato un valore di Tout=50°C e si è ricavata la portata in massa applicando la formula inversa:

$$M = \frac{Q^{\circ}}{CL * (T_{IN} - T_{OUT})}$$

Per poi ricavare la velocità dalla formula inversa in funzione della portata in massa M :

$$v = \frac{M}{\rho * A}$$

Inoltre è stato calcolato il tempo dalla seguente relazione :

$$t1 = L/v$$

Si è definito inoltre che per ottenere quella data temperatura T in un certo tempo si è considerato un coefficiente  $\alpha$  cioè un coefficiente correttivo adimensionale pari a 0.85, che è lo stesso utilizzato precedentemente che serve a quantificare la dispersione per irraggiamento, pertanto si è calcolato il tempo attraverso la seguente relazione:

$$t = t1 + t1 * (1 - \alpha)$$

Infine anche in questa ipotesi sono state calcolate le perdite di carico localizzate e quelle continue attraverso le formule sopracitate.

### 7.3.6 Calcolo della Potenza termica assorbita

E' stata inoltre, calcolata la Potenza termica assorbita  $Q^{\circ}_{ass}$ , cioè, l'energia assorbita dall'acqua e sottratta all'impianto di ThermoCompost espressa J/s o in W.

Tale valore è stato calcolato attraverso la seguente formula:

$$Q^{\circ}_{ass} = Q * CL * \rho * \Delta T$$

Dove :

- Q è la portata dell'acqua all'interno della condotta espressa in  $m^3/s$ ;
- CL = calore specifico del fluido in J/(Kg\*K);
- $\rho$  = densità del fluido in Kg/  $m^3$ ;
- $\Delta T$  è il salto termico in K.

## CAPITOLO VIII

### 8 IL CASO STUDIO

L'obiettivo del seguente elaborato è quello di sviluppare l'idea progettuale necessaria a produrre energia biotermica attraverso l'utilizzo di un impianto pilota di ThermoCompost. Tale impianto è da realizzarsi all'interno dell'orto botanico di Bologna situato in Via Irnerio 42.

Tecnicamente un orto botanico rappresenta un ambiente naturale ricreato artificialmente il quale raccoglie e contiene una grande varietà di piante con obiettivi scientifici e per l'educazione dei visitatori.

L'analisi effettuata ha come obiettivo quella di definire un calcolo termodinamico all'interno dell'impianto di ThermoCompost che ci permette di calcolare la trasmissione del calore che si sviluppa all'interno dei tubi dell'impianto stesso.

Come già detto un impianto di ThermoCompost è un semplice impianto idraulico realizzato con tubi in polietilene per l'irrigazione ed una piccola pompa elettrica consentono di estrarre acqua calda per uso sanitario e/o per riscaldamento, di un edificio, serra, piscina.



Figura 33: Impianto di ThermoCompost

I tubi, che a seconda della grandezza dell' impianto possono essere possono essere di misure che vanno dal 16mm al 40 mm vengono posati in molti modi: ad esempio a spirale concentrica o a spirali sovrapposte.

La pompa può essere comandata con un timer, o con dei termostati con sonde di temperatura. In impianti più complessi si possono usare anche delle elettrovalvole.

L'accumulo generalmente viene fatto esternamente, come in un impianto solare, ma abbiamo anche la possibilità di inserirlo internamente con i vari vantaggi di trasmissione del calore e isolamento dall' esterno. Generalmente il fluido che scambia è acqua, ma potrebbe anche essere glicole o altri fluidi .

Nell'analisi Progettuale i calcoli sono stati effettuati attraverso l'utilizzo di un foglio di calcolo elettronico di Microsoft Excel .

### **8.1 Software**

L'analisi numerica è stata effettuata attraverso l'utilizzo di **Microsoft Excel** cioè un programma prodotto da Microsoft, dedicato alla produzione ed alla gestione di fogli elettronici. Vengono di seguito descritte le caratteristiche base del software.

Tale programma permette di effettuare calcoli, elaborare dati e tracciare efficaci rappresentazioni grafiche. Il principio di funzionamento del foglio di calcolo è quello di: fornire una tabella, detta anche foglio di lavoro, formata da celle in cui si possono inserire dati, numeri o formule.

Le formule possono essere definite a mano dall'utilizzatore oppure facendo uso di librerie di funzioni predefinite e rese disponibili all'utente.

La base fondamentale del foglio di calcolo è rappresentata dalle celle le quali, per essere riconoscibili, sono costituite da una lettera e un numero.

Le colonne sono indicate dalle lettere, le righe dai numeri, infatti ad esempio la prima cella in alto a sinistra sarà A1, quella accanto a destra B1, e così via, mentre invece, quelle sotto alla cella A1 saranno A2, A3, A4, e così via.

Per ogni cella può essere scelta una determinata formattazione del testo: carattere, dimensione e colore del carattere, grassetto e/o corsivo, eventualmente sottolineato o ombreggiato, colore ed elementi dello sfondo.

Due o più celle contigue possono essere unite fra loro (per esempio C2, C3, C4) creandone una di dimensione maggiore; in tal caso il riferimento è sempre la prima di

esse. Una cella può contenere un numero o del testo, o eseguire una formula e una funzione utilizzando i valori (o le formule) di altre celle.

Per eseguire una formula o una funzione, la prima cosa da scrivere nella cella è il simbolo "=".

Se vogliamo avere nella cella C1 il risultato della somma dei valori presenti in A1 e B1, cliccheremo su quest'ultima, digiteremo "=" per poi ritornare sulla barra delle formule: A1 + B1 . Appena premuto il tasto "invio", nella casella prestabilita (in questo caso C1) sarà visualizzato automaticamente il risultato.

Se la cella A1 contiene il numero 3, e la cella B1 contiene il numero 2, nella cella C1 apparirà il risultato 5. Se invece nella cella D8 digitiamo la formula "=C1-4", vedremo apparire il risultato 1, cioè il risultato dato dalla differenza dei due valori (5-4).

Successivamente andando a modificare i valori contenuti in A1 e/o B1, nelle celle C1 e D8 appariranno automaticamente i risultati con i nuovi valori.

Per inserire dati o formule in una cella possiamo posizionarci su di essa, cliccare sulla barra delle formule e scrivere il dato o la formula che intendiamo introdurre.

È però anche possibile introdurre dato o formula direttamente digitando nella cella interessata; è ovvio che se si tratta di una formula o funzione sarà necessario iniziare col segno "=".

La formula può essere propagata ad altre righe e/o colonne, trascinando la cella. Per ripetere una formula, bisogna selezionare la cella in basso a destra, premendo il tasto sinistro del mouse, e spostare il simbolo sempre tenendo premuto.

Trascinando la formula, il foglio di calcolo cambia i riferimenti di riga e/o colonna, i riferimenti di una formula sono quindi impostati come riferimenti relativi.

Per bloccare uno o più riferimenti di riga o colonna, ossia per avere un riferimento assoluto, la lettera o il numero che lo indicano nella formula devono essere preceduti dal carattere "dollaro" (il carattere "\$"). Per esempio se nella cella C1 ho scritto la formula =A\$1+B\$1, copiandola o trasportandola in altre celle avrò sempre il risultato A1+B1.

In Excel è possibile costruire diagrammi o grafici statistici di diverso tipo, tra quelli più utilizzati ci sono:

- grafici a torta: cioè un diagramma circolare costruito dividendo un cerchio in spicchi le cui ampiezze angolari sono proporzionali alle classi di frequenza.

- istogrammi: è la rappresentazione grafica di una distribuzione in classi di un carattere continuo, è costituito da rettangoli adiacenti le cui basi sono allineate su un asse orientato e dotato di unità di misura. E' possibile anche inserire sul grafico un secondo asse con unità di misura differente
- ortogrammi: si tratta di una variante dell'istogramma, in cui la frequenza assoluta è posizionata nell'asse delle ascisse, mentre le diverse variabili sono associate all'asse delle ordinate e rappresentate quindi come rettangoli a sviluppo orizzontale.

## CAPITOLO IX

### 9 APPLICAZIONE DELLE IPOTESI PROGETTUALI AL CASO STUDIO

#### 9.1 Ipotesi progettuale

Nell'ipotesi progettuale si è considerata la realizzazione di un impianto di ThermoCompost avente una sezione circolare approssimabile ad un cilindro costituito da un diametro= 3m, raggio=1.5m con temperatura interna all'impianto (Tc) stimata da letteratura in 55° C.

Per il calcolo numerico si è ipotizzato l'utilizzo di un tubo spiralato in polietilene, flessibile, anti-urto, anti- schiacciamento, con superficie interna liscia e con ottima resistenza alle alte temperature.

Nella fase iniziale di analisi è stata calcolata la lunghezza del tubo L attraverso la seguente relazione:

$$L = \pi * N * R$$

Dove:

- N= numero di giri calcolato attraverso la seguente formula:

$$N = \frac{R}{tp} - 1 = \frac{1.5}{0.1} - 1 = 14 ;$$

- R= raggio massimo della spirale nell'impianto pari a 1.5 m;
- tp= passo pari a 0.1 m.

Il tubo ha una lunghezza=65.97 m, diametro interno = 32 mm e diametro esterno = 35 mm. La temperatura di ingresso dell'acqua fornita da valori tabellati è di 18 °C.

Vengono riportati tutti i dati nelle seguenti tabelle:

<b>Dati Tubo</b>			
Lunghezza ( m)	Diametro Interno (mm)	Diametro Esterno (mm)	Numero Giri
65.97	32	35	14

Tabella 5: Dati Tubo in polietilene

<b>Dati Impianto</b>				
Altezza (m)	Diametro (m)	Raggio (m)	Tc ( ° C)	T Ingresso Acqua ( ° C)
2	3	1.5	55	18

Tabella 6: Dati Impianto ThermoCompost

## 9.2 I Ipotesi

Nella prima fase dell'analisi si è calcolato la potenza termica mediante la seguente formula:

$$Q^{\circ} = \frac{(T_c - T_{in})}{R} = 38489.84 \text{ W}$$

dove:

- $T_c$  è la temperatura del cumulo del ThermoCompost in pari a 328 K;
- $T_{in}$  è la temperatura dell'acqua in ingresso all'impianto in K;
- $T_c - T_{in}$  rappresenta la differenza di temperatura espressa in K pari a 37 K;
- $R$  = Resistenza Termica conduttiva tubo cilindrico in K/W;

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2 * \pi * L * k)} = 0.0096 \text{ K/W}$$

Dai risultati ottenuti si ha che

- $R = 0.00096 \text{ K/W}$
- $T_c - T_{in} = 37 \text{ K}$
- $Q^{\circ} = \frac{(T_1 - T_2)}{R} = 38489.84 \text{ W}$

Successivamente si è ricavata dalla variazione di temperatura  $T_{in}$  per acqua ingresso -  $T_{out}$  per acqua in uscita, il valore della  $T_{out}$  per acqua in uscita mediante la relazione che è in funzione della potenza termica complessiva espressa in :

$$Q^{\circ} = M * CL * (T_{IN} - T_{OUT})$$

Dove :

- $Q^{\circ}$  = potenza termica complessiva scambiata dal fluido attraverso la superficie cilindrica del tubo (W) calcolata precedentemente;
- $T_{in}$  = temperatura del fluido in ingresso al tubo pari a 291 (K);
- $T_{out}$  = temperatura del fluido in uscita dal tubo pari a 328 (K);
- $R$  = resistenza termica dello strato cilindrico pari a 0.00096 (K/W);
- $CL$  = calore specifico del fluido, pari a 4186 J/(Kg·K);

Si è poi andata a calcolare la portata in massa mediante la seguente formula :

$$M = \rho \cdot v \cdot A = 1000 * 5.18 * 10^{-1} * 8.04 * 10^{-4} = 0.42 \text{ Kg/s}$$

- $M$  = portata in massa del fluido all'interno del tubo (kg/s);
- $\rho$  = densità del fluido pari a 1000 Kg/  $m^3$  ;

- $v$  = velocità del fluido all'interno del tubo pari a  $5.18 * 10^{-1} \text{ m/s}$  ;
- $A$  = sezione interna del tubo pari a  $8.04 * 10^{-4} \text{ m}^2$ .

Conoscendo la temperatura del fluido in ingresso al tubo ( $T_{in}$  per acqua in ingresso pari a 291 K cioè 18° C), e definendo la potenza termica complessiva ( $Q^\circ$ ) per andare a definire la temperatura del fluido in uscita al tubo ( $T_{out}$  per acqua in uscita) si è definita prima la velocità, attraverso la formula in funzione della portata dell'acqua  $Q$ , attraverso la seguente formula :

$$v = \frac{Q}{0.785 * D^2} = 5.18 * 10^{-1} \text{ m/s}$$

Dove :

- $Q$  è la portata dell'acqua all'interno della condotta pari a  $4.17 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- $D$  è il diametro interno del tubo pari a 0.032 m.

Attraverso la seguente formula si è definita la velocità di un fluido in condotte circolari in pressione.

Attraverso il calcolo della velocità  $v$  e della lunghezza della tubazione  $L$ , si è potuto ricavare il tempo  $t$  (espresso in secondi) necessario per il riscaldamento del flusso di acqua dall'esterno all'interno della condotta dell'impianto mediante la seguente formula:

$$t = \frac{L}{v} = 127.27 \text{ s}$$

Vengono riportati i risultati all'interno della seguente tabella :

<b>v (m/s)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s )</b>	<b>D(m)</b>	<b>L (m)</b>	<b>t (s)</b>
$5.18 * 10^{-1}$	$4.17 * 10^{-4}$	0.032	65.97	127.27

*Tabella 7: Valori numerici*

Da qui è stato possibile definire il valore della  $T_{out}$  per acqua in uscita mediante la seguente formula:

$$T_{out} = T_{in} + \frac{Q^\circ}{M * CL} = 328 + \frac{38489.84}{0.42 * 4186} = 313.05 \text{ K} = 40.05 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dove:

- $T_{out}$  = temperatura del fluido in uscita dal tubo (K);
- $T_{in}$  = temperatura del fluido in ingresso al tubo pari a 291K;
- $Q^\circ$  = potenza termica totale scambiata con il fluido (W);
- $M$  = portata in massa di fluido all'interno del tubo pari a  $0.42 \text{ Kg/s}$  ;

- CL = calore specifico del fluido pari a 4186 in J/(Kg·K);

Successivamente dopo aver calcolato la nostra  $T_{out}$  si è introdotto un coefficiente correttivo  $\alpha = 0.85$  che ha permesso di definire il valore reale di  $T_{out}$  ottenuta considerando il calore che si disperde per irraggiamento verso le zone più esterne della spirale.

$$T_{out} = T_{out} * \alpha = 313.05 * 0.85 = 266.1 \text{ K} = 34.05^\circ\text{C}$$

### 9.2.1 Perdite di carico

Inoltre sono state calcolate le perdite di carico, considerando sia le perdite localizzate che le perdite di carico continue.

Tali perdite sono perdite di pressione, causate dalle resistenze che si oppongono al moto di un fluido. Conoscere il loro valore serve, essenzialmente, a:

- dimensionare i condotti che convogliano i fluidi;
- determinare le caratteristiche degli organi motori (pompe, air-lift, eccetera), cioè dei mezzi che servono a mantenere in movimento i fluidi.

Le perdite di carico possono essere **localizzate** oppure **continue**:

- quelle localizzate si manifestano in corrispondenza di organi meccanici e/o pezzi speciali che fanno variare la direzione o la sezione di passaggio del fluido (come, ad esempio: imbocchi, riduzioni, allargamenti, derivazioni, raccordi, curve, confluenze, valvole, filtri, misuratori, sbocchi, eccetera).
- quelle *continue* si manifestano lungo i tratti lineari dei condotti;

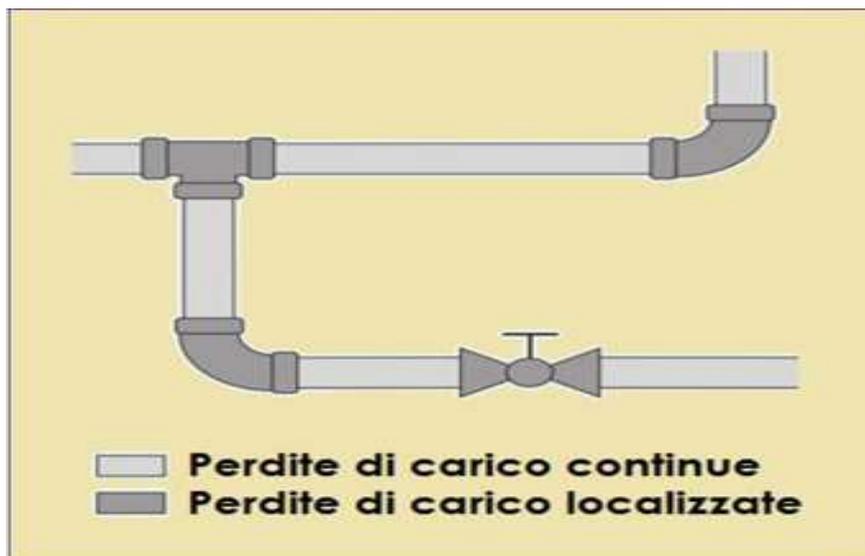


Figura 34: Perdite di carico in un circuito idraulico

### 9.2.2 Perdite di carico localizzate

Per le perdite di carico localizzate si è considerata la sommatoria delle singole perdite di carico, data della seguente formula:

$$hL = \sum kl * \frac{v^2}{2g}$$

- $kl$  è il coefficiente di perdite di carico ;
- $v$  è la velocità del fluido pari a  $5.18 * 10^{-1} \frac{m}{s}$  ;
- $g$  è l'accelerazione gravitazionale pari a  $9.81 \frac{m}{s^2}$  ;

All'interno dell'impianto in base alla disposizione del tubo a spirale sono state calcolate le perdite di carico localizzate all'imbocco, con curvature  $90^\circ$  e allo sbocco.

Il coefficiente di perdite di carico  $kl$  è così definito :

- $kL_{imbocco} = 1$
- $kL_{sbocco} = 1$
- $kL_{90^\circ} = 0.24$

All'imbocco si ha che  $kl$  è il coefficiente di perdite di carico con tubo rientrante a spigolo vivo pari a 1 e le perdite di carico localizzate sono pari a:

$$hL = kL * \frac{v^2}{2g} = 1.37 * 10^{-2} m$$

Nel calcolo delle perdite di carico localizzate si è considerato in base alla geometria della tubazione e del numero di giri  $N=14$  che le perdite di carico localizzate con angolatura di  $90^\circ$  sono state moltiplicate per il numero di giri del tubo a spirale in modo da riuscire a definire le perdite di carico totali in base all'angolatura.

Alle curvature si sono considerate i seguenti valori :

$$hL_{90^\circ} = kL * \frac{v^2}{2g} = 3.29 * 10^{-3} m$$

Allo sbocco si ha che  $kl$  è il coefficiente di perdite di carico con tubo rientrante a spigolo vivo pari a 1 e le perdite di carico localizzate sono pari a:

$$hL = kL * \frac{v^2}{2g} = 1.37 * 10^{-2} m$$

In definitiva le perdite di carico localizzate totali sono date dalla sommatoria di tutte le perdite appena calcolate, pertanto si ha che:

$$hL_{Totale} = \sum kL * \frac{v^2}{2g} = 7.34 * 10^{-2} m$$

Inoltre, vengono riportati i dati riassuntivi all'interno della seguente tabella:

$hL_{Imbocco} (m)$	$hL_{90^\circ} (m)$	$hL_{sbocco} (m)$	$hL_{Totale} (m)$
$1.37 * 10^{-2}$	$4.6 * 10^{-2}$	$1.37 * 10^{-2}$	$6.72 * 10^{-1}$

Tabella 8: Perdite di carico localizzate

### 9.2.3 Perdite di carico continue

Successivamente sono state calcolate le perdite di carico continue attraverso la seguente relazione :

$$r = Fa * \frac{1}{D} * \rho * \frac{v^2}{2}$$

Dove :

- r rappresentano le perdite di carico continue ( m ) ;
- Fa è il fattore di attrito adimensionale ;
- $\rho$  è la densità dell'acqua espressa in  $Kg/ m^3$  pari a  $1000 Kg/ m^3$
- v è la velocità dell'acqua pari a  $5.18 * 10^{-1} \frac{m}{s}$
- D diametro interno tubo 0.0032 (m).

Nell'analisi effettuata per il calcolo del fattore di attrito Fa, si è stabilito il tipo di moto con il quale si muove il fluido e per farlo si è considerato il calcolo del numero di Reynolds attraverso la seguente formula :

$$Re = \frac{\rho * v * D}{u}$$

Dove :

- v è la velocità del fluido pari a  $5.18 * 10^{-1} \frac{m}{s}$
- D diametro interno tubo pari a 0.032 (m);
- $\rho$  è la densità dell'acqua espressa in  $Kg/ m^3$  pari a  $1000 Kg/ m^3$
- u è la viscosità dell'acqua pari a  $1 * 10^{-6} Pa*s$ ;

Dunque :

$$Re = \frac{\rho * v * D}{u} = 1.51 * 10^7$$

Il numero di Reynolds permette di definire se il fluido scorre in moto laminare, transitorio o turbolento:

- $Re < 2000$  moto laminare quando le particelle del fluido hanno traiettorie ordinate e fra loro parallele (il moto è calmo e regolare); ;
- $2000 < Re < 2500$  moto transitorio quando il moto non è chiaramente né laminare, né turbolento. ;
- $Re > 2500$  moto turbolento quando le particelle del fluido si muovono in modo irregolare e variabile nel tempo (il moto è disordinato ed instabile);

Nel nostro caso il numero  $Re > 2500$  pertanto ci ritroviamo nelle condizioni di moto laminare e dunque il fattore di attrito è dato dalla seguente relazione:

$$Fa = 0.316 * Re^{-0.25} = 0.005$$

$$r = Fa * \frac{1}{D} * \rho * \frac{v^2}{2} = 21.29 \text{ m}$$

Inoltre, vengono riportati i dati riassuntivi all'interno della seguente tabella:

<i>N° di Reynolds</i>	<i>Fa</i>	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	<i>D(m)</i>	<i>v(m/s)</i>	<i>r(m)</i>
$1.51 * 10^7$	0.005	1000	0.032	$5.18 * 10^{-1}$	21.29

*Tabella 9: Perdite di carico continue*

In definitiva le perdite di carico totali sono date dalla somma delle perdite di carico continue più le perdite di carico localizzate sono pari a :

$$HL \text{ Totale} = hL \text{ Totale} + r = 6.72 * 10^{-1} + 21.29 = 21.96 \text{ m}$$

### 9.3 II Ipotesi

Nella seconda ipotesi si è andato a calcolare la  $T_{out}$  dell'acqua all'interno dell'impianto di ThermoCompost.

In questa fase di analisi sono state effettuate le stesse ipotesi della prima, ma al contrario si è utilizzata una lunghezza della tubazione più piccola rispetto a quella calcolata precedentemente.

Nella prima ipotesi, se non si considera il coefficiente correttivo, viene di fatto calcolata la quantità di calore che dal ThermoCompost passa all'acqua in circolo nel tubo, nel caso più vantaggioso, ovvero quello di tubazione lineare lunga quanto la spirale in oggetto.

In questa seconda ipotesi si considera il caso teorico meno vantaggioso, ovvero un tubo che attraversa il ThermoCompost orizzontalmente e linearmente fino al centro dell'impianto per poi uscirne.

Le due ipotesi rappresentano i casi teorici estremi. Nell'applicazione reale si utilizza la prima ipotesi, applicando un coefficiente riduttivo; il risultato deve ricadere tra i due casi precedentemente menzionati.

Questa seconda ipotesi quindi, pur non avendo scopo applicativo, ha come obiettivo quello di validare il coefficiente correttivo applicato alla prima ipotesi.

Successivamente si è calcolata la potenza termica ( $Q^\circ$ ) :

$$Q^\circ = \frac{(T_c - T_{in})}{R} = 875.12 \text{ W}$$

dove:

- $T_c$  è la temperatura del cumulo del ThermoCompost pari a 328 K;
- $T_{in}$  è la temperatura dell'acqua in ingresso all'impianto pari a 291K;
- $T_c - T_{in}$  rappresenta la differenza di temperatura espressa in K pari a 37 K;
- $R$ = Resistenza Termica conduttiva tubo cilindrico in K/W;

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2 * \pi * L * k)} = 0.042 \text{ K/W}$$

E' stato dunque possibile ricavare dalla variazione di temperatura ( $T_{in} - T_{out}$ ) il valore della  $T_{out}$  attraverso la relazione che è in funzione della potenza termica complessiva, tenendo presente che si ha una lunghezza differente rispetto alla prima ipotesi, espressa attraverso la seguente formula :

$$Q^\circ = M * CL * (TIN - TOUT)$$

Dove :

- $Q^\circ$  = potenza termica complessiva scambiata dal fluido attraverso la superficie cilindrica del tubo pari a 875.12 (W);
- $Tin$  = temperatura del fluido in ingresso al tubo pari a 291 (K);
- $Tout$  = temperatura del fluido in uscita dal tubo (K);
- $R$  = resistenza termica dello strato cilindrico pari a 0.042 (K/W);
- $CL$  = calore specifico del fluido, pari a 4186 J/(kg·K);

Da qui successivamente si è calcolata la portata in massa mediante la seguente formula:

$$M = \rho \cdot v \cdot A = 1000 * 5.18 * 10^{-1} * 8.04 * 10^{-4} = 0.42 \text{ Kg/s}$$

- $M$  = portata in massa del fluido all'interno del tubo (kg/s);
- $\rho$  = densità del fluido pari a 1000 kg/m<sup>3</sup>;
- $v$  = velocità del fluido all'interno del tubo pari a 5.18 \* 10<sup>-1</sup> m/s ;
- $A$  = sezione interna del tubo 8.04 \* 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>.

Conoscendo la temperatura del fluido in ingresso al tubo ( $Tin$  per acqua in ingresso pari a 291 k), e conoscendo la potenza termica complessiva ( $Q^\circ=875.12$  W) è stato possibile andare a definire la temperatura del fluido in uscita al tubo ( $Tout$  per acqua in uscita), definendo prima la velocità, in modo da ricavare la portata in massa di acqua, attraverso la formula in funzione della portata dell'acqua  $Q$ , attraverso la seguente formula :

$$v = \frac{Q}{0.785 * D^2} = 5.18 * 10^{-1} \text{ m/s}$$

Dove :

- $Q$  è la portata dell'acqua all'interno della condotta espressa in 4.17 \* 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s;
- $D$  è il diametro interno del tubo espresso pari a 0.032 m.

Attraverso la seguente formula è stata definita la velocità di un fluido in condotte circolari e non circolari in pressione.

Attraverso il calcolo della velocità  $v$  e della lunghezza della tubazione  $L$  che in questo caso è differente rispetto alla prima ipotesi effettuata ed è pari a  $L=1.5$  m, si è potuto ricavare il tempo  $t$  (espresso in secondi) necessario per il riscaldamento del flusso di

acqua dall'esterno all'interno della condotta dell'impianto mediante la seguente formula:

$$t = \frac{L}{v} = 2.9 \text{ s}$$

Vengono riportati i risultati all'interno della seguente tabella :

<b>v (m/s)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s )</b>	<b>D(m)</b>	<b>L (m)</b>	<b>t (s)</b>
5.18 * 10 <sup>-1</sup>	4.17 *10 <sup>-4</sup>	0.032	1.5	2.9

*Tabella 10: Valori numerici*

Da qui è stato possibile definire il valore della Tout per acqua in uscita mediante la seguente formula :

$$T_{out} = T_{in} + \frac{Q^{\circ}}{M * CL} = 291.5 \text{ K} = 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Dove :

- Tout = temperatura del fluido in uscita dal tubo K;
- Tin = temperatura del fluido in ingresso al tubo pari a 291 K;
- Q°= potenza termica totale scambiata con il fluido pari a 875.12 W;
- M = portata in massa di fluido all'interno del tubo pari a 0.42 Kg/s ;
- CL = calore specifico del fluido pari a 4186 J/(Kg\*K).

#### 9.4 III Ipotesi

Nella terza ipotesi si è andato a calcolare il tempo impiegato dall'acqua per riscaldarsi all'interno dell'impianto di ThermoCompost.

In questa fase di analisi si è ipotizzato un valore di Tout e si è ricavata la portata in massa applicando la formula inversa:

$$M = \frac{Q^\circ}{CL * (TIN - TOUT)} = 0.25 \text{ Kg/s}$$

Per poi ricavare la velocità dalla formula inversa in funzione della portata in massa M :

$$v = \frac{M}{\rho * A} = 3.09 * 10^{-1} \text{ m/s}$$

Inoltre è stato calcolato il tempo dalla seguente relazione :

$$t = \frac{L}{v} = 213.51 \text{ s}$$

Si è definito inoltre che per ottenere quella data temperatura T= 50°C in un certo tempo si è considerato un coefficiente  $\alpha$  cioè un coefficiente correttivo adimensionale pari a 0.85, pertanto si è calcolato il tempo attraverso la seguente relazione:

$$t = t1 + t1 * (1 - \alpha) = 213.51 + 213.51 * (1 - 0.85) = 245.53 \text{ s}$$

Infine anche in questa ipotesi sono state calcolate le perdite di carico localizzate e quelle continue attraverso le formule sopracitate.

Viene riportata una tabella all'interno della quale vengono inseriti i valori numerici utilizzati nei calcoli:

<b>v (m/s)</b>	<b>L(m)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ΔT (K)</b>	<b>R (K/W)</b>	<b>Q° (W)</b>	<b>Tout (K)</b>
3.09 * 10 <sup>-1</sup>	65.97	8.04 * 10 <sup>-1</sup>	32	0.00096	33288.51	323

Tabella 11: Sintesi dati numerici

Infine anche in questa ipotesi sono state calcolate le perdite di carico localizzate e quelle continue.

#### 9.4.1 Perdite di carico continue

Sono state calcolate le perdite di carico localizzate e quelle continue attraverso la sommatoria delle singole perdite di carico, data della seguente formula:

$$hL = \sum kl * \frac{v^2}{2g}$$

- $kl$  è il coefficiente di perdite di carico ;
- $v$  è la velocità del fluido in  $3.09 * 10^{-1} m/s$  ;
- $g$  è l'accelerazione gravitazionale in  $9.81 \frac{m}{s^2}$  ;

All'interno dell'impianto in base alla disposizione del tubo a spirale sono state calcolate le perdite di carico localizzate all'imbocco, con curvature  $90^\circ$  e allo sbocco.

Il coefficiente di perdite di carico  $kl$  è così definito :

- $kL_{imbocco} = 1$
- $kL_{sbocco} = 1$
- $kL_{90^\circ} = 0.24$

All'imbocco si ha che  $kl$  è il coefficiente di perdite di carico con tubo rientrante a spigolo vivo pari a 1 e le perdite di carico localizzate sono pari a:

$$hL = kL * \frac{v^2}{2g} = 4.87 * 10^{-3} m$$

Nel calcolo delle perdite di carico localizzate si è considerato in base alla geometria della tubazione e del numero di giri  $N=14$  che le perdite di carico localizzate con angolatura di  $90^\circ$  sono state moltiplicate per il numero di giri del tubo a spirale in modo da riuscire a definire le perdite di carico totali in base all'angolatura.

Alle curvature si sono considerate i seguenti valori :

$$hL_{90^\circ} = kL * \frac{v^2}{2g} = 1.64 * 10^{-2} m$$

Allo sbocco si ha che  $kl$  è il coefficiente di perdite di carico con tubo rientrante a spigolo vivo pari a 1 e le perdite di carico localizzate sono pari a:

$$hL = kL * \frac{v^2}{2g} = 4.87 * 10^{-3} m$$

In definitiva le perdite di carico localizzate totali sono date dalla sommatoria di tutte le perdite appena calcolate, pertanto si ha che:

$$hL_{Totale} = \sum kL * \frac{v^2}{2g} = 2.61 * 10^{-2} m$$

Inoltre, vengono riportati i dati riassuntivi all'interno della seguente tabella:

$hL_{Imbocco} (m)$	$hL_{90^\circ} (m)$	$hL_{sbocco} (m)$	$hL_{Totale} (m)$
$4.87 * 10^{-3}$	$1.64 * 10^{-2}$	$4.87 * 10^{-3}$	$2.39 * 10^{-1}$

Tabella 12: Perdite di carico

#### 9.4.2 Perdite di carico continue

Successivamente sono state calcolate le perdite di carico continue attraverso la seguente relazione :

$$r = Fa * \frac{1}{D} * \rho * \frac{v^2}{2}$$

Dove :

- r rappresentano le perdite di carico continue ( m ) ;
- Fa è il fattore di attrito adimensionale ;
- $\rho$  è la densità dell'acqua pari a  $1000 \text{ Kg}/m^3$  ;
- v è la velocità dell'acqua calcolata pari a  $3.09 * 10^{-1} m/s$  ;
- D diametro interno tubo 0.0032 (m).

Nell'analisi effettuata per il calcolo del fattore di attrito Fa, si è stabilito il tipo di moto con il quale si muove il fluido e per farlo si è considerato il calcolo del numero di Reynolds attraverso la seguente formula :

$$Re = \frac{\rho * v * D}{u}$$

Dove :

- v è la velocità dell'acqua (m/s);
- D diametro interno tubo (m);
- $\rho$  è la densità dell'acqua pari a  $1000 \text{ Kg}/m^3$  ;
- u è la viscosità dell'acqua pari a  $1 * 10^{-6} \text{ Pa*s}$ ;

Dunque :

$$Re = \frac{\rho * v * D}{u} = 8.99 * 10^6$$

Il numero di Reynolds permette di definire se il fluido scorre in moto laminare, transitorio o turbolento:

- $Re < 2000$  moto laminare quando le particelle del fluido hanno traiettorie ordinate e fra loro parallele (il moto è calmo e regolare);
- $2000 < Re < 2500$  moto transitorio quando il moto non è chiaramente né laminare, né turbolento ;
- $Re > 2500$  moto turbolento quando le particelle del fluido si muovono in modo irregolare e variabile nel tempo (il moto è disordinato ed instabile).

Nel nostro caso il numero  $Re > 2500$  pertanto ci ritroviamo nelle condizioni di moto laminare e dunque il fattore di attrito è dato dalla seguente relazione:

$$Fa = 0.316 * Re^{-.025} = 0.018$$

$$r = Fa * \frac{1}{D} * \rho * \frac{v^2}{2} = 8.88 \text{ m}$$

Inoltre, vengono riportati i dati riassuntivi all'interno della seguente tabella:

<i>N° di Reynolds</i>	<i>Fa</i>	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	<i>D(m)</i>	<i>v(m/s)</i>	<i>r(m)</i>
$8.99 * 10^6$	0.018	1000	0.032	$3.09 * 10^{-1}$	8.88

*Tabella 13: Perdite di carico continue*

In definitiva le perdite di carico totali sono date dalla somma delle perdite di carico continue più le perdite di carico localizzate sono pari a :

$$HL \text{ Totale} = hL \text{ Totale} + r = 2.39 * 10^{-1} + 8.88 = 9.12 \text{ m}$$

## 9.5 Pompe idrauliche

Il ThermoCompost è un impianto che genera energia biotermica a partire dal riciclaggio e compostaggio dei sottoprodotti agricoli e forestali.

Tale impianto è un sistema ecologico ed economico per il recupero di calore dal compostaggio di rami e ramaglie di frutteti, giardini, parchi, boschi il quale, che produce un ottimo ammendante.

L'impianto di ThermoCompost è un semplice impianto idraulico realizzato con tubi in polietilene per l'irrigazione disposti a spirale all'interno del cumulo di cippato di legno e con una piccola pompa elettrica che consente di estrarre acqua calda per uso sanitario e/o per riscaldamento, di un edificio, serra, piscina etc.

Nella ricognizione effettuata vengono prese in considerazione delle pompe idrauliche che hanno una prevalenza maggiore rispetto alle perdite di carico che si sono generate, per stimare l'ordine di grandezza dell'impatto economico che possono generare. Di seguito vengono illustrate le migliori soluzioni individuate:

- L'elettropompa autoadescante acqua chiare VALEX JET PJ-INOX 800 è una pompa elettrica formata da un corpo pompa in acciaio inossidabile, albero cromato, tappo per riempimento/ svuotamento acqua, con una potenza di 800 W, con Prevalenza massima di 40 m, portata di 60 l/min e con Temperatura massima che varia tra i 35 e i 40 ° C. Il prezzo di tale pompa è di 90 €.



Figura 35: Pompa idraulica JET PJ-INOX 800

- La pompa Einhell GC-DW 900 N è una pompa elettrica a pressione sommersa con potenza di 900 W, che ha una portata massima di 100 l/ min, con una

prevalenza massima di 32 m, profondità immersione massima di 8 m e Temperatura acqua massima di 35 °C. Il prezzo di tale pompa è di 150 €.



Figura 36: Pompa idraulica Einhell GC-DW 900 N

- Le pompe sommerse Pedrollo della serie 4SR hanno una portata che varia dai 5 ai 30 l/min con prevalenza che varia a dai 26 ai 266 metri.

Possono essere utilizzate per uso domestico, civile ed industriale , per la distribuzione dell'acqua in accoppiamento con autoclavi, per irrigazione, per impianti di lavaggio , per l'innalzamento di pressione o per antincendio. Hanno una potenza di 1.5 kW ed un prezzo di 270 €.



Figura 37: Pompa idraulica Pedrollo della serie 4SR

## 9.6 Calcolo della Potenza termica assorbita

È stata inoltre, calcolata la Potenza termica assorbita  $Q^{\circ}_{ass}$ , cioè, l'energia assorbita dall'acqua proveniente dall'acquedotto in circolazione nel tubo e sottratta al cumulo di ThermoCompost.

Tale valore è stato calcolato attraverso la seguente formula:

$$Q^{\circ}_{ass} = Q * CL * \rho * \Delta T = 4.17 * 10^{-4} * 4186 * 1000 * 22 = 38374.74 W$$

Dove :

- $Q$  è la portata dell'acqua all'interno della condotta espressa in  $m^3/s$ ;
- $CL$  = calore specifico del fluido in  $J/(Kg \cdot K)$ ;
- $\rho$  = densità del fluido pari a  $1000 Kg/m^3$ ;
- $\Delta T$  è il salto termico in  $K$ .

Vengono riportati i dati all'interno della seguente tabella:

$Q (m^3/s)$	$CL J/(Kg \cdot K)$	$T_{out} (K)$	$T_{H2O} (K)$	$\Delta T (K)$	$Q^{\circ}_{ass} (W)$
$4.17 \cdot 10^{-4}$	$3.09 \cdot 10^{-1}$	313	291	22	38374.74

Tabella 14 : Potenza termica assorbita

## 9.7 Potenza termica generata dall'impianto di ThermoCompost

Vista la scarsità di dati attendibili trovati in letteratura, non è possibile pervenire ad un dato univoco relativo alla potenza termica generata dall'impianto di compostaggio.

Tuttavia, tutti i resoconti di esperienza simili trovati sul web asseriscono che l'impianto di ThermoCompost è in grado di soddisfare in continuo la domanda di acqua calda sanitaria per un fabbricato adibito ad uso abitativo, garantendo un'efficienza di funzionamento che varia dai 12 ai 18 mesi in base al compostaggio del materiale agricolo e forestali utilizzato.

## 9.8 Possibili utilizzi dell'impianto

L'acqua calda in uscita dall'impianto raggiunge una temperatura sufficiente per essere utilizzata in diversi modi, di seguito elencati senza pretese di precisione progettuale, ma per fornire un'idea degli ordini di grandezza raggiungibili dalle performance del ThermoCompost.

### 9.8.1 Scambiatore termico

L'impianto può essere associato a uno scambiatore termico cioè un'apparecchiatura nella quale avviene lo scambio di energia termica tra due fluidi in ciclo chiuso aventi temperature differenti.

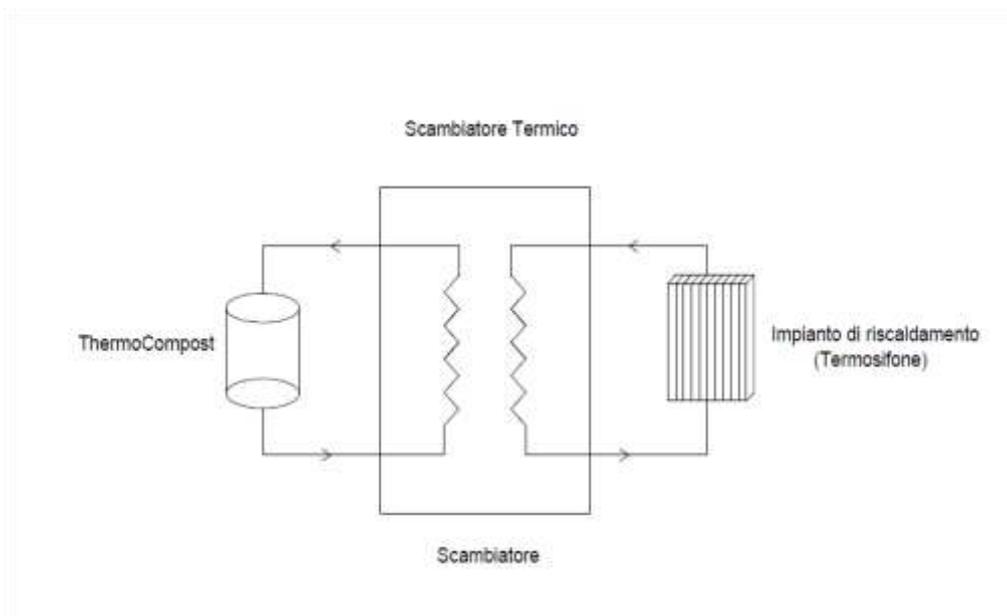


Figura 38: Schema di Funzionamento Scambiatore Termico

Tale sistema potrebbe essere efficace, previa verifica termotecnica, in presenza di un sistema di coibentazione efficiente.

Si deve tener presente che all'interno del ThermoCompost nel primo ciclo la temperatura dell'acqua in ingresso è di  $T_{in}=18^{\circ}\text{C}$ , con una potenza termica assorbita  $Q^{\circ}_{ass} = 38,37 \text{ kW}$ .

Successivamente nell'impianto giunto a regime la temperatura dell'acqua in uscita dallo scambiatore termico e nuovamente in ingresso al ThermoCompost è ad una temperatura superiore ai  $18^{\circ}\text{C}$  iniziali, riducendo così il salto termico e conseguentemente la potenza termica assorbita dall'acqua in ricircolo e sottratta al cumulo di legna, rendendo più efficiente il sistema.

## 9.8.2 Pompa di calore

L'impianto può anche essere collegato ad una pompa di calore cioè una macchina termica in grado di trasferire energia termica da una sorgente a temperatura più bassa a una sorgente a temperatura più alta, utilizzando una quota di energia elettrica. La pompa di calore è utilizzata per il riscaldamento, raffrescamento e per la produzione di acqua calda sanitaria nelle abitazioni.

Anche in questo caso il ThermoCompost presenterebbe un circuito chiuso dell'acqua, che entra nella pompa di calore, dove cede energia per poi uscirne di poco raffreddato (circa 5-10°C).

Dallo studio di diversi manuali di funzionamento di pompe di calore presenti sul mercato, si evince che con una temperatura di ingresso dell'acqua proveniente dal ThermoCompost tra i 30 e i 35°C, si può ottenere in uscita dal circuito della pompa di calore acqua ad una temperatura che varia tra i 50 e i 60°C, sufficiente al riscaldamento domestico.

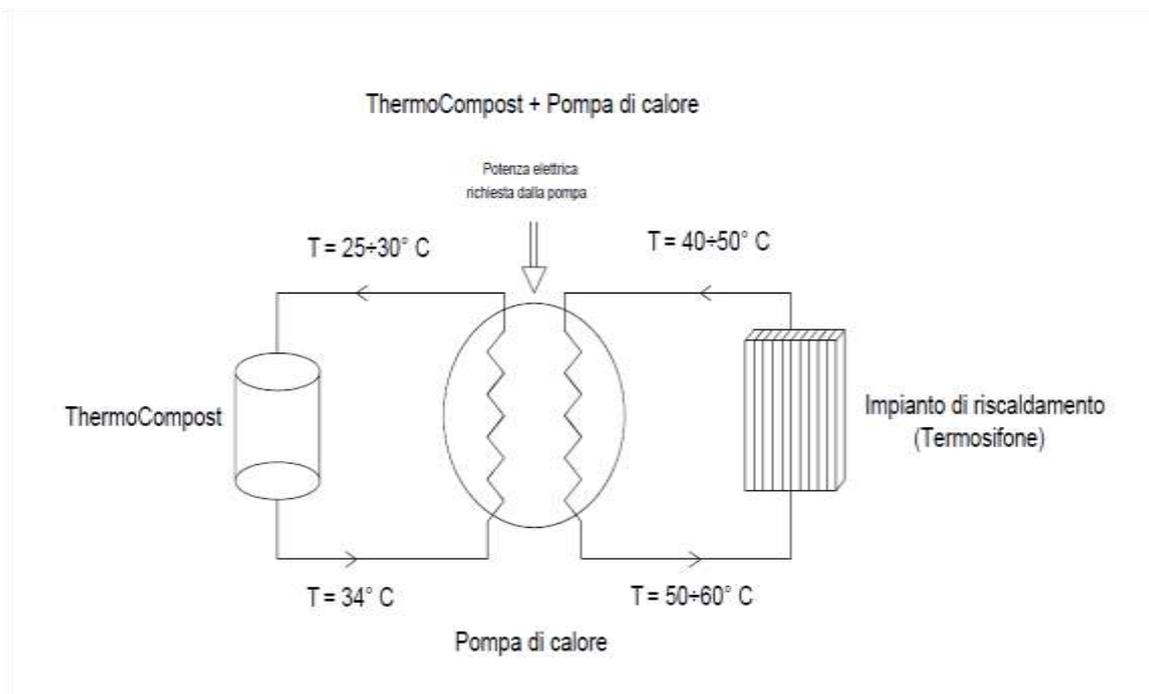


Figura 39: : Schema di Funzionamento Impianto di ThermoCompost più Pompa di Calore

Il vantaggio essenziale di applicare una pompa di calore ad un impianto di ThermoCompost è rappresentato dal minore salto termico da applicare al fluido di riscaldamento dell'edificio grazie alla elevata temperatura dell'acqua in uscita dal

ThermoCompost, permettendo di ridurre notevolmente l'utilizzo di energia elettrica necessaria al riscaldamento e garantendo così una maggiore efficienza.

Anche in questo caso si deve tener presente che nel primo ciclo la temperatura dell'acqua in ingresso all'impianto di ThermoCompost è di  $T_{in}=18^{\circ}\text{C}$ , con una potenza termica assorbita  $Q^{\circ}_{ass} = 38,37 \text{ kW}$ , mentre successivamente l'impianto, arrivato a regime, riceve in uscita dalla pompa di calore acqua ad una temperatura di circa  $25-30^{\circ}\text{C}$ : in questo caso quindi il salto termico sarà minore, pertanto la potenza termica assorbita risulterà inferiore rispetto al caso precedente fino a valori pari a  $Q^{\circ}_{ass} = 6,98 \text{ kW}$ .

In definitiva la potenza termica introdotta nell'edificio sarà pari alla somma della potenza termica fornita dall'impianto di ThermoCompost e della potenza elettrica assorbita dalla pompa di calore.

## CONCLUSIONI

Oggi si avverte l'importanza e la necessità di una rivoluzione tecnologica che sviluppi e affermi definitivamente l'utilizzo e la produzione di energia da impianti rinnovabili.

Il presente studio nasce con l'obiettivo di studiare l'efficacia di un impianto di ThermoCompost per la produzione di acqua calda da utilizzare come vettore termico ai fini del riscaldamento di un fabbricato di piccole dimensioni.

I benefici ambientali ottenibili dall'adozione di un impianto di ThermoCompost sono molteplici, non soltanto legati all'autoproduzione di energia biotermica e al riscaldamento di acqua sanitaria, edifici e serre, ma anche connessi al recupero dei sottoprodotti della filiera agricola e forestale con la riduzione dei rifiuti e dei costi di gestione ad essi connessi e al miglioramento della qualità del suolo per una migliore crescita delle colture grazie all'utilizzo del compost risultante al termine del processo di compostaggio.

Mediamente la vita utile di un impianto di ThermoCompost varia dai 12 ai 18 mesi, nella produzione utilizzabile di energia biotermica.

Nel caso in esame l'analisi progettuale preliminare si è basata su alcuni scenari ipotetici, nei quali, con l'obiettivo di produrre energia biotermica, si è considerato un cumulo di cippato di legno di dimensioni standard di altezza di 2 metri e di larghezza di 3 metri all'interno del quale è inserito un tubo a spirale in polietilene.

L'acqua proveniente dall'acquedotto che scorre all'interno della spirale di tubo, sottrae parte del calore che naturalmente viene prodotto dal cumulo per effetto della biodegradazione aerobica del cippato di legno, uscendone così ad una temperatura più elevata.

L'obiettivo del presente elaborato era quello di stimare, sotto diverse ipotesi, se la temperatura raggiunta dall'acqua circolante nella spirale di tubo potesse essere sufficiente per essere impiegata in un sistema di riscaldamento di un fabbricato, una volta che il processo di compostaggio fosse diventato stazionario, con temperatura interna di circa 55°C.

Lo studio è stato condotto per via teorica applicando le leggi della termodinamica e della trasmissione del calore per arrivare ad un primo dimensionamento di massima del sistema.

Le simulazioni effettuate hanno mostrato che la connessione della spirale di tubo alle derivazioni dell'acquedotto pubblico, senza applicare ulteriori restringimenti di sezione o rallentamenti del flusso, portano ad avere in uscita una temperatura dell'acqua intorno a 34°C, dopo un tempo di 127 secondi, con una portata di 2.5 L/min.

Si è poi proceduto con l'ipotesi di aumentare il tempo di permanenza dell'acqua all'interno dell'impianto, stimando di poter arrivare a raggiungere temperature in uscita pari a 50°C dopo 246 secondi, con una portata di 2.5 L/min .

Inoltre, si è calcolata la potenza termica assorbita dal flusso di acqua, cioè, l'energia assorbita dal sistema e sottratta al cumulo di ThermoCompost pari a 38.37 kW con un tempo di funzionamento che varia dai 12 ai 18 mesi in base al compostaggio del materiale agricolo e forestale utilizzato.

Si sono definite due applicazioni per il funzionamento dell'impianto di ThermoCompost quali lo scambiatore termico e la pompa di calore; in entrambi i casi si è considerato un circuito chiuso dove scorre l'acqua proveniente dal ThermoCompost che cede calore ad un secondo fluido in circuito chiuso che provvede al riscaldamento del fabbricato.

Nel caso dello scambiatore termico, il sistema potrebbe essere efficace, previa verifica termotecnica, in presenza di un sistema di coibentazione efficace.

Considerando che all'interno del ThermoCompost nel primo ciclo la temperatura dell'acqua in ingresso dall'acquedotto è di  $T_{in}=18^{\circ}\text{C}$ , con una potenza termica assorbita  $Q^{\circ}_{ass} = 38,37 \text{ kW}$ , ma che successivamente nell'impianto arrivato a regime, la temperatura dell'acqua in uscita dallo scambiatore termico che entra nuovamente nel cumulo è ad una temperatura superiore a 18°C, si riduce il salto termico e conseguentemente la potenza termica assorbita dall'acqua in ricircolo e sottratta al cumulo di legna, rendendo così più efficiente il sistema.

Nel caso di una pompa di calore attraverso lo studio di diversi manuali di funzionamento di pompe di calore presenti sul mercato, si deduce che con una temperatura di ingresso dell'acqua proveniente dal ThermoCompost tra i 30 e i 35°C, si può ottenere in uscita dal circuito della pompa di calore acqua ad una temperatura che varia tra i 50e i 60°C, sufficiente al riscaldamento domestico.

Il vantaggio essenziale di applicare una pompa di calore ad un impianto di ThermoCompost è rappresentato dal minore salto termico da applicare al fluido di riscaldamento dell'edificio grazie alla elevata temperatura dell'acqua in uscita dal

ThermoCompost, permettendo così di ridurre notevolmente l'utilizzo di energia elettrica necessaria al riscaldamento e garantendo una maggiore efficienza.

Per completare lo studio impiantistico, si sono valutate anche le perdite di carico localizzate e continue lungo l'impianto, arrivando così a identificare alcuni tipi di pompe idrauliche, che con un costo contenuto, possono sopperire a tali perdite.

L'analisi progettuale preliminare presentata dovrà poi essere applicata ad un caso reale, così da poter meglio affinare le stime e i calcoli qui condotti per giungere ad una definizione empirica dell'effettivo vantaggio generato da un impianto di ThermoCompost.

## **RINGRAZIAMENTI**

Voglio dedicare questo splendido traguardo alla mia famiglia.

Voglio ringraziare i miei genitori per avermi dato la possibilità di poter scegliere liberamente il percorso formativo che ho sempre desiderato di intraprendere.

Se oggi sono qui, è anche grazie a voi, che avete reso possibile questo mio grande risultato, voi che con forza, amore, sostegno ed entusiasmo mi avete insegnato i veri valori della vita.

Voi che mi avete insegnato a non accontentarmi mai ma di andare sempre alla ricerca del meglio per me stesso. Vi ringrazio con tutto il mio cuore per esserci sempre.

Ringrazio le mie sorelle Caterina, Brunella, Vincenza e i miei fratelli Giuseppe, Massimo, Luca, nei quali ho sempre ritrovato un punto di riferimento e l'affetto di cui ho sempre avuto bisogno, credo che il nostro legame sia davvero indissolubile.

Alla mia amata nonna Angelina che anche da lassù mi è sempre stata vicino.

Alle mie splendide nipotine Beatrice e Giulia.

Ai miei cognati Raffaele e Luigi che con sincerità ed affetto sono sempre stati al mio fianco durante tutto il mio percorso universitario.

A tutti i miei cognati e alle mie cognate.

Voglio inoltre dedicare a me stesso questo splendido traguardo appena raggiunto.

Tutto questo è stato reso possibile grazie alla mia caparbia, alla mia voglia continua di migliorare e di cercare sempre il meglio, è sicuramente grazie alla mia tenacia e alla voglia di non mollare mai che oggi posso dire di avercela fatta.

In maniera particolare, voglio ringraziare e dedicare questo splendido giorno al mio Amore Eleonora che durante tutti questi anni mi è sempre stata vicino, dandomi sempre la tranquillità di cui avevo bisogno.

Lei per me è una ragazza speciale con la quale ho sempre condiviso tutto e con la quale mi sento sempre amato e rispettato, e più trascorrono gli anni e più il mio amore immenso aumenta nei suoi confronti .

E anche grazie al suo amore quotidiano, alla sua sincerità e a quel senso di serenità che mi dà continuamente che sono riuscito a raggiungere questo splendido traguardo.

Ringrazio Enrico e Federica due persone sempre sincere ed oneste che hanno sempre creduto in me.

Ringrazio tutti i miei colleghi ed amici che con lealtà e sincerità mi hanno accompagnato in questo splendido percorso di vita.

Ringrazio la mia Prof.ssa Ing. Alessandra Bonoli, mia relatrice di tesi, la quale con grande professionalità, disponibilità e competenza mi ha indirizzato nel percorso formativo più idoneo per la realizzazione del seguente elaborato di tesi.

Ringrazio inoltre l'Ing. Francesco Lalli, mio correlatore di tesi, per essere stato sempre disponibile nei miei confronti, il quale grazie alla sua grande professionalità, pazienza e dedizione ha contribuito affinché riuscissi a portare a termine il mio lavoro di tesi.

## **BIBLIOGRAFIA**

ARPAE , Rifiuti in Emilia-Romagna, ancora in aumento la raccolta differenziata , Ed. 2015

Baxi, Manuale di installazione ed uso Pompe di calore, 2016

Bejan A., Advanced engineering thermodynamics, 1998

Brochure F., Manuale Tecnico Biotrituratori, 2016

Citrini D., G. Nosedà Idraulica, CEA Milano

Compagnoni L., Manuale di lombricoltura. Il compostaggio domestico dei rifiuti organici in humus, Dicembre 2012

Consorzio Italiano Compostatori ,Biowaste : i dati del settore del ricircolo del rifiuto organico,2017

Dix, Webster, Fungal ecology , 1995

ENEA, Le tecnologie delle fonti rinnovabili di energia, 2012

Fortini D. e Ramazzin N. , La raccolta differenziata, 2015

Giunti D., Guida al Compostaggio e alla concimazione organica, Gennaio 2005

Innova Renewing Energies, eHPoca 3 in 1 Manuale Tecnico Pompa di calore, 2017

INAIL , Biotecnologie per lo sviluppo sostenibile, Edizione 2014

ISPRA , Rapporti rifiuti urbani Ed.2016

ISPRA , Rapporti rifiuti urbani Ed.2017

ISTAT, Waste\_statistics\_Documento, 2015

ISTAT, Italia in Cifre, 2016

ISTAT, Il benessere equo e sostenibile in Italia, 2016

Ipsos , Manuale Ambiente 2017, Anno 2017

Lugaresi N., Diritto dell'ambiente, CEDAM, Anno 2015

Jenz, Energy generation from biomasses , 2017

Jenz, Wood Chippers production guide n °7 , 2017

Martin L. , Martin P. , Prédine E., Fare il Compost : Trasformare gli scarti della cucina e dell'orto in ottimo concime. I segreti del lombricompostaggio e del compost sul balcone di , Terra nuova edizione, 2013

Norme in materia ambientale, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006

Orsi A., Problemi di Idraulica e Meccanica dei Fluidi CEA Milano

Pacetti A., Catalogo Scambiatori Termici, 2013

Rodonò G., R. Volpes, Termodinamica e trasmissione del calore, Dario Flaccovio, Palermo.

Y. A. Çengel -Termodinamica e trasmissione del calore edizione italiana a cura di Ettore Cirillo, McGraw-Hill Libri Italia srl, 1998

Zanotti A.L, Mossetti U., Guida all'Orto Botanico di Bologna. Grafis, 2008

## SITOGRAFIA

<https://www.istat.it/it>

<https://www.istat.it/it/archivio/rifiuti>

[http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCV\\_INDRIFURB](http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCV_INDRIFURB)

<https://www.eea.europa.eu/it/themes/waste>

<https://www.arpae.it/>

<http://www.isprambiente.gov.it/it>

<http://www.minambiente.it/>

<http://www.enea.it/>

<http://www.anci.it/>

<http://www.anci.emilia-romagna.it/Novita/Rifiuti-urbani-regolamento-vigilanza-e-sanzioni>

<https://www.tempodivivere.it/autocostruzione-ed-energie-rinnovabili/>

<http://www.thermocompost.it/>

<https://armoniadellanatura.com/2016/08/04/vulcan-t60-il-thermocompost-in-open-source/>

<http://www.agrinova-italia.it/thermocompost-cippato-energia-biotrituratori-cippatori/>

<https://www.compost.it/>

<https://www.compost.it/il-marchio-di-qualita.html>

<http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/06152dl3.htm>

<http://www.demi.it/news-riferimenti-normative/leggi/1/Direttiva-UNI-EN-13432--2002>

<http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/10075dl.htm>

<http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/10205dl.htm>

<http://www.normattiva.it/static/gazzetta.html>

<https://www.mondomacchina.it/it/biotrituratori>

<http://www.fbc-agriculture.com/>

<http://www.ortobotanicoitalia.it/emilia-romagna/bologna/>

<http://www.gruppohera.it/>