



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di agronomia animali alimenti risorse naturali e ambiente

Corso di laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Potenzialità e problematiche legate all'utilizzo  
agronomico dei fanghi prodotti in un impianto di  
biogas

Relatore

Prof. Malagoli Mario

Correlatore

Dott. Vidoni Antonella

Laureanda: Lena Mattuzzi

Matricola n. 1035482

ANNO ACCADEMICO 2012 - 2013

## INDICE

<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>4</b>
<b>RIASSUNTO .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>8</b>
1.1. Il biogas .....	11
1.1.1. Descrizione di un impianto di biogas.....	12
1.1.2. Descrizione del processo di digestione anaerobica.....	12
1.1.3. La situazione in Alto Adige .....	17
1.2. Descrizione dell'impianto di biogas di Lana.....	18
1.2.1. Le fasi del processo .....	19
1.2.2. Il digestato .....	27
1.3. L'uso del digestato.....	27
1.4. Normative vigenti .....	29
1.5. Prospettive di utilizzo del digestato.....	34
<b>2. SCOPO DELLA TESI .....</b>	<b>35</b>
<b>3. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>36</b>
3.1. Prove sperimentali .....	36
3.1.1. Impiego e uso del digestato .....	36
3.1.2. Analisi del digestato .....	37
3.1.3. Analisi del peso fresco e del peso secco della pianta di Zea Mays..	40
3.1.4. Analisi del contenuto in pigmenti fotosintetici .....	41

<b>4. RISULTATI .....</b>	<b>43</b>
4.1. Analisi del digestato .....	43
4.2. Crescita delle piante di Zea mays .....	45
4.3. Contenuto di clorofilla a, clorofilla b e carotenoidi .....	54
4.4. Analisi del digestato .....	56
<b>5. CONCLUSIONI.....</b>	<b>59</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>60</b>
1.1. Leggi .....	63
1.2. Abbreviazioni .....	65
<b>7. ALLEGATO.....</b>	<b>66</b>

## **RINGRAZIAMENTI**

La mia scrivania, compagna dell'ultimo periodo della mia carriera universitaria, ancora non mi rendo conto di essere arrivata alla fine. Ripercorrendo la mia strada non posso fare a meno di ricordare tutti coloro che mi hanno sorretto e aiutato. Non è facile citare e ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla nascita e allo sviluppo di questa tesi. Ci sono alcuni che mi hanno accompagnato con una collaborazione costante, con il loro supporto morale o materiale, con suggerimenti e consigli ricevuti da persone esperte.

Per questo, giunta al termine di questo lavoro, desidero esprimere la mia riconoscenza nei confronti di tutte le persone che in modi diversi mi sono state vicine e che mi hanno incoraggiato nei miei studi.

Un enorme e infinto grazie di cuore va alla mia famiglia, i miei genitori Giorgio e Nesti e mia sorella Valentine, che mi hanno accompagnato per tutta la vita e che mi hanno aiutato a scegliere la strada giusta. A mio padre e mia madre che mi hanno permesso di raggiungere questo grande traguardo e soprattutto che mi hanno sopportato e dato fiducia nella mia scelta. Ciò che sono adesso lo devo solo a loro e gliene sarò sempre grata.

Un ringraziamento enorme al mio fidanzato Christian, per essere un punto di riferimento speciale e insostituibile e per avermi sempre trasmesso ottimismo lungo il mio percorso di studi e di vita.

Da non dimenticare i miei nonni e i miei animali, che mi hanno sempre ascoltata e mi hanno regalato un sorriso quando ero triste, Jodie e Unda i miei cavalli che mi hanno regalato un assaggio di libertà ogni volta che ne avevo bisogno, Micki e Weko, il mio gatto e il mio cane con i quali ho fatto chiacchierate lunghissime.

Inoltre vorrei ringraziare il professore Mario Malagoli e la dottoressa Antonella Vidoni, che mi hanno sostenuta e aiutata a realizzare questa tesi, il direttore Dr. Martino Sacchin e i collaboratori dell'EcoCenter.

Ringrazio inoltre i docenti del corso di laurea magistrale Scienze e Tecnologie Agrarie dell'Università degli Studi di Padova per gli insegnamenti, non solo accademici, tratti dalle loro lezioni negli impegnativi e formativi anni di vita universitaria.

Mi sembra opportuno ringraziare inoltre anche tutti i miei compagni "agronomici" di questi due anni, Matthias, Catia, Filippo e Luca, che mi hanno sempre spiegato ciò che non capivo bene e che sono stati sempre molto pazienti.

Un grazie di cuore va ad Alberto Mariani, che con la sua pazienza mi ha aiutato a tradurre e comprendere molte cose dal tedesco all'italiano.

Avrò sicuramente dimenticato qualcuno, quindi rivolgo un grazie generale a chi mi ha fatto ridere, a chi mi ha regalato le più belle emozioni facendomi vivere intensamente ogni attimo della vita.

Un ultimo grazie, a tutti coloro che hanno creduto in me fin da piccola.

## RIASSUNTO

Questa tesi affronta lo studio dei fanghi prodotti da un impianto di biogas a digestione anaerobica.

Negli ultimi anni la minaccia del cambiamento climatico ha assunto un ruolo di primo grado nel dibattito che ruota intorno alla questione energetica. È stata evidenziata la necessità di una rivoluzione energetica a basso contenuto di carbonio al fine di combattere il mutamento del clima.

Le fonti rinnovabili, come per esempio il vento e il sole, sono ormai ben conosciute, ma esiste un'altra fonte meno nota, la biomassa.

Tra le tecniche per ottenere energia tramite biomassa esiste quella della digestione anaerobica. Il prodotto della digestione (biogas) è diventato una delle energie rinnovabili più importanti. I fanghi prodotti giornalmente dagli impianti di biogas vengono trasportati altrove o compostati direttamente nell'impianto. Il fango, anche quando non compostato, ha caratteristiche tali da poter essere utilizzato come fertilizzante agronomico.

In Alto Adige il numero degli impianti che producono biogas dalla biomassa del letame o della frazione umida dei rifiuti solidi urbani aumenta di pari passo con la crescita della popolazione.

Nello svolgimento di questo lavoro è stata valutata la possibilità di utilizzo del fango derivante dalla digestione anaerobica dalla frazione organica dei rifiuti urbani, come fertilizzante agronomico.

L'impianto di fermentazione di Lana fornisce l'esempio pratico di un impianto di biogas alimentato con umido organico. Il processo produce annualmente 1.181 tonnellate di fango che viene trasportato in un centro di compostaggio. Con l'obiettivo di un utilizzo alternativo del digestato, si sono svolte prove di crescita di mais su vasi contenenti diverse composizioni di terreno e fango. Il digestato è stato analizzato per verificare il contenuto in nutrienti e l'eventuale nocività (carica batterica). Le piante di mais cresciute in substrati con percentuali di 30% e 50% di fango ha mostrato un alto contenuto di clorofilla a e b e una maggiore biomassa rispetto al mais coltivato in sola terra.

## **ABSTRACT**

This thesis is about the study of mud produced by an anaerobic digestion biogas plant- during the process of fermentation.

In the past few years the hazard of climate change has obtained a primary role in the discussion about energy. It has drawn attention to the necessity of an energetic revolution with a low content of carbonic acid with the aim of tackling climate change.

Renewable energy, gained for example from wind and sun, is well known, there is another not so well known factor to produce renewable energy, the biomass.

There are different techniques to produce energy with biomass such as the anaerobic digestion. The product of this anaerobic digestion (biogas) has obtained a really important role in the renewable energy sector. The mud produced every day in a biogas plant has to be transported somewhere or disposed directly in the factory. It is very important and also if not disposed it has characteristics to be used as agronomic fertilizer.

In South Tyrol the number of plants producing biogas from manure or from organic waste increases in equal measure with the increase of the population.

In this work it has been taken into consideration the possibility of the usage of the mud derived from anaerobic digestion of the organic fraction of urban waste as agronomic fertilizer.

The fermentation plant situated in Lana gives practical example of a biogas factory powered with organic waste.

This process produces annually 1,181 tons of digestate which has to be transported to a compost center. With the ambition to an alternative use of this digestate we have grown corn plants in plastic pots with different compositions of soil and mud. The digestate has been analysed to verify the content of nutrients and the possible harmfulness (microorganisms composition).

The corn plants grown in soil added with a percentage of 30% and 50% of mud showed increased biomass and a high content of total chlorophyll in contrast to plants grown in control soil.

## 1. INTRODUZIONE

L'uomo produce rifiuti ogni giorno ed ogni giorno la quantità è diversa. Anche la composizione dei rifiuti, così come la massa, variano di giorno in giorno. La grande massa dei rifiuti prodotta è ormai una sfida enorme per le regioni di ogni paese.

Il fatto è che, se i rifiuti non sono opportunamente gestiti possono determinare danni all'ambiente, all'uomo e agli animali. I vari rifiuti possono essere trasportati in discariche, impianti di smaltimento, impianti di recupero, impianti di incenerimento, dove vengono smaltiti o bruciati o riutilizzati per la produzione di energia rinnovabile. Gli esperti cercano di trovare soluzioni per ridurre la quantità e soluzioni alternative alla discarica o all'incenerimento dei rifiuti.

Con la possibilità di produrre biogas, l'uomo ha iniziato a utilizzare rifiuti per un'energia rinnovabile. Questa riduce la domanda di energia e garantisce una migliore tutela ambientale (Bozano Gandolfi, 2010).

Ho deciso perciò in questo mio lavoro, di prendere in considerazione la produzione di biogas da rifiuti organici e la produzione di un refluo ricco di nutrienti per l'eventuale produzione di fertilizzante, andando così a trattare un argomento molto discusso nell'ambito dei reflui.

Nella prima parte di questo lavoro viene fornita una descrizione perlopiù teorica della produzione di biogas e vengono illustrati gli studi fatti su digestati nell'ambito dei rifiuti organici umani. Nella seconda parte viene descritto l'impianto di Lana come esempio di un impianto di biogas alimentato da rifiuti organici urbani, che produce fanghi potenzialmente utilizzabili come fertilizzante organico. L'impianto descritto in questa seconda parte raccoglie rifiuti organici differenziati dai cittadini e trasportati tramite automezzi a Lana. Qui vengono prodotti energia elettrica e calore. Viene descritto inoltre il processo che si conclude con la disidratazione del materiale fino a diventare fango. Questo fango è stato infine analizzato per trovare un possibile utilizzo come fertilizzante agronomico. Scopo delle analisi del digestato è di vedere l'eventuale nocività per l'ambiente, gli animali o l'uomo e valutarne il valore agronomico.

L'obiettivo di questa tesi è dimostrare quindi un possibile utilizzo del digestato come ammendante.

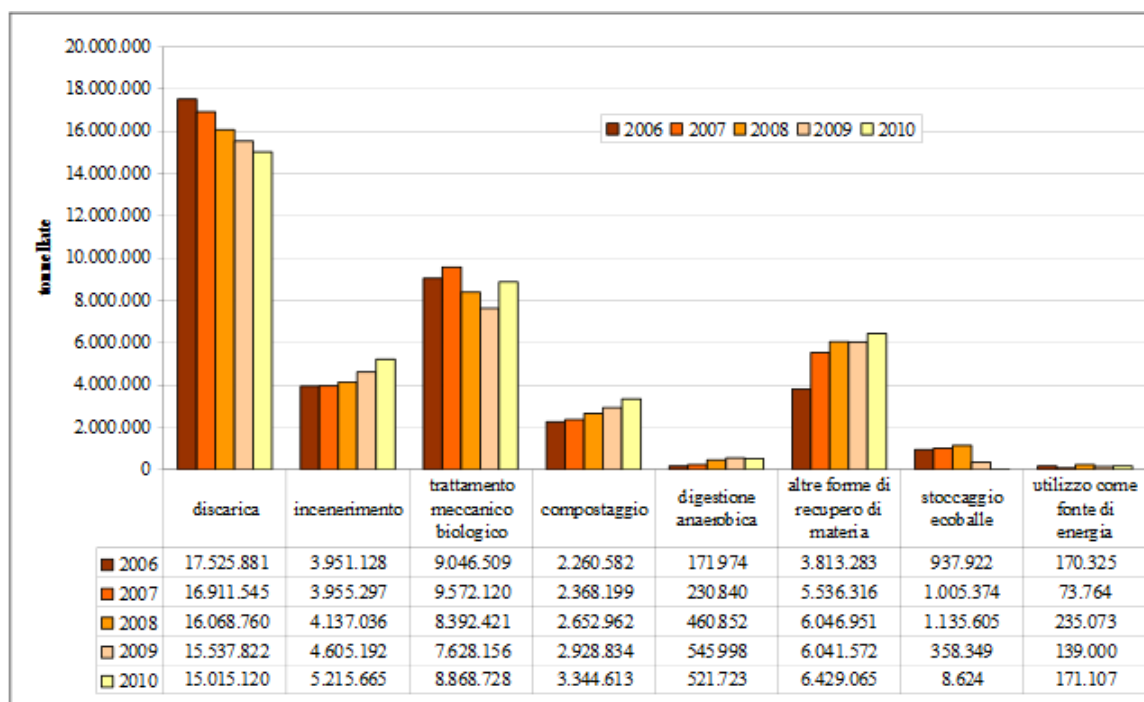


I dati rilevati da esperti in Italia nel 2010 (ISPRA, 2012) evidenziano che lo smaltimento in discarica è ancora la forma di gestione dei rifiuti più diffusa, pari al 46% dei rifiuti urbani prodotti; il rimanente 54%, viene invece destinato ad altre tipologie di recupero, trattamento e smaltimento: in particolare, il 19% è sottoposto a operazioni di recupero di materia (escluso il compostaggio), il 16% è incenerito con recupero di energia, il 12% è avviato a processi di trattamento biologico di tipo aerobico o anaerobico (il 10% a compostaggio, il 2% a digestione anaerobica), l'1% viene inviato ad impianti produttivi, quali i cementifici, per essere utilizzato come combustibile per produrre energia, e la stessa quota viene utilizzata, dopo il pretrattamento, per la ricopertura delle discariche (ISPRA, 2012). Nelle altre forme di gestione sono incluse le perdite di processo e le esportazioni di rifiuti che interessano circa 134 mila tonnellate di rifiuti urbani (pari allo 0,4 % del totale di quelli prodotti) (ISPRA, 2012).

Lo smaltimento in discarica è calato nel 2012, rispetto al 2009, di oltre 520 mila tonnellate (-3,4%), aumenta, invece, la quantità di rifiuti avviati al trattamento meccanico biologico di circa 1,7 milioni di tonnellate (+23%) e quella dei rifiuti inceneriti di oltre 630 mila tonnellate (+13%). Aumentano anche i rifiuti avviati alle diverse forme di recupero di materia (compostaggio, digestione anaerobica, riciclaggio di imballaggi ed altri materiali), che nel complesso fanno registrare un incremento del 6%. Al miglioramento del sistema di gestione contribuisce sicuramente l'incremento della raccolta differenziata che, nel complesso, raggiunge il 35,3% del totale dei rifiuti prodotti (ISPRA, 2012). Le forme di recupero di materia delle diverse frazioni merceologiche della raccolta differenziata, quali carta, plastica, vetro, metalli e legno, interessano circa 6,5 milioni di tonnellate. Il compostaggio della frazione organica, con un quantitativo complessivo di rifiuti urbani trattati pari a circa 3,3 milioni di tonnellate, fa registrare un incremento del 14% (pari a 400 mila tonnellate), evidenziando un'ulteriore crescita del settore. I rifiuti avviati ad impianti di digestione anaerobica, anch'essi costituiti essenzialmente da frazione organica da raccolta differenziata, passano da circa 546 mila tonnellate del 2009 a circa 564 mila nel 2010 (ISPRA, 2012).

Il pro capite di raccolta della frazione organica raggiunge, a livello nazionale, 69,1 kg per abitante, mostrando un incremento di quasi 7 kg per abitante rispetto al 2009. Il Nord d'Italia, con 98,1 kg per abitante, continua a migliorare rispetto al resto del Paese dove la raccolta della frazione organica, pur mostrando significativi sviluppi (+10 kg al Centro per abitante e +8 kg al Sud), risulta ancora non allineata alle realtà più avanzate del Nord (53,4 kg per abitante al Centro e 39,4 kg per abitante al Sud) (ISPRA, 2012).

In figura 1 sono illustrate le tipologie dei rifiuti urbani a livello nazionale negli anni compresi tra il 2006 e il 2010 (ISPRA, 2012). Si può osservare che l'utilizzo delle discariche è diminuito nel corso degli anni mentre il compostaggio, l'incenerimento, la gestione anaerobica e altre forme di recupero di materiali sono aumentati. Si può vedere che lo sviluppo tende ad andare verso l'utilizzo di fonte energetica e materiale rinnovabile.



Fonte: ISPRA

**Figura 1: Tipologie di gestione dei rifiuti urbani a livello nazionale (2006-2010)**

Là dove esiste un ciclo integrato dei rifiuti grazie ad un'impiantistica sviluppata, viene ridotto significativamente l'utilizzo della discarica. È il caso della regione Lombardia che trasporta in discarica solo l'8% del totale dei rifiuti urbani prodotti, mentre raggiunge una percentuale del 48,5% di raccolta differenziata, del 45% circa di recupero di materia ed invia ad incenerimento oltre il 44% dei rifiuti.

In Veneto si raggiungono valori del 58,7% per la raccolta differenziata, del 63% per il recupero di materia, grazie soprattutto al compostaggio, in discarica finisce il 19% dei rifiuti urbani. In Friuli Venezia Giulia la raccolta differenziata è pari a circa il 49,3%, il 39% è rappresentato dal recupero di materia, l'11% dall'incenerimento, mentre lo smaltimento in discarica interessa circa il 15% dei rifiuti urbani complessivamente prodotti nella regione (ISPRA, 2012).

Il Trentino Alto Adige raggiunge circa il 58% di raccolta differenziata, incenerisce il 14% dei rifiuti, mentre lo smaltimento in discarica ammonta a 29%.

Vi sono regioni in cui il quadro impiantistico è carente o del tutto inadeguato; è il caso della Sicilia, dove i rifiuti urbani smaltiti in discarica rappresentano il 93% del totale dei rifiuti prodotti, del Molise (84%), della Basilicata (83%), della Liguria (79%) o del Lazio (74%). Tale situazione, comune a molte regioni del Sud e del Centro, evidenzia la necessità di promuovere, in questa parte di Paese, la creazione di un ciclo industriale di gestione dei rifiuti. L'analisi dei dati mostra anche che l'incenerimento non sembra determinare un disincentivo alla raccolta differenziata, come risulta evidente per alcune regioni quali la Lombardia, Emilia Romagna e Sardegna. In queste ultime due regioni infatti, a fronte di percentuali di incenerimento pari rispettivamente al 30% ed al 18% del totale dei rifiuti prodotti, la raccolta differenziata raggiunge valori elevati (47,7% e 44,9%) (ISPRA, 2012).

## **1.1. Il biogas**

Il biogas è una miscela di gas che si forma in assenza di ossigeno attraverso la fermentazione di sostanze organiche. Questa miscela gassosa è composta dal 50-70% di metano e 30-50% di anidride carbonica, ma contiene anche una piccola quantità d'idrogeno e tracce di acido solforico (Vismara, 2008). Rappresenta una delle "fonti rinnovabili" più utilizzate per la produzione di energia elettrica e calorica. Il biogas è indicato dall'U.E. tra le fonti energetiche rinnovabili non fossili (che comprendono eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione) che possono garantire non solo autonomia energetica, ma anche la riduzione graduale dell'attuale stato d'inquinamento dell'aria e quindi dell'effetto serra (RAM, 2013).

### **1.1.1. Descrizione di un impianto di biogas**

Il processo anaerobico avviene all'interno dei digestori per un periodo di c.a. 60 giorni. La biomassa preparata e diluita è pompata nel digestore, per poi passare per trascinamento o travaso nella cisterna successiva. Il sistema è progettato in modo tale che il pozzo della pompa di carico sia posizionato ad un livello inferiore rispetto ai digestori, così da permettere un riflusso nel pozzo medesimo. La pompa può riempire separatamente ogni digestore.

La biomassa, terminata la digestione, passa nella cisterna di stoccaggio per andare all'impianto di separazione, con produzione di digestato solido e liquido. Il liquido separato è convogliato nella rete di scarico o stoccato a fini irrigui (Lemmer, 2011). Il biogas prodotto, deumidificato e lavato, è poi convogliato nel polmone, da cui passa direttamente alla centrale di cogenerazione. L'energia elettrica e termica necessaria al funzionamento dell'impianto è prelevata direttamente dalla centrale. L'energia elettrica in eccedenza (circa il 85-90%) è ceduta all'Ente Gestore della Rete, mentre l'energia termica può essere utilizzata per l'essiccazione dei foraggi e per il riscaldamento di serre o per utilizzi che si riterranno di volta in volta più utili all'attività agricola.

### **1.1.2. Descrizione del processo di digestione anaerobica**

La digestione anaerobica è un complesso processo di tipo biologico. Grazie a questo processo, in assenza di ossigeno, la sostanza organica è sottoposta a processi fermentativi con produzione di biogas. Il biogas è costituito da una miscela di metano e anidride carbonica. Queste matrici organiche possono avere varie origini come per esempio: scarti di molti settori dell'industria (industrie alimentari, della conservazione, della produzione e/o della lavorazione del vino e delle bevande, ecc...); scarti prodotti in aziende agricole; deiezioni animali provenienti da allevamenti; raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (F.O.R.S.U.); fanghi derivanti dal trattamento delle acque reflue civili; pulizia dei piazzali adibiti a mercato ortofrutticolo (Consorzio Italiano Compostatori, 2011).

La decomposizione microbica dei residui organici in ambiente anaerobico è un processo che avviene spontaneamente in natura (Lotter e Stegmann, 1989).

La sostanza organica presente nei rifiuti va incontro a una serie di trasformazioni biochimiche per opera di diversi ceppi batterici (Fig. 2). Si possono schematizzare tali trasformazioni in:

- Idrolisi: Le molecole organiche subiscono scissione in composti più semplici (monosaccaridi, amminoacidi, acidi grassi).
- Acidogenesi: Avviene l'ulteriore scissione in molecole ancora più semplici (acidi grassi, acidi volatili, ammoniaca, anidride carbonica, acido solforico).
- Acetogenesi: Molecole semplici prodotte nel precedente stadio sono ulteriormente digerite (producono biossido di carboni, idrogeno, acido acetico).
- Metanogenesi: Produzione di metano, biossido di carbonio e acqua.

Tre principali sottoprodotti della digestione anaerobica sono il biogas, un digestato acidogenico e un digestato metanogenico (Kirsch, 2011).

L'intervento del sistema biologico è di tipo anaerobico con digestione termofila o mesofila. Attraverso la digestione anaerobica a caldo si ottiene, oltre al biogas, l'abbattimento del carico inquinante, dovuto al fatto che una flora microbica selezionata è in grado di utilizzare le sostanze organiche ed inorganiche presenti nei residui vegetali ed animali per moltiplicarsi e trasformarle quindi in nuova sostanza vivente, cioè in biomasse microbiche controllate. In questo processo un ruolo importante gioca l'energia contenuta nei rifiuti organici e che è liberata via via dalla flora microbica specializzata. Questo processo si basa su alcuni microrganismi che sono capaci di vivere e riprodursi in assenza di ossigeno disciolto e vengono generalmente chiamati organismi anaerobici. In questa categoria trovare sono inclusi i metanobatteri, che si trovano comunemente nei digestori anaerobici, nelle lagune anaerobiche, negli stagni e nell'intestino di molti animali domestici.

Questi batteri metanigeni sono un gruppo specifico che rappresenta l'anello finale della catena di degradazione della materia organica. I batteri sono in grado di utilizzare solo un ristretto gruppo di substrati per produrre metano, per esempio acetati, formiati, miscele d'idrogeno e anidride carbonica.

I materiali di partenza che sono contenuti nei residui organici sono polimeri complessi come la cellulosa, l'amido, i grassi e le proteine non assimilabili direttamente dai batteri metanigeni. Oltre ai batteri metanigeni occorrono altri microrganismi fermentativi che iniziano la degradazione del substrato.

Un primo gruppo di questi microrganismi, tra cui clostridi, streptococchi, batteri enterici, trasforma i polimeri dell'amido, della cellulosa, dei grassi e delle proteine, in acidi organici, alcoli, acqua e anidride carbonica, cioè in molecole più semplici. Un secondo gruppo converte gli acidi grassi a lunga catena e gli alcoli in acido acetico, idrogeno e anidride carbonica. Verso le fasi finali rimane solamente il materiale più difficilmente digeribile. Il digestato acidogenico è un materiale organico stabile composto prevalentemente da lignina e cellulosa, ma sono presenti anche tracce di minerali e di una matrice di cellule batteriche morte (RAM, 2013). In questo digestato possono anche essere presenti alcune materie plastiche, che sono rimaste all'interno durante l'intero ciclo (CRPA, 2009).

Nei piccoli impianti il substrato trattato è rappresentato dalle deiezioni animali e per questo la tecnologia ha trovato buona diffusione nelle aziende collegate al settore dell'allevamento zootecnico, ma anche nelle aziende collegate al settore agro-alimentare.

Recentemente è cresciuto l'interesse verso questo settore anche per il trattamento della frazione organica di rifiuto solido urbano (Tab. 1). Questo ritardo potrebbe avere come causa le raccolte differenziate che si sono lentamente stabilite con l'attuazione delle direttive comunitarie a partire dal 1999 ed in particolare nel 2006 con la direttiva quadro rifiuti (Waste Framework Directive 2006/12/CE). La situazione in Europa ci illustra un buon quadro. Nell'anno 2012 esistevano 293 impianti che trattano FORSU o frazione organica da selezione meccanica (FO) da sole o in co-digestione con altre matrici. Il 41 % di questi impianti è situato nel paese leader d'Europa, in Germania, seguono Austria, Svizzera, Danimarca, Spagna, Svizzera e Italia (Vitolo et al., 2012).

**Tabella 1: Distribuzione degli impianti di digestione anaerobica di frazioni organiche selezionate, nel 2009 (ISPRA, 2012)**

Regione	Prov	Comune	Quantità massima autorizzata (t/a)	Quantità di rifiuto trattato (t/a)				Biogas prodotto (Nm3)	(2) Recupero energetico (MW/ANNO)	Digestato prodotto (t/a)	(3) Stato operativo
				Selezionato	Da selezione meccanica	Fanghi	(1) Altro				
Piemonte	TO	Pinerolo	81000	53406	-	-	-	4599675	nd	4375	O
Lombardia	BG	Montello	165000	170464	-	-	-	23892593	48098	(4) 17046	O
Lombardia	CR	Castelleone	nd	-	-	-	-	-	-	-	N
Lombardia	LO	Villanova del Sillaro	31500	29571	-	-	-	nd	E	nd	O
Lombardia	PV	Voghera	23000	-	-	-	-	-	-	-	N
Trentino A.A.	BZ	Badia	258	250	-	-	-	146000	E/T	2000	O
Trentino A.A.	BZ	Lana	15000	12207	-	-	-	1240000	E/T	1962	O
Trentino A.A.	BZ	Dobbiaco	357	407	-	-	-	330000	E/T	5680	O
Trentino A.A.	BZ	Campo Trens	600	610	-	-	-	nd	E	nd	O
Trentino A.A.	BZ	Rodengo	464	358	-	-	-	80000	E	900	O
Veneto	PD	Lozzo Atesino	60000	42469	-	2625	-	2328963	6055227	37346	O
Veneto	PD	Este	115000	110908	-	-	-	11139515	26429664	(4)	O
Veneto	VI	Bassano del Grappa	(5) 66300	39182	-	4018	(6) 754	6123501	10194291	(4)	O
Veneto	PD	Camposampiero	55000	33705	-	15000	(7) 1687	2369124	3610648	2782	O
Veneto	TV	Treviso	(8) 3000	769	-	-	(9) 478	120000	20366	(4)	O
Emilia R.	BO	S.Pietro in Casale	nd	-	-	-	-	-	-	-	N
Emilia R.	FC	Cesena	40000	21831	-	-	(10) 58	66865	E=133730	(4)	O
Sardegna	CA	Villacidro	39600	23485	2550	(11) 13928	-	697988	E=1164	3512	O
<b>Totale Italia</b>			<b>696079</b>	<b>539621</b>	<b>2550</b>	<b>35571</b>	<b>2977</b>	<b>53134224</b>		<b>75603</b>	

Fonte: ISPRA

Note:

(1) Reflui zootecnici, scarti da agroindustria, reflui da agroindustria, ecc

(2) T=recupero energetico termico, E=recupero energetico elettrico

(3) Stato operativo: O= operativo, I= inattivo, N= in costruzione, CL= in collaudo

(4) Il digestato viene disidratato e avviato alla fase di compostaggio aerobico

(5) La quantità massima autorizzata dell'impianto è comprensiva anche delle linee di trattamento biologico del rifiuto differenziato e del rifiuto indifferenziato

(6) Rifiuti verdi e scarti da agro industria

(7) Rifiuti da trattamento meccanico

(8) La quantità massima autorizzata è riferita al quantitativo di FORSU trattabile, essendo l'impianto funzionale all'impianto di depurazione delle acque reflue

(9) Vaglio da trattamento acque reflue

(10) Scarti da agro industria

(11) Fanghi provenienti da impianto di trattamento acque reflue

Le tecniche di digestione anaerobica possono essere suddivise in due gruppi principali.

La digestione a umido (wet) avviene quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca inferiore al 10% mentre la digestione a secco (dry) quando il substrato in digestione ha un contenuto di sostanza secca superiore al 20%. I processi con valori intermedi vengono chiamati *semisecco* o *semi dry* (Canet e Pomares,1994).

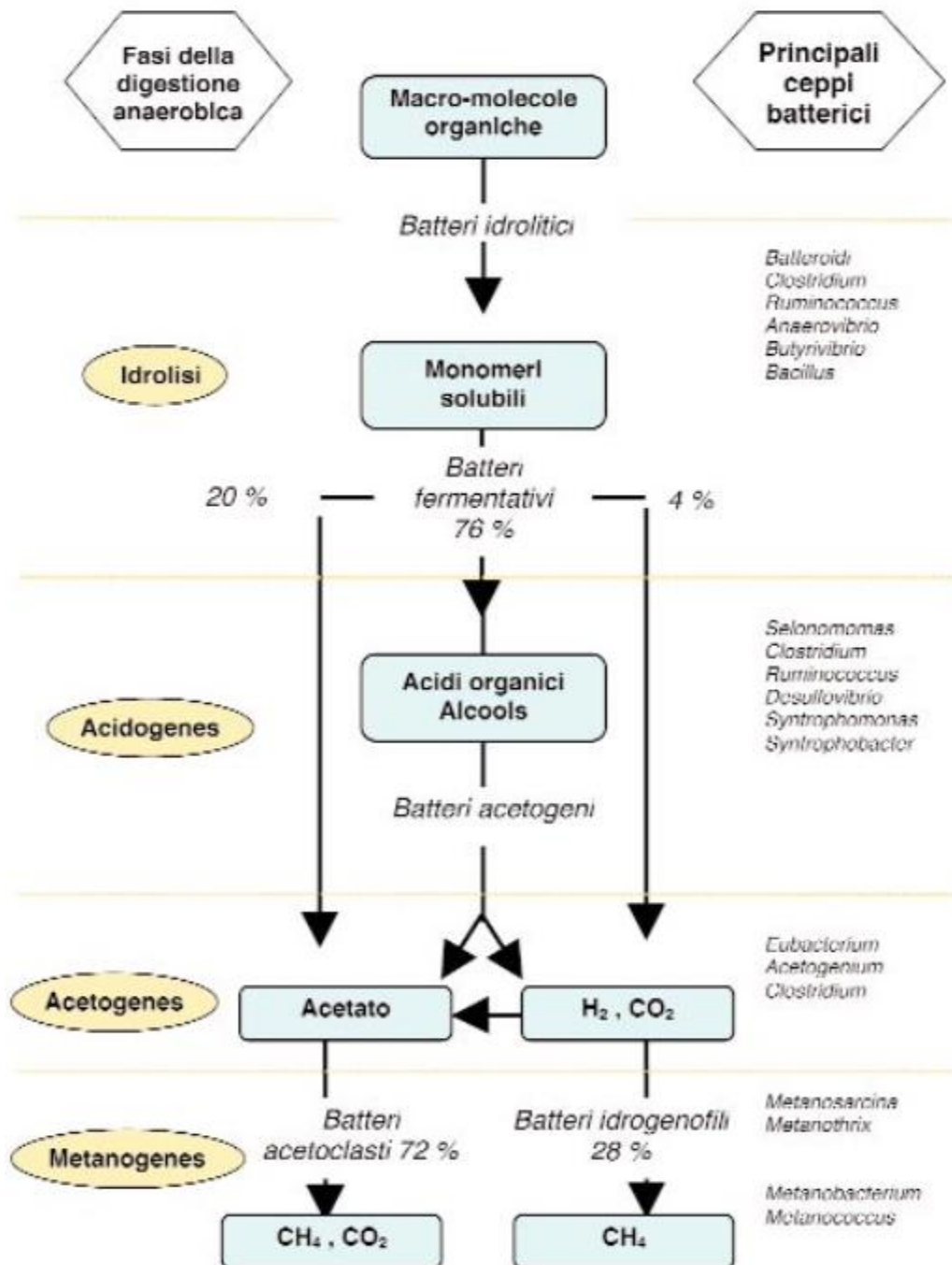


Figura 2: Schema generale del processo di digestione anaerobica (Battistini et al., 2002)



Il pH ottimale per tali reazioni è del 7,0-7,2. Il range del pH varia da 6,4 a 8,0.

### **1.1.3. La situazione in Alto Adige**

In Alto Adige si possono distinguere tre diversi tipi d'impianti di fermentazione. Esistono impianti che sono alimentati in gran parte con letame e rifiuti derivati dall'allevamento di animali.

Al secondo posto troviamo impianti che sono alimentati da rifiuti urbani, per esempio i rifiuti organici prodotti dai 512.000 abitanti dell'Alto Adige. Nell'ultima categoria si trovano gli impianti che usano le acque di scarico per produrre biogas attraverso un processo anaerobico. Nel 2012 in Alto Adige erano in funzione 31 impianti di biogas che trasformano annualmente circa 130.000 tonnellate di letame e liquami e 10.000 tonnellate di rifiuti organici della raccolta differenziata, il cosiddetto "umido", in energia elettrica e calore (Allegato).

Attualmente ci sono 16 milioni di metri cubi di biogas destinati alla generazione di energia elettrica e calore. L'analisi degli impianti di biogas della Provincia di Bolzano ha dimostrato che gli impianti agricoli che usano liquame e letame consumano circa il 20-30% dell'energia e del calore che producono. Gli impianti a F.O.R.S.U., che utilizzano invece i rifiuti organici della raccolta differenziata, consumano il 70% dell'energia e del calore che producono. Il bilancio energetico che ne deriva è positivo, tenendo in considerazione sia l'energia usata per far funzionare i macchinari dell'impianto stesso sia il combustibile usato per trasportare la biomassa. Il consumo di combustibile per la raccolta e per il trasporto dei rifiuti organici della raccolta differenziata fino all'impianto a F.O.R.S.U. è particolarmente elevato. La successiva produzione di energia dai rifiuti compensa l'energia necessaria per il trasporto. Il trasporto dei rifiuti organici dalle case fino all'impianto a frazione organica dei rifiuti urbani comprende in tutto più di 200.000 km all'anno (T.I.S., 2013.).

Tramite le analisi energetiche si è verificato che gli impianti agricoli a biogas risultano più ecologici rispetto alla gestione tradizionale del liquame e del letame. Gli impianti risparmiano il 60% delle emissioni equivalenti di CO<sub>2</sub>. Senza il trasporto all'impianto di biogas, i liquami e il letame sarebbero prima stoccati dai contadini e poi distribuiti sui campi come fertilizzanti, emettendo così più CO<sub>2</sub> e metano rispetto alla loro gestione attraverso l'impianto a biogas (Provincia Autonoma di Bolzano, 2012).

Il bilancio ambientale positivo degli impianti biogas è determinato soprattutto dal fatto che l'energia prodotta è rinnovabile e dunque consente di ridurre il ricorso alle fonti fossili come carbone o gasolio. Nello specifico 1 kWh di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili consente di risparmiare 440 g di CO<sub>2</sub> (Provincia Autonoma di Bolzano, 2013).

## **1.2. Descrizione dell'impianto di biogas di Lana**

L'impianto di fermentazione esaminato si trova nel comune di Lana. Si tratta di un impianto a biogas di dimensioni medie entrato in funzione nel 2006. L'impianto è di proprietà della Comunità Comprensoriale Burgraviato ed è gestito dall'EcoCenter S.p.A. L'impianto trattato di Lana ha un bilancio ambientale positivo. L'impianto riceve attualmente i rifiuti organici della raccolta differenziata proveniente da 37 comuni dell'Alto Adige, compreso Bolzano, che con le sue quasi sei mila tonnellate di umido organico annuale copre la metà del rifornimento di biomassa dell'intero impianto. In questo caso il trasporto dei rifiuti organici all'impianto biogas rispetto al loro trattamento in un impianto di compostaggio permette di risparmiare il 50% delle emissioni equivalenti di CO<sub>2</sub>. Nell'impianto viene prodotta energia dalla frazione umida dei rifiuti, grazie ad un sistema di raccolta differenziata nelle città di Bolzano e Merano e in una trentina di comuni dei comprensori Burgraviato e Salto-Sciliar. L'attività da cui proviene questo tipo di rifiuti è soprattutto la ristorazione, ma una parte proviene anche dai cittadini privati. L'impianto conta soltanto sette dipendenti. I rifiuti sono valorizzati energeticamente mediante un processo di digestione anaerobica a umido. L'impianto produce energia elettrica che è immessa in rete, equivalente al fabbisogno di circa 450 abitazioni (EcoCenter, 2011).

L'impianto iniziale è stato costruito per lavorare circa 9000 t/anno di rifiuti organici (Fig. 3) e circa 5000-7000 t/anno di materiale da struttura o rifiuti verdi e prevedeva una fase di digestione anaerobica con produzione di biogas e una fase di compostaggio dei fanghi ottenuti, in cui venivano mescolati ad un materiale da struttura ligneo cellulosico (Tab. 2 pagina 25). Attualmente la fase di compostaggio non avviene più a Lana, ma in Provincia di Verona. Sono previsti lavori di ampliamento.

### 1.2.1. Le fasi del processo

Attualmente il processo presso l'impianto di fermentazione di Lana è di tipo mesofilo, con una temperatura attorno ai 37 °C. Con il termine mesofilo ci si riferisce ad un genere di organismi la cui temperatura ottimale di crescita si aggira attorno ai 25-40 °C. Il range di temperatura del processo nell'impianto di biogas di Lana va dai 36 °C ai 55 °C, e si tratta di processi termofili. Con il termine termofilo s'indica un insieme di organismi che vivono e si moltiplicano a temperature relativamente elevate, ovvero oltre i 45 °C e fino ai 122 °C (Acerbi et al., 2008).

#### 1.2.1.1. La raccolta dei rifiuti organici ed accettazione nell'impianto

Con il problema della crescita della popolazione e l'aumento dei rifiuti è necessario sempre più spazio per gestire questi rifiuti. I rifiuti sono raccolti separatamente in bidoni appositi per la raccolta di rifiuti organici. Questi vengono svuotati e trasportati da camion all'impianto di Lana.

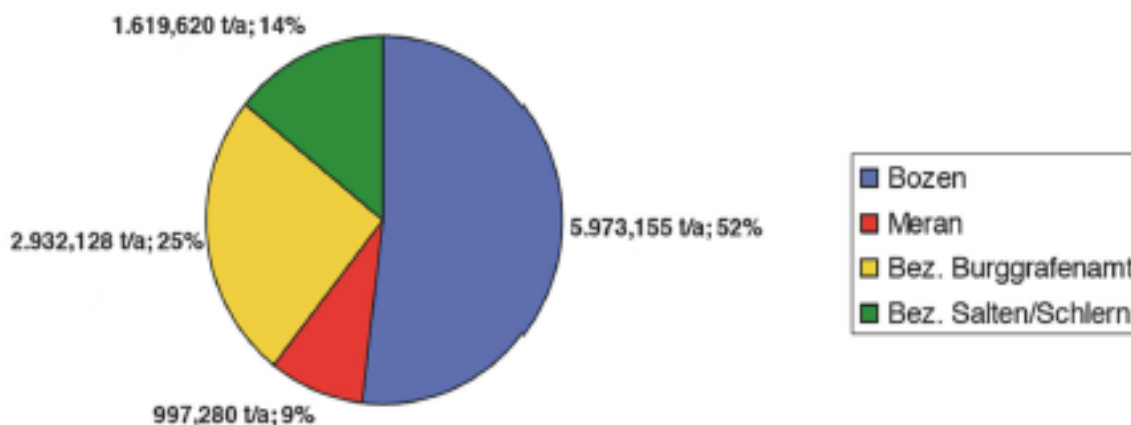


Figura 3: La quantità e l'origine dei rifiuti raccolti nell'impianto di fermentazione a Lana (T.I.S., 2013)

Il peso lordo viene misurato da un'apposita bilancia presente all'interno dell'impianto. I veicoli depositano i rifiuti nel deposito chiuso e vengono lavati prima di uscire dall'impianto. Dopo questo processo il veicolo viene pesato sulla bilancia per misurare la tara. Così facendo i dipendenti dell'impianto possono calcolare il peso dei rifiuti trasportati da ogni veicolo.

I dati rilevati di ogni veicolo sono:

Nome e Cognome del rifornitore, provenienza dei rifiuti, il peso del veicolo in entrata, il peso tara del veicolo in uscita. Infine viene calcolato il peso dei rifiuti in entrata.

I rifiuti organici raccolti sono classificati CER 200108, che è il numero che indica i rifiuti biologici degradabili provenienti da mense e rifiuti domestici (EcoCenter, 2011).



**Figura 4: Lo stoccaggio dei rifiuti organici nell' impianto di Lana**

Il deposito dell'umido organico ha soprattutto la funzione di stoccaggio (Fig. 4) . Da qui il materiale di partenza passa a piccole dosi attraverso un cuscinetto ruota in un container che si trova in profondità nel pavimento cementato. Questo container viene alimentato con materiale a secondo del suo bisogno.

#### **1.2.1.2. Trattamento dei rifiuti organici**

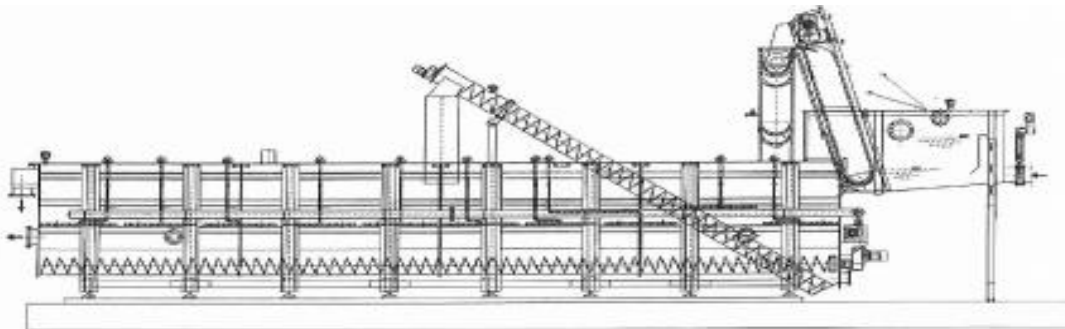
Il container è una vasca molto profonda che ha un sistema di movimentazione, composto da una barra che preme e spinge i rifiuti verso una vasca. Qui un albero a spirale distribuisce i rifiuti e li schiaccia verso una coclea. Un'altra coclea trasporta i rifiuti verso uno sminuzzatore. In una macchina, chiamata tritratore, vengono sminuzzati tutti i rifiuti che abbiano ancora un diametro maggiore di 40 mm.

Dopo questo trattamento i rifiuti organici sono portati in un idropolpatore che li mescola con acqua. Questa massa permette la separazione di materiali estranei e facilita il trasporto. I due idropolpatori hanno una forma cilindrica con un volume di 10.000 L. Hanno la funzione di miscelare i rifiuti grossolani con acqua in pochissimo tempo.

Per la miscelazione del materiale sono presenti dei piatti sul pavimento che ruotano velocemente. Nell'impianto gli idropolpatori sono riempiti con 4.000 L di acqua e vengono aggiunti 2.200 kg di rifiuti organici, dopodichè vengono nuovamente riempiti con acqua finchè si raggiunge un volume di 9.000 L. L'acqua proviene da un contenitore di una grandezza di 230 m<sup>3</sup> che accumula l'acqua di scarico proveniente dallo stoccaggio del materiale iniziale, l'acqua che proviene dall'addensamento della sostanza primaria e dalla centrifuga del digestato finale. Per evitare un elevato contenuto di sale, 20% dell'acqua è sostituito da acqua industriale che proviene da una sorgente sotterranea.

Il contenuto secco di questa sospensione è intorno al 4-5% e sono ancora presenti materiali indesiderati come per esempio ossa, pezzi di plastica, di metallo, sabbia, gusci di conchiglie e tessuti. Questi materiali possono essere trasformati lentamente o addirittura non essere trasformati dai microorganismi (Stadtmüller, 2004).

Per eliminare questi materiali la sostanza passa in una macchina separatrice, simile a un setaccio, la quale separa i materiali indesiderati e la sabbia dal resto del materiale. La funzione di questa macchina si basa sulla differente densità dei materiali in acqua.



**Figura 5: Sezione laterale della macchina separatrice compatta con rastrello e cattura di sabbia (EcoCenter, 2011)**

Nella prima sezione la sospensione primaria è introdotta in una vasca, dove i materiali leggeri galleggiano sulla superficie dell'acqua. Un rastrello verticale (Fig. 5) separa i materiali di dimensione  $\geq 20$  mm; questo materiale viene trasportato tramite una coclea in un container. Nella seconda sezione, che è una vasca di grandi dimensioni, avviene il processo di scissione dei materiali pesanti, come sabbia e metalli, che sono separati attraverso sedimentazione.

Come nella prima sezione i materiali indesiderati sono trasportati tramite una coclea in un container. La sabbia e i materiali sospesi sono inviati in discarica. Circa il 20% del materiale iniziale trasportato all'impianto è costituito da sabbia o altri materiali pesanti.

La sospensione primaria è trasportata attraverso condutture e pompe dalla macchina compatta in una vasca di accumulazione di 30 m<sup>3</sup>. Questa vasca serve da tampone.

Un miscelatore esegue poi una separazione di sostanze solide in acqua. Nella sospensione non si trovano ancora materiali con una grandezza  $\leq 20$  mm, per questo è usato un altro trinciatore. Il materiale viene schiacciato e triturato attraverso un disco.

Questa percentuale di sostanza secca (4-5% di media) permette a catturare la sabbia. Valori maggiori e una maggiore densità eviterebbero uno sprofondamento di sabbia e materiali pesanti. Minore è la sostanza secca di un materiale in una sospensione minore è la quantità di rifiuti organici trattati. La capacità di trattamento di un impianto si riduce con la diminuzione della sostanza secca, per questo la sospensione primaria è trattata con una separazione di acqua tramite addensamento. La macchina di addensamento è costituita da una centrifuga in cui i materiali pesanti si accumulano all'esterno. La sospensione addensata viene trasportata attraverso una coclea conica al di fuori del decanter. Quest'acqua di scarico è introdotta nuovamente nel ciclo e trasportata all'idropolpatore. L'ultimo passo di preparazione iniziale dei rifiuti organici è il trasporto della sospensione finale dalla macchina di addensamento o ispissitore con una sostanza secca dell'8-10% in una vasca di accumulo (30 m<sup>3</sup>) e in due serbatoi (dimensione di 20 m<sup>3</sup> ciascuno). Questa vasca e questi serbatoi servono per lo stoccaggio e fungono da tampone, affinché la fermentazione abbia sempre abbastanza materiale di alimentazione.

### **1.2.1.3. Digestione dei rifiuti organici**

Nel bioreattore (Fig. 6), un serbatoio di cemento armato con una capacità di ca. 1.600 m<sup>3</sup>, avviene il processo di fermentazione dei rifiuti organici tramite microorganismi. La sospensione all'interno del reattore è mantenuta in costante movimento tramite ugelli, che si trovano nella parte basale del reattore, alimentati di una piccola percentuale del biogas prodotto. Questo movimento rallenta la sedimentazione naturale dei materiali pesanti e leggeri. Il materiale in movimentazione favorisce migliori condizioni per i microorganismi.



**Figura 6: Il bioreattore nell'impianto di Lana**

Il processo di fermentazione è a ciclo continuo. La sospensione è pompata nel reattore e tramite tre scambiatori di calore la temperatura viene innalzata e in seguito la massa viene immessa nuovamente nella parte superiore del reattore. La temperatura è mantenuta costante a 37 °C. Il digestato si accumula nella parte inferiore del reattore e viene rimosso.

Possono essere immessi nel bioreattore fino a 80 m<sup>3</sup>/h di sospensione primaria. Questa sospensione vi resta in media venti giorni. La parte superiore del reattore funge da stoccaggio per il biogas prodotto dai microorganismi. Il biogas, che contiene un'alta percentuale di umidità, condensa durante il raffreddamento nei tubi di conduzione. Il primo passo prima di utilizzare il biogas è di eliminare la condensazione.

#### **1.2.1.4. Trattamento del digestato**

Il digestato asportato dal bioreattore è immesso in un contenitore per il fango con un volume di 250 m<sup>3</sup>. Un miscelatore miscela il digestato. Da questo contenitore il digestato è pompato in un disidratatore. La sospensione del digestato ha una sostanza secca di ca 4%. Nella macchina che forma i fiocchi vengono aggiunti polimeri che facilitano l'alleggerimento della sostanza solida e l'asporto di acqua. Il digestato, con CER- codice di rifiuti 190604, ha una costituzione di sostanza secca di circa il 21%.

Tramite coclea di trasporto il digestato viene inserito in un container di raccolta. Il digestato è circa il 20% della quantità iniziale dei rifiuti organici. Questo digestato è trasportato in un impianto di compostaggio, dove è miscelato con rifiuti verdi. Il prodotto finale è un compost di alta qualità.

#### **1.2.1.5. Dati tecnici e schematizzazione dell'impianto**

Gli automezzi in entrata scaricano i rifiuti organici, raccolti in 37 comuni, o sulla platea di stoccaggio o direttamente nel bunker. Il vano che accoglie le zone di stoccaggio e di lavorazione è mantenuto in depressione in modo da evitare la fuoriuscita di odori e l'aria aspirata dal vano è trattata in un biofiltro. Tramite coclea il rifiuto organico passa prima nel trituratore e poi nell'idropolpatore, dove è miscelato con acqua. Ogni 2,6 tonnellate di rifiuti organici vengono aggiunte 7 tonnellate di acqua fino a portare la sostanza secca al 4%. La griglia trattiene eventuali impurità come sacchetti di plastica, sacchetti mater-bi, stoffa e legno, mentre il dissabbiatore separa i materiali più pesanti di dimensioni ridotte, come ossa, gusci, conchiglie. La massa è quindi concentrata nell'ispessitore, all'interno del quale la sostanza raggiunge un tenore di secco pari all'11% e poi inviata nel digestore dove resta per un minimo di 16 giorni.

In condizione anaerobica e a una temperatura di 37 °C la flora batterica presente nel digestore decompone la parte organica dei rifiuti producendo biogas con circa il 60% di contenuto di metano.

Il biogas è composto da una miscela di gas con contenuto variabile di metano che si aggira dal 50 al 65%. Nella miscela è inoltre presente anidride carbonica, acido solforico e tracce di altri gas. Si può stimare che una tonnellata di rifiuti organici trattati produca circa 140 m<sup>3</sup> di biogas.

Il biogas viene pompato e raccolto nel serbatoio biogas e tramite i due gruppi di cogenerazione, composti da motore a biogas e generatore di corrente, viene bruciato in due cogeneratori di potenza elettrica pari a 334 kW e 536 kW. Dal digestore il materiale passa alla disidratazione, dove tramite una centrifuga viene disidratato e diventa fango. Il fango viene trasferito in un impianto di compostaggio per la produzione di compost.

Nel 2009, da 12.207 tonnellate di rifiuti, l'impianto di Lana ha prodotto circa 2.483 MWh di energia elettrica. Di questi il 42% è stato destinato all'autoconsumo, mentre il restante 58% è stato immesso in rete (dati T.I.S., 2013).



**Tabella 2: Quantità di rifiuti previste per l'impianto di biogas di Lana in base al "Piano gestione rifiuti della Provincia Autonoma di Bolzano"(EcoCenter, 2011)**

Bacino di utenza	Quantità t/anno
Burgraviato	4.500
Bolzano	4.000
Salto Sciliar	500
<b>Totale impianto</b>	<b>9.000</b>

Il Comune di Bolzano e la Comunità Comprensoriale Burgraviato hanno risposto bene sia in termini di quantità che di qualità. La qualità è migliorata essendosi ridotto il numero delle buste di plastica. Le buste sono potenzialmente pericolose e possono ostruire i flussi dei reflui nell'impianto; inoltre, dopo essere state sminuzzate, galleggiano nel digestore andando a depositarsi nel fango centrifugato.

**Tabella 3: Raccolta di organico effettuata dall'impianto di fermentazione di Lana (EcoCenter, 2011)**

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011
<b>t/anno</b>	5.619	10.722	12.876	12.692	12.909

L'impianto attuale non riesce più a trattare tutti i rifiuti conferiti. L'ampliamento dell'impianto di Lana è in progettazione e sarà realizzato a breve. Nel 2010 sono stati prodotti 977.348 Kwh di energia e questo fatto ha reso indispensabile installare un secondo generatore di corrente (EcoCenter, 2011).

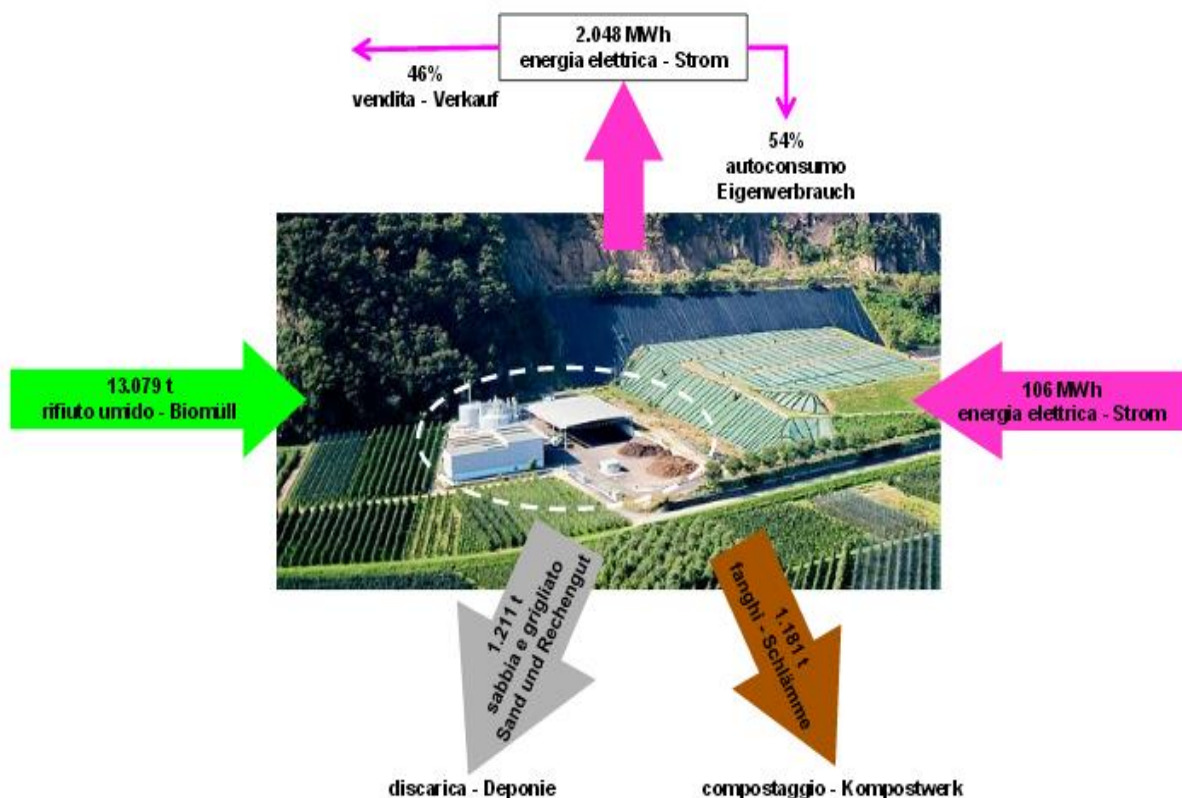
**Tabella 4: Rifiuti organici nell'impianto di Lana ( EcoCenter, 2009)**

Rifiuti organici		
raccolti	prodotti	trasportati ad alti impianti
13.079 t	10.200-9.500 t	2.000 t

I dati rilevati nell'anno 2011 si possono dividere in due parti. Nella prima metà dell'anno veniva prodotto più biogas rispetto alla seconda metà. L'impianto di biogas ha trattato 13.079 t di rifiuti umidi. Con 8.700 t si produceva 2.000 MWh di corrente elettrica, di cui circa la metà veniva venduta nella rete pubblica.

106 MWh di corrente venivano invece prelevati dalla rete pubblica. 1.211 t di sabbia e altre materie sono state trasportate nel 2011 in un deposito e l'impianto ha inviato 1.181 t di digestato al compostaggio.

*impianto di fermentazione di Lana - dati 2011*  
*Vergärungsanlage Lana - Betriebsdaten 2011*



**Figura 7: Riassunto dei dati dell'anno 2011 del impianto di fermentazione di Lana (EcoCenter, 2012)**

Nell'anno 2012 l'impianto di biogas a Lana ha trattato 13.078.810 kg di rifiuti organici (Tab. 4). Nei mesi estivi la popolazione che compone questo bacino di utenza ha prodotto più rifiuti, anche perché il turismo nei mesi estivi aumenta in maniera esponenziale. L'impianto di Lana ha ancora una capacità limitata e per questo 2.738.090 kg di questi rifiuti organici non potevano essere trattati e sono stati inviati direttamente al compostaggio (Fig. 7), 1.643.603 kg di rifiuti umidi, dopo essere stati trattati, sono stati inviati direttamente agli impianti di depurazione forniti di impianti di biogas. 8.697.117 kg di rifiuti sono stati trattati e fermentati direttamente nell'impianto di Lana.

### **1.2.2. Il digestato**

Il digestato acidogenico è un materiale organico stabile. Questo materiale è composto prevalentemente da lignina e cellulosa, ma può anche essere presente una varietà di componenti minerali e cellule batteriche morte (Dal Re et al., 2007).

Per giunta, se i componenti iniziali non sono stati immessi nel digestore puliti, possono essere presenti anche alcune materie plastiche. Questo digestato assomiglia al compost domestico, ma in passato sono stati trovati campioni con alti contenuti di metalli pesanti.

Il digestato metanogenico è un sottoprodotto della digestione anaerobica. Per quanto riguarda la qualità del materiale sottoposto a digestione, esso può rappresentare un fertilizzante eccellente e ricco di nutrienti.

Il materiale digerito può contenere sostanze tossiche quali i metalli pesanti o composti organici di sintesi, per esempio i fitofarmaci o i bifenili policlorurati; la digestione è in grado di concentrare significativamente tali sostanze nella fase liquida. Gli impianti di digestione sfruttano convenientemente processi ausiliari per il trattamento e la gestione di tutti i sottoprodotti (Bagnoli e Fantoni, 2012).

Nell'impianto di biogas a Lana troviamo un processo di digestione a umido. I substrati in digestione presentano un tenore di sostanza secca inferiore al 10% circa (Bermejo, 2010).

### **1.3. L'uso del digestato**

Un progetto del 2005 del Centro Tecnologico di Augustenberg in Germania, ha dimostrato che i metalli pesanti del digestato di una fermentazione non presentavano alcun problema per l'uso agronomico. Il contenuto di piombo, cadmio, cromo, nichel e mercurio era in questo progetto praticamente irrisorio e talvolta anche inferiore al livello di metalli pesanti prescritto dalla legge. Il livello del rame e dello zinco eccedeva con valori molto alti. Il contenuto di salmonelle in un digestato di una fermentazione a rifiuti umidi era basso, e in un impianto a biogas di rifiuti verdi era quasi assente. In questi campionamenti fatti dall'Istituto Technico di Augustenberg erano presenti anche clostridi, i quali raggiungevano livelli altrettanto alti. I campionamenti hanno dimostrato che non c'erano grandi differenze tra digestato e liquame (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, 2008).

Anche il Centro di Sperimentazione Agraria di Laimburg nella Regione del Trentino-Alto Adige ha fatto numerose analisi su campioni di liquame di digestato da biogas di origine locale. Si è visto che il minor contenuto di sostanza secca garantiva una migliore capacità di scorrimento, la quale riduce nei pascoli e nei prati il rischio di una contaminazione del foraggio.

I risultati hanno confermato il maggior rischio di perdite di ammoniaca; durante la fermentazione avviene una parziale degradazione di sostanze caratterizzate da un cattivo odore, per esempio gli acidi grassi volatili. Il digestato ha un altro valore positivo per quanto riguarda l'igienizzazione del materiale di partenza, eliminando una serie di batteri e virus. L'unica eccezione a proposito è rappresentata da clostridi e salmonelle, che però sono presenti in quantità limitata. Tramite il processo di fermentazione si devitalizzano anche i semi che provengono per esempio da erbacce o altre piante infestanti (Peratoner et al., 2012).

I dati analizzati da ricercatori dell'Università di Berlino hanno rilevato che in Germania si producono intorno alle 35 tonnellate di digestato, che viene utilizzato soprattutto come fertilizzante nel settore agronomico. Considerando impianti di fermentazione con biomassa di partenza diversa, per esempio silos di mais o segale, ma tutti con temperature di processo nel campo mesofilo, ci si è resi conti che la composizione del digestato può variare enormemente a seconda della biomassa di partenza, delle condizioni del processo e quelle del deposito. I dati riguardanti l'utilizzo del digestato per la fertilizzazione sono stati rilevati su *Sorghum bicolor* e *Brassica napus*. Nel *Sorghum bicolor* la resa del digestato in confronto alla fertilizzazione chimica ammonta al 77% fino ad arrivare all'88%.

Nel caso della *Brassica napus* la resa è stata calcolata dalla combinazione tra digestato e un fertilizzante complementare. Il risultato di queste analisi ha illustrato che il digestato può parzialmente sostituire il fertilizzante minerale. Il digestato proveniente da impianti di biogas può essere utilizzato direttamente come fertilizzante a uso agronomico. Questi fertilizzanti rilasciano sostanze nutritive e sostanze organiche nel suolo. Così facendo si possono risparmiare grandi somme su fertilizzanti minerali e si può contribuire alla produzione di humus. Digestati e fertilizzanti hanno una resa intorno al 70-80% a confronto con la fertilizzazione minerale (IASP, 2012).

La proposta per l'utilizzo agronomico del digestato, uno studio svolto da ricercatori dell'Università degli Studi di Milano, suggerisce che, oltre alle limitazioni di utilizzo in zone vulnerabili, il digestato ha una bassa efficienza di azoto organico e le pratiche di distribuzione non sono ottimali. Dopo la digestione anaerobica, la parte organica è degradata del 60-80% e la frazione residua si presenta stabile e humus precursore (D'Imporzano et al., 2010).

#### **1.4. Normative vigenti**

Il Decreto Bersani, decreto legislativo 79/1999, come aggiornato dalla Legge 239/04 e dal D.lgs. 387/03, ha imposto l'obbligo agli operatori che immettono in rete più di 100 GWh/anno che almeno il 2% dell'elettricità provenga da impianti da fonti rinnovabili. Dall'anno 2004 e fino al 2006, la quota d'obbligo è incrementata annualmente di 0,35 punti percentuali. Gli incrementi della quota minima d'obbligo per il triennio 2007-2009 e 2010-2012 sono stabiliti con decreti emanati dal Ministero dello Sviluppo Economico.

Alla produzione degli impianti alimentati da fonte rinnovabile che abbiano ottenuto la qualifica IAFR è associato un certificato verde (CV) ogni 50 MWh/anno prodotti.

I certificati creati in questo modo hanno validità annuale e sono emessi per 12 anni dalla data di esercizio dell'impianto in base al D.lgs. 152/06 ai fini dei riconoscimenti previsti dal Decreto Bersani, e possono essere contratti direttamente fra i proprietari degli impianti stessi e gli operatori interessati oppure servendosi dell'apposito mercato creato dal Gestore del Mercato Elettrico (GME).

In definitiva i produttori ricevono il provento derivante dalla vendita del CV in aggiunta al prezzo di vendita d'energia generata.

La normativa attuale ha assegnato al GSE il compito di qualificare gli impianti di produzione alimentati da fonti rinnovabili (IAFR), una volta accertato il possesso dei requisiti previsti in base al decreto MICA 11/11/1999, al decreto MAP 18/3/2002 ed al D.lgs.n. 387 del 29. Dicembre 2003. Gli impianti possono ottenere la qualificazione IAFR entrati in esercizio dopo il 1 aprile 1999 a seguito di nuova costruzione, potenziamento, rifacimento totale o parziale, riattivazione e gli impianti che operano in co-combustione entrati in esercizio prima del 1 aprile 1999.

I principali documenti legislativi che regolano la produzione e l'utilizzo di biogas sono:

- Decreto ministeriale 7 aprile 2006 - "Disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, di cui all'articolo 38 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152".
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – "Norme in materia ambientale" meglio conosciuto come Testo Unico Ambientale.
- Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 – "Attuazione della direttiva 77/2001 relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità".

Tra i documenti europei d'interesse, recepiti a vario titolo dalla legislazione nazionale si segnala:

- Regolamento CE n. 1774/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 3/10/2002, recante norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano
- Regolamento CE n. 208/2006 della commissione del 7/2/2006 che modifica gli allegati VI e VIII del regolamento CE n. 1774/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto concerne le norme di trasformazione relative agli impianti di produzione di biogas e di compostaggio e i requisiti applicabili allo stallatico

La differente origine della biomassa introdotta in un impianto ne influenza pesantemente l'ambito legislativo di riferimento.

Il D.lgs. 152/06- Parte V, allegato X, sezione 6 definisce il biogas come combustibile soggetto alle disposizioni dello stesso allegato solo qualora provenga *“dalla fermentazione anaerobica metanogenica di sostanze organiche non costituite da rifiuti. In particolare non deve essere prodotto da discariche, fanghi, liquami e altri rifiuti a matrice organica. Il biogas derivante dai rifiuti può essere utilizzato con le modalità e alle condizioni previste dalla normativa sui rifiuti.”*.

Da qui nasce il problema che un gran numero di prodotti pur essendo tecnicamente ottimi per la conversione in biogas, non possono essere impiegati, in quanto rifiuti, in impianti rientranti nel contesto agricolo definito dal Testo Unico Ambientale. Si tratta in particolare di sottoprodotti o in alcuni casi di rifiuti dell'industria agroalimentare che non possono essere catalogati come biomasse vergini.

Il D.lgs. 387 definisce invece le fonti rinnovabili ai fini della produzione di energia elettrica:

*a) fonti energetiche rinnovabili o fonti rinnovabili: le fonti energetiche rinnovabili non fossili (eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice, idraulica, biomasse, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas). In particolare, per biomasse si intende: la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani;*

*b) impianti alimentati da fonti rinnovabili programmabili: impianti alimentati dalle biomasse e dalla fonte idraulica, ad esclusione, per quest'ultima fonte, degli impianti ad acqua fluente, nonché gli impianti ibridi, di cui alla lettera d);*

*c) impianti alimentati da fonti rinnovabili non programmabili o comunque non assegnabili ai servizi di regolazione di punta: impianti alimentati dalle fonti rinnovabili che non rientrano tra quelli di cui alla lettera b).*

Gli impianti di biogas possono impiegare biomasse differenti e non solo di origine zootecnica.

Il discorso è complesso ma è importante rilevare come questo sia attualmente uno dei principali problemi del settore. La normativa è in continua evoluzione e soggetta, nel caso specifico, a interpretazioni delle amministrazioni locali difficilmente prevedibili a priori. Ogni nuovo materiale che non è refluo zootecnico o biomassa dedicata deve quindi essere considerato nella situazione specifica.

Le problematiche secondarie sono legate al digestato, che può essere considerato il principale problema del settore. Non essendo disponibile una definizione ufficiale di digestato è difficile riuscire a definirne delle caratteristiche univoche tali da consentirne la gestione senza dare motivo di dubbi. Il fatto che un impianto di digestione anaerobica possa essere alimentato sia con altri prodotti catalogabili come rifiuto, che con biomasse vergini rende molto “soggettiva” la definizione merceologica del principale rifiuto prodotto dall'impianto, ossia il digestato stesso. Il digestato può essere catalogato, e quindi gestito di conseguenza, come refluo zootecnico o come rifiuto vero e proprio.

In particolare si segnalano il DM 7/4/06 che, apprendendo la Normativa Europea in materia di gestione dei reflui zootecnici soprattutto alla luce dell'inquinamento da nitrati, introduce una serie di disposizioni molto precise riguardanti la fase finale della filiera produttiva del biogas.

In particolare il DM 7/4/2006 citato afferma che:

- Gli effluenti zootecnici prodotti in azienda possono essere avviati a digestione anaerobica e i fanghi risultanti (digestato) possono essere utilizzati sul suolo agricolo secondo i normali piani di utilizzazione agronomica (PUA).
- I residui colturali e le colture energetiche prodotte in azienda possono essere avviate alla digestione anaerobica e il digestato può essere utilizzato sul suolo agricolo secondo i normali piani di utilizzazione agronomica (PUA).

La miscela dei due prodotti elencati è possibile purché sia seguita la medesima procedura di spandimento tenendo conto del tenore di azoto.

Successive considerazioni possibili sono che la miscelazione di reflui zootecnici con colture energetiche prodotte sia dentro che fuori dell'azienda, in questo secondo caso purché accompagnate dai previsti documenti necessari per il trasferimento di merci e prodotti (ex bolla di accompagnamento), sono ammissibili e il digestato ottenuto rientra nell'ambito del decreto ministeriale.

In tutti gli altri casi invece si rientra nella legislazione dei rifiuti quindi è necessario, pur facendo sempre riferimento al testo unico ambientale (D.lgs. n. 152/06), cambiare "registro" e considerare l'impianto come destinato al recupero di rifiuti mediante attività R3 e R10. In questo caso anche lo spandimento al suolo è possibile purché risponda alle disposizioni relative. Tra queste si ricorda la necessità di compilare il modello unico di dichiarazione ambientale (MUD) che accompagna ogni tipologia di rifiuto.

Gli impianti di biogas possono essere realizzati in un contesto rurale come stabilito dal D.lgs. 387/03 art. 12, comma 7, mentre il D.lgs n. 152/06 stabilisce che gli impianti di biogas, se quest'ultimo risponde alla definizione di cui alla Parte V, allegato X, sezione 6, aventi potenza termica nominale inferiore a 3 MW sono considerati ad inquinamento poco significativo quindi non necessitano di autorizzazione, ma è sufficiente una comunicazione di inizio attività da inviarsi alla competente autorità che generalmente coincide con la Provincia, dall'altro lato il D.lgs. n. 387/03 stabilisce (art. 12, comma 8) che tali impianti sono da considerarsi a inquinamento poco significativo "*sempre che ubicati all'interno dei impianti di smaltimento rifiuti*" escludendo di fatto tutti gli impianti realizzati in un contesto agricolo.

Il discorso relativo alla biomassa utilizzabile è ancora aperto. La legislazione regionale è invece prevalentemente legata al recepimento dei regolamenti comunitari in tema di spandimento e stoccaggio dei reflui zootecnici.



Elenco di norme di riferimento in alcune Province d'Italia:

**Emilia Romagna:** Legge Regionale 24/4/95, n. 50 *Disciplina dello spandimento sul suolo dei liquami provenienti da insediamenti zootecnici e dello stoccaggio degli effluenti di allevamento*

**Regione Lombardia:** DGR 7/11/2006 n. 8/3439 – *Adeguamento al programma d'Azione della Regione Lombardia di cui alla DGR n. 17149/96 per la tutela e risanamento delle acque dall'inquinamento causato da nitrati di origine agricola per le aziende localizzate in zona vulnerabile ai sensi del DLvo 3/4/06 n. 152, art. 92 e del DM 7/4/06 n. 209.* Questa delibera stabilisce i criteri e le norme tecniche generali che le aziende agricole ricadenti in zone vulnerabili ai nitrati devono osservare per l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, dei fertilizzanti azotati, degli ammendanti e, comunque, di tutti gli apporti azotati.

- DGR 30/12/2003 n. 7/15944 – *Delega alle province delle funzioni amministrative, ai sensi degli artt. 27 e 28 del DLvo 5/2/97, n. 22 e successive modifiche ed integrazioni, in materia di approvazione dei progetti ed autorizzazione alla realizzazione degli impianti ed all'esercizio delle inerenti operazioni di messa in riserva (R11), trattamento/condizionamento (R3) e spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura (R10) di rifiuti speciali non pericolosi. Art. 1 della LR 3/4/02, n. 6.*

Questa delibera deve essere presa in considerazione nel momento in cui la gestione dell'impianto coinvolge anche biomasse residuali classificabili come rifiuti dall'attuale legislazione vigente.

**Provincia Autonoma di Bolzano:**

- *Piano di sviluppo rurale della provincia autonoma di Bolzano – Allegato 6 – Definizione della buona pratica agricola valida per l'attuazione del piano di sviluppo rurale della provincia autonoma di Bolzano.*

Il documento definisce le norme per la gestione e lo spandimento dei reflui zootecnici.

La Legge Provinciale del 26/05/2006, n.4, capo V Art.30 prevede l'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura: *“Con regolamento di esecuzione vengono fissate le deposizioni per l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura in attuazione della direttiva 86/278/CEE del Consiglio del 12 giugno 1986. L'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura è autorizzata dall' ufficio gestione rifiuti e ha una validità di cinque anni.”*

## **1.5. Prospettive di utilizzo del digestato**

Con l'aumento della popolazione crescerà anche in futuro la produzione di biomassa e alimenti. Gli impianti di biogas saranno, come già adesso, alimentati con umido organico e piante energetiche (per esempio mais). La quantità di digestato aumenterà continuamente. La produzione di humus dal digestato, che proviene da impianti di biogas, è il punto centrale per mantenere in equilibrio il suolo e l'ambiente che lo circonda.

## **2. SCOPO DELLA TESI**

Il presente lavoro ha avuto la finalità di valutare la possibilità di utilizzo a fini agronomici del digestato di un impianto di biogas. Si è voluto testare l'eventuale influenza del digestato sulla crescita di piante di *Zea mays* allevate su substrati con varie percentuali di digestato e terra.

### **3. MATERIALI E METODI**

Le prove sul digestato sono state svolte nei periodi dal 2006 fino al 2013 presso un'azienda che produce biogas tramite la fermentazione di rifiuti organici a Lana (Trentino-Alto Adige).

Le prove pratiche su *Zea mays* sono state svolte nell'anno 2013 in un campo privato nella località di Merano (Trentino- Alto Adige) e valutate nel laboratorio universitario di Legnaro.

#### **3.1. Prove sperimentali**

Nelle prove pratiche è stato utilizzato il seme dell'ibrido di *Zea mays*.

Ad inizio aprile (13/04/2013) sono stati seminati 60 semi in contenitori alveolari di carta.

Dopo due settimane (28/04/2013) 30 piante di crescita omogenea (a un'altezza di 10-15 cm) sono state trapiantate in contenitori di plastica con una circonferenza di 40 cm e un'altezza di 45 cm.

##### **3.1.1. Impiego e uso del digestato**

Per la preparazione del substrato è stato utilizzato terriccio prodotto da Tuttogiardino di Bolzano.

Al substrato è stato aggiunto in percentuale diversa digestato dell'impianto di fermentazione di Lana.

L'aggiunta del digestato al substrato era su dieci vasi pari allo 0%, in altri 10 30% e in altri dieci piante 50%. Il digestato è stato mescolato proporzionalmente con la terra.

Il 17/06/2013, dopo altre tre settimane, una pianta per ogni gruppo è stata raccolta, lavata e asciugata ed è stato misurato il peso fresco delle radici e separatamente terreno parte aerea.

Il 24/06/2013 le 27 piante restanti sono state lavate, asciugate, pesate e congelate. In laboratorio è stato analizzato il contenuto della terra nella quale sono cresciute le piante.

### 3.1.2. Analisi del digestato

I campionamenti del digestato (Fig. 8) sono stati fatti almeno una volta al mese nell'impianto di biogas a Lana. I campioni sono stati prelevati direttamente dal container, dove viene raccolto il fango.

Sono stati prelevati ogni volta tre campioni piccoli per le analisi nel laboratorio biologico e tre campioni grandi per le analisi microbiologiche e chimiche. Le analisi si sono basate sul libro dei metodi di VDLUFA (1991- Volume 1).



**Figura 8: Campionamento del digestato**

Per analizzare la sostanza secca del digestato deve essere presente un becher di alluminio, una stufa per essiccare a 105 °C, una bilancia in mg e un essiccatore.

A 105°C viene essiccato il becher e dopo il raffreddamento viene pesato nell'essiccatore per valutare la tara. Dopodichè vengono inseriti 50-70 g nel becher, il quale viene pesato di nuovo. Il becher con circa 50 g di prova è messo nella stufa a 100-110°C per 4-5 ore per essiccare. Dopo di questo il becher di alluminio viene raffreddato a temperatura ambiente e pesato di nuovo. Il contenuto di acqua è calcolato tramite la formula:

$$\text{Contenuto d'acqua} = [(P_{\text{umi}} - P_{\text{secc}}) / (P_{\text{secc}} - T)] \times 100 \quad [\%]$$

$P_{\text{umi}}$  = peso fresco di prova e tara in grammi

$P_{\text{secc}}$  = peso secco e tara in grammi

$T$  = tara in grammi

Il contenuto di massa secca è calcolato con la formula seguente:

$$\text{Contenuto di massa secca} = \frac{[P_{\text{secc}} - T] \times 100}{P_{\text{umi}} - T} \quad [\%]$$

$P_{\text{umi}}$  = peso fresco di prova e tara in grammi

$P_{\text{secc}}$  = peso secco e tara in grammi

$T$  = tara in grammi

Per calcolare il pH si ha bisogno dei seguenti reagenti:  $\text{CaCl}_2$  e  $2\text{H}_2\text{O}$  (codice 1.02382.1000), soluzione tampone con pH 4 (codice 1.09475.0500) e soluzione tampone con pH 7 (codice 1.09477.0500).

Per la produzione della soluzione bisogna versare la soluzione pH (0,01 mol/l  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ), 29,40 g  $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$  in un becher da 1 litro e mescolarla con acqua distillata. Questa soluzione viene messa in una tanica da 20 litri viene portata a volume con l'acqua distillata. Per quest'analisi si deve avere una bilancia in mg, un becher di vetro da 400 ml e uno strumento di misura per il pH.

Il campione viene versato in un becher da 400 ml fino al segno dei 100 ml e poi viene inserita la soluzione di pH fino a 250 ml. Con un bastone di vetro si mescola e si lascia riposare per 4-5 ore, infine viene misurato il pH con lo strumento di misura.

Per il metodo CAT, che è l'analisi di  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Mg, Na, B, Fe, Mn, Cu e Zn, c'è bisogno del reagente  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  (codice 1.02382.1000) e DTPA o anche chiamato *Tritriplex V*<sup>1</sup> (codice 1.08426.0100).

*Soluzione madre 1.1 (0,1 M  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,02 M DTPA)*

14,7 g  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  e 7,88 g DTPA vengono scolti in un pistone con acqua distillata con un mescolatore magnetico su una piastra scaldata. A circa 60 °C i reagenti si sciolgono in 30-45 minuti. La massa viene raffreddata e portata a volume. La soluzione va lasciata a temperatura ambiente per 2-3 settimane.

*Soluzione madre 1.2 (0,1 M  $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ; 0,002 M DTPA)*

La soluzione madre viene diluita con acqua distillata con una proporzione 1:10.

---

<sup>1</sup> Acido acetico Diethylentriaminpenta= $\text{C}_{14}\text{H}_{23}\text{N}_3\text{O}_{10}$ , 393.34 g/mol;

Gli attrezzi usati sono una bilancia in mg, una bottiglia di plastica (500 ml), provette di vetro e plastica, un filtro MACHEREY- NAGEL MN 619 G ¼ 15 cm ed una macchina di mescolamento.

25 g di campione vengono agitati e mescolati con 200 ml di soluzione in uso in una bottiglia di plastica per il mescolamento.

Questa soluzione viene mescolata per un'ora nella macchina di mescolamento. Tramite il filtro la soluzione viene filtrata nella provetta di plastica per P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg, Na, B, Fe, Mn, Cu, Zn e una parte nella provetta di vetro per NO<sub>3</sub>-N e NH<sub>4</sub>-N.

Le definizioni di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg, Na, B, Fe, Mn, Cu e Zn avviene tramite spettrofotometria ICP-OES e NO<sub>3</sub>-N e NH<sub>4</sub>-N tramite clorimetro.

Per calcolare la molarità si deve agitare il substrato o il fango su 5 mm e metterli in un sacchetto di plastica da tenere in frigo.

Per le analisi è richiesto un misurino cilindrico di plastica (47 mm larghezza, 180 mm altezza) con una graduazione fino a 250ml ad una distanza inferiore a 5 ml. Per posizionare correttamente il misurino cilindrico serve un cavalletto con anello e un tappetino di gomma.

Il misurino vuoto viene messo sulla bilancia e la bilancia viene tarata. Il cilindro viene riempito con substrato e posizionato sullo stativo. Per dieci volte una dietro l'altra viene sollevato e lasciato cadere sul tappetino di gomma. Il cilindro viene pesato e si può leggere il volume del substrato tramite la graduazione del cilindro. Per ogni campione la prova viene eseguita due-tre volte.

Il peso volumetrico si può calcolare tramite la formula:

$$\text{peso volumetrico} = \text{massa} / \text{volume} \quad [\text{g/l}]$$

La salinità viene calcolata tramite il reagente KCl (codice 1.04936.1000). Prima dell'uso il KCl deve essere essiccato per due ore a 105°C e raffreddato nell'essicatore. Le soluzioni standard di KCl sono:

- 400 mg/l KCl

Pesare 0,2 g KCl in un pistone di 500 ml e sciogliere in acqua distillata finché raggiunge il volume

- 800 mg/l KCl

Pesare 0,4 g KCl in un pistone di 500 ml e sciogliere in acqua distillata finchè raggiunge il volume

Per le analisi servono una bilancia, una bottiglia di plastica, uno strumento per filtrare, un filtro MACHEREY-NAGEL MN 619 G ¼ 15 cm ed una macchina che misura la conduttività. 20 g di substrato devono essere agitati con 200 ml di acqua distillata e mescolati per un'ora in una bottiglia di plastica. Con il filtro il contenuto viene filtrato nel contenitore. La conduttività della soluzione standard viene misurata, così come quella della prova. Tutti i valori così raggiunti sono espressi in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La salinità  $w_{\text{sa}}$  [mg/100 g] si calcola tramite la formula:

$$w_{\text{sa}} = (\text{valore calcolato in } \mu\text{S}/\text{cm}) / (\text{fattore di conversione})$$

Il fattore di conversione si calcola:

$$\text{valore di conversione} = (\text{valore calcolato in } \mu\text{S}/\text{cm}) / (\text{concentrazione in mg/l})$$

### 3.1.3. Analisi del peso fresco e del peso secco della pianta di *Zea Mays*

Le analisi del peso fresco sono state svolte sia direttamente nel campo di coltivazione delle piante di *Zea mays* sia nel laboratorio biotecnologico dell'Università degli Studi di Padova presso la sede di Legnaro. È stata separata la parte superiore dalla parte inferiore delle piante, che sono poi state pesate separatamente con una bilancia che raggiunge i 5000 g. Per un secondo risultato del peso fresco sono state pesate ulteriormente le quindici piante prima di essere messe in stufa.

Le analisi del peso secco sono state svolte nel laboratorio biotecnologico dell'Università degli Studi di Padova presso la sede di Legnaro.

Prima di pesare il peso secco è stato necessario tagliare la parte superiore in piccoli pezzi per avere posto nella stufa. Sono state usate cinque piante per ogni gruppo di piante, delle quale si è misurato, già prima di congelare, il peso fresco.



Per avere un valore esatto si è misurato una seconda volta il peso fresco prima di metterle in stufa. La parte tagliata è stata messa in piccoli contenitori di alluminio.

Il peso secco della parte superiore delle piante è stato misurato dopo 48 ore nella stufa a 70°C. La lunghezza (Fig. 9) è stata misurata su un tavolo bianco tramite un metro a due metri. La lunghezza si misura in cm. Le piante sono state misurate una alla volta e poi rimisurate per avere una lunghezza effettiva. Si aveva come punto di riferimento l'inizio dello stelo e la foglia più lunga.



**Figura 9: La pianta più lunga in confronto di quella più piccola**

Dopo la statistica descrittiva si è fatto un “boxplot” per descrivere la distribuzione del peso fresco di ogni gruppo di piante. Sono stati utilizzati quattro campioni per ciascun gruppo. Il boxplot è un riassunto di cinque numeri della distribuzione. I numeri descritti sono la mediana, il primo ed il terzo quantile ed i due estremi. La mediana è il valore assunto dalle unità statistiche che si trovano nel mezzo della distribuzione.

#### **3.1.4. Analisi del contenuto in pigmenti fotosintetici**

L'analisi del contenuto della clorofilla e di carotenoidi è stata fatta nel laboratorio del dipartimento DAFNAE dell'Università degli Studi di Padova presso la sede di Legnaro. Si è pesato 500 mg di tessuto fogliare di quindici piante. Per avere un risultato efficace è stata fatta una seconda analisi, così si sono ottenuti trenta campioni.

Il tessuto fogliare è stato sminuzzato. inserito in un flacone con 20 ml di etanolo assoluto. Dopo 48 ore al buio a 4°C si è prelevato il surnatante e il contenuto di pigmenti fotosintetici è stato analizzato tramite spettrofotometro alle lunghezze d'onda di 665 nm per la clorofilla a, a 649 nm per la clorofilla b ed a 470 nm per i carotenoidi.

La concentrazione dei tre tipi di pigmenti è stata calcolata usando le seguenti equazioni di WELBURN E LICHTENTHALER, (1984):

clorofilla a=  $(13,95 \times A_{665} - 6,88 \times A_{649}) \times \text{volume etanolo} / \text{peso fresco}$

clorofilla b=  $(24,96 \times A_{649} - 7,32 \times A_{665}) \times \text{volume etanolo} / \text{peso fresco}$

carotenoidi=  $(1000 \times A_{470} - 2,05 \times A_{665} - 114,8 \times A_{649}) / 245 \times \text{volume etanolo} / \text{peso fresco}$

Il peso fresco si calcola in grammi e il volume dell'etanolo in millilitri. Il risultato finale si indica in mg/g di foglia.

## 4. RISULTATI

### 4.1. Analisi del digestato

Il pH analizzato nei campioni di digestato varia tra 6,3 a 8,3. La media è 7,7. Nelle analisi del 2013 la presenza di *Salmonelle*, *Enterobacteriae* e *Streptococchi* fecali varia drasticamente. *Salmonella Thompson*, *Salmonella kisii* e *Salmonella münchen* sono i tre tipi di *Salmonella* presenti nei campioni.

La prova del 13 aprile 2013, che è stata usata per le analisi pratiche della crescita delle piante, ha dimostrato che lasciando all'aria il digestato si aumenta drasticamente la presenza di *Enterobacteriaceae* e *Streptococchi* fecali. I valori si decuplicano.

Il contenuto di digestato usato per la concimazione è stato analizzato in data 13/04/2013 ed aveva le seguenti caratteristiche:

**Tabella 5: Risultati dell'analisi chimica del digestato utilizzato**

<b>pH</b>	8
<b>sostanza secca</b>	22,1
<b>Umidità max.</b>	77,9
<b>Volume umido g/L</b>	615
<b>Salinità (g/L come KCl)</b>	5,8
<b>N- nitrico (nitrati) mg/l CAT Auszug</b>	2,5
<b>N- ammoniacale mg/l CAT Estrazione</b>	885,6
<b>N in soluzione (totale) mg/l CAT Estrazione</b>	888,1
<b>Fosfati in soluz P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/l CAT Estrazione</b>	236
<b>Potassio in soluzione K<sub>2</sub>O mg/l CAT Estrazione</b>	393
<b>Magnesio in soluzione mg/l CAT Estrazione</b>	70

<b>Sodio in soluzione mg/l</b> <b>CAT Estrazione</b>	186
<b>Boro in soluzione mg/l</b> <b>CAT Estrazione</b>	0,76
<b>Ferro in soluzione mg/l</b> <b>CAT Estrazione</b>	100
<b>Manganese in soluz. mg/l</b> <b>CAT Estrazione</b>	7,8
<b>Rame g/kg CAT Estrazione</b>	0,3
<b>Zinco g/kg CAT Estrazione</b>	3
<b>Ceneri</b>	3
<b>Sost. organica (differ.</b> <b>Ceneri - s.s.)</b>	19,1
<b>Azoto % sulla sost.fresca</b> <b>Dumas</b>	1,3
<b>C/N max.</b>	9
<b>Esch. coli 1 camp. tra 1.000</b> <b>e 5.000 ufc</b>	95.000
<b>Salmonelle (MPN/g s.s.</b> <b>1.000 D.L. 99/92)</b>	assente
<b>Enterobacteriaceae totali</b> <b>UFC/g</b>	300.000
<b>Streptococchi fecali</b> <b>(MPN/g s.s.) UFC/g</b>	250.000

Il contenuto di *Escherichia coli* ed *Enterobacteriaceae* e *Streptococchi* fecali è elevato perché il fango è stato lasciato all'aria aperta per quindici giorni per asciugare. Quest'alto contenuto di *Escherichia coli* ed *Enterobacteriaceae* e *Streptococchi* potrebbe rappresentare un problema in futuro per spandere il digestato nei campi. Essi infatti possono provocare inquinamento, soprattutto per la qualità degli ambienti idrici, sia superficiali sia in profondità. A questo scopo bisognerebbe valutare la necessità di igienizzare il digestato.

## 4.2. Crescita delle piante di Zea mays

L'impiego del mais come coltura agraria non è tanto sviluppata in Alto Adige. Per le prove pratiche dell'uso del digestato abbiamo impiegato questa specie perchè ha una crescita rapida. Per controllare l'andamento della crescita sono state documentate le piantine tramite fotografie e misurazione dell'altezza. Dopo una settimana le piantine sono cresciute a velocità regolare fino a 40-70 mm/giorno (Fig. 10).



**Figura 10: Le piantine dopo il travaso**

Inizialmente le piante cresciute in substrato 50:50 avevano un colore giallastro con foglie sottili e danneggiate dalle lumache. Le piante in substrato 30:70 e 100% di terra avevano una crescita normale con piccoli danneggiamenti da lumache (Fig. 11).



**Figura 11: Danneggiamento da lumache**

Dopo quattro settimane, il 26 maggio 2013, le piante avevano un'altezza di 30-35 cm, e si poteva vedere che le venti piante con digestato si sono sviluppate e sono diventate più sane e più resistenti delle dieci piante in sola terra.

Il 17 giugno 2013, dopo altre tre settimane, sono state raccolte tre piante, lavate, asciugate ed è stato misurato separatamente il peso fresco delle radici e della parte aerea (Allegato). Ciò è stato fatto per analizzare i parametri chimici (Tab. 6) del terreno nel quale sono cresciute.

**Tabella 6: Parametri chimici dei diversi substrati utilizzati**

PARAMETRI	substrato 50:50	substrato 30:70	terra 100	media	deviazione standard
pH	5,7	6,2	6,8	6,2333	0,5508
sostanza secca	59,9	65	34,6	53,1667	16,2802
Umidità max.	40,1	35	65,4	46,8333	16,2802
Volumengewicht feucht. g/L	360	345	470	391,6667	68,2520
Salinità (g/L come KCl)	1,5	1,1	0,3	0,9667	0,6110
N- nitrico (nitrati) mg/l CAT Auszug	249,4	149,7	16	138,3667	117,1120
N- ammoniacale mg/l CAT Auszug	26,5	32,2	10,7	23,1333	11,1384
N in soluz (totale) mg/l CAT Auszug	275,9	181,9	26,7	161,5000	125,8463
Fosfati in soluz P2O5 mg/l CAT Auszug	140	68	54	87,3333	46,1447
Potassio in soluz K2O mg/l CAT Auszug	183	348	332	287,6667	90,9963
Magnesio in soluzi mg/l CAT Auszug	200	206	209	205,0000	4,5826
Sodio in soluzione mg/l CAT Auszug	37	61	20	39,3333	20,5994
Boro in soluzione mg/l CAT Auszug	0,58	0,58	0,45	0,5367	0,0751
Ferro in soluzione mg/l CAT Auszug	60	52	52	54,6667	4,6188
Manganese in soluz mg/l CAT Auszug	17,3	13,6	7,4	12,7667	5,0023
Rame g/kg CAT Auszug	1	0,9	0,8	0,9000	0,1000
Zinco g/kg CAT Auszug	6,5	5,3	4,7	5,5000	0,9165
Ceneri	24,7	27,6	13,7	22,0000	7,3328
Sost. organica (differ. Ceneri - s.s.)	35,3	37,4	20,9	31,2000	8,9816
Azoto % sulla sost.fresca Dumas	1,46	1,22	0,48	1,0533	0,5108
C/N max.	14	18	25	19,0000	5,5678

Il pH del substrato con 30% di digestato e sola terra è sempre intorno a 6 fino 6,5, mentre nei vasi con 50% di digestato risulta 5,7. La salinità è di 0,3 g/L nel substrato di sola terra, mentre varia tra 1,1 e 1,5 g/L nei substrati con di aggiunta di fango. La media del contenuto in potassio e magnesio è 287 mg/l e 205 mg/l, relativamente alta in confronto delle medie impostate dal Decreto Legislativo n.75 del 29 aprile 2010 che è “Il riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti a norma dell’articolo 13 della legge 7 luglio 2009, n.88”. Le piante cresciute in sola terra hanno la sostanza secca, la sostanza organica e la percentuale di azoto sulla sostanza secca bassa ed un umidità massima alta in confronto alle piante cresciute su substrati con fertilizzante.



**Figura 12: Confronto tra piante cresciute con 50% di digestato (sinistra) e piante cresciute con 30% digestato (destra) e piante senza digestato (in mezzo)**

Il 24 giugno 2013 tutte le piante sono state raccolte, pulite le radici ed i fusti pesati separatamente (Fig. 12). L'altezza e il peso sono stati misurati e sono riportati nella tabella 6. Nella fase finale l'altezza media delle piante è stata 104,62 cm. L'altezza media delle piante con 100% di terra è 84,6 cm, l'altezza media delle piante con 50% di fango è 115 cm e l'altezza media delle piante con 30% di fango è 114,22 cm (Tab. 7).



**Tabella 7: Peso e altezza di *Zea mays*, cerchiati: altezza e peso più elevati**

	Peso Fresco	Peso Fresco	Lunghezza	Peso Fresco	Peso Fresco	Lunghezza	Peso Fresco	Peso Fresco	Lunghezza
	100% torba			50%fango			30%fango		
radice 1	602			601			821		
radice 2	685			743			1025		
radice 3	974			787			1247		
radice 4	1951			658			1325		
radice 5	284			748			1442		
radice 6	482			109			1371		
radice 7	948			1981			1348		
radice 8	1820			899			1149		
radice 9	764			1915			22		
radice 10	431			431			2100		
<b>stelo 1</b>	38			125	126,24		118		
<b>stelo 2</b>	98		76	217		105	242		111
<b>stelo 3</b>	101		84	311		123	322		126
<b>stelo 4</b>	182		99	219		110	278		130
<b>stelo 5</b>	41	44,33	67	236		115	220	224,09	128
<b>stelo 6</b>	147	145,16	91	55	48,59	88	319	305,69	124
<b>stelo 7</b>	85	85,72	81	407	298,72	144	227	222,33	118
<b>stelo 8</b>	233	231,02	105	229	231,45	126	286	282,51	121
<b>stelo 9</b>	130		85	312	316,33	139	4		23
<b>stelo 10</b>	72	71,13	74	152		85	535		147

La media dei pesi freschi misurati a Merano su tutte le dieci piante di ciascun gruppo è stata con 100% di terra 112,7 g, con 50% di digestato intorno ai 226,3 g e con 30% di digestato 255,1 g. Risulta quindi che le piante con una percentuale di 30% e 50% di fango hanno un peso maggiore in confronto alle piante senza digestato.

Queste piante di mais hanno la foglia molto grassa e il colore verde scuro è notevolmente diverso da quello delle piante cresciute solo in terra.

Le piante con 100% di terra avevano una media di peso fresco di 115,4 g e una media di peso secco di 21,36 g.

Il peso fresco delle piante analizzate con 50% di digestato aveva una media di 204,26 g e una media di peso secco di 33,05 g.

Le piante con 30% di digestato avevano una media del peso fresco di 207,72 g e una media del peso secco di 44 g.

La differenza tra peso fresco e peso secco è stata 94,11 g di acqua nelle piante con 100% di terra, 171,21 g d'acqua nelle piante con 50% di digestato e 163,72 g nelle piante con 30% di digestato. Le piante con la percentuale di contenuto di digestato più alto hanno perso più acqua in assoluto.

**Tabella 8: Valori di peso fresco e secco e lunghezza dei fusti di 5 piante selezionate in laboratorio**

	100% torba				50%fango				30%fango		
	Peso fresco	Peso secco	lunghezza		Peso fresco	Peso secco	lunghezza		Peso fresco	Peso secco	lunghezza
stelo 5	44,33	5,68	67	stelo 1	126,24	16,9		stelo 5	224,09	36,64	128
stelo 6	145,16	21,63	91	stelo 6	48,59	5,27	88	stelo 6	305,69	51,49	124
stelo 7	85,72	11,24	81	stelo 7	298,72	59,13	144	stelo 7	222,33	38,02	118
stelo 8	231,02	58,46	105	stelo 8	231,45	32,47	126	stelo 8	282,51	49,85	121
stelo 10	71,13	9,8	74	stelo 9	316,33	51,51	139	stelo 9	4		23

**Tabella 9: Analisi statistica descrittiva del peso fresco e del peso secco di tutte le piante analizzate**

**Statistica descrittiva**

	N	portata	minimo	massimo	Media	Errore standard	deviazione standard	varianza
Contenuto Peso Fresco	5	186,69	44,33	231,02	115,47	33,27	74,40	5536,32
Contenuto Peso Secco	5	52,78	5,68	58,46	21,36	9,63	21,55	464,59
Lunghezza Torba	5	38,00	67,00	105,00	83,60	6,66	14,89	221,80
Fango 50 Peso Fresco	5	267,74	48,59	316,33	204,26	51,25	114,61	13135,48
Fango 50 Peso Secco	5	53,86	5,27	59,13	33,05	10,13	22,65	513,45
Lunghezza Fango50	4	56,00	88,00	144,00	124,25	12,66	25,32	641,58
Fango 30 Peso Fresco	4	83,36	222,33	305,69	258,65	21,00	42,01	1765,19
Fango 30 Pesca Secco	4	14,85	36,64	51,49	44,00	3,87	7,75	60,08
Lunghezza Fango30	5	105,00	23,00	128,00	102,80	20,01	44,76	2003,70

Tramite la statistica descrittiva (Tab. 9) si possono vedere il minimo e il massimo dei pesi freschi o secchi, la media, la deviazione standard e la varianza.

Il risultato delle piante con il 30% di fango nel peso fresco si differenzia sostanzialmente dagli altri pesi freschi. Il minimo del peso fresco di queste piante era 222,33 g ed il massimo delle quattro piante analizzate era 305,69 g.

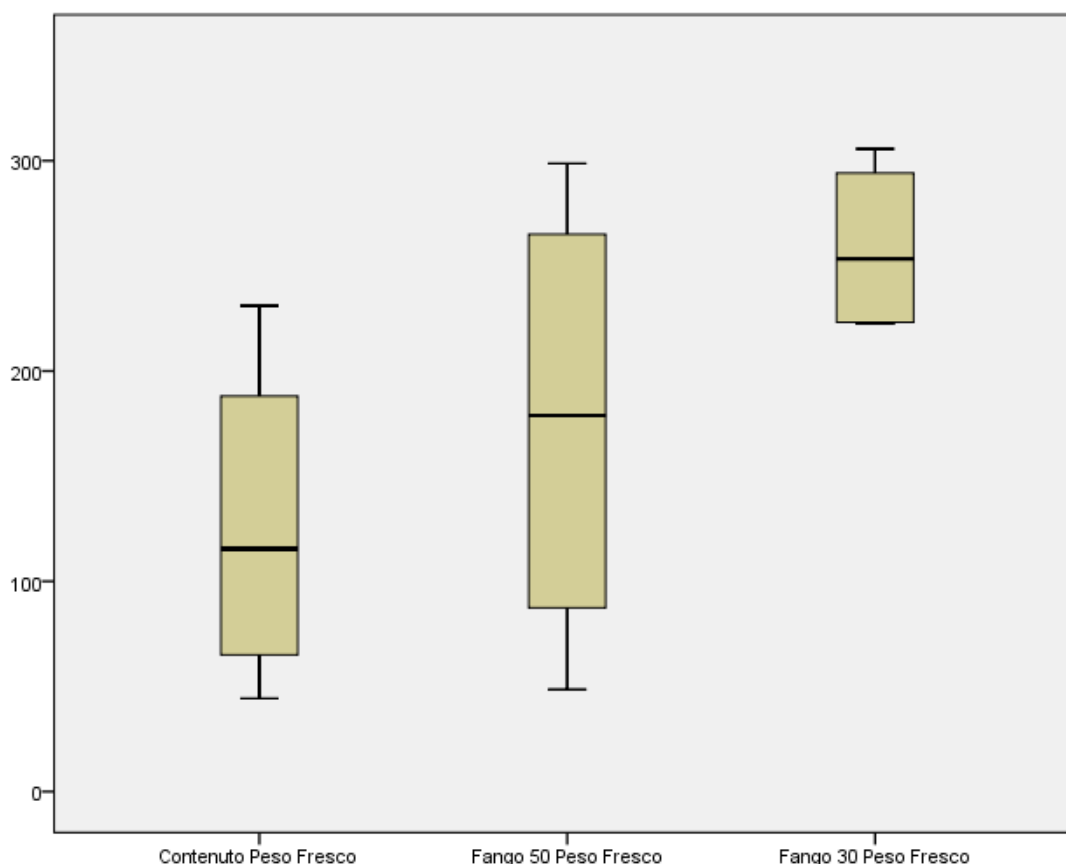
Nelle piante con una percentuale di 30% fango è stata scartata una pianta, perché il valore era troppo basso per la statistica. Il valore della pianta scartata era 4 g con peso fresco e non si è potuto più pesare il peso secco, perché durante le prove la pianta è sparita.

La mediana del peso fresco del contenuto con quattro variabili è 115,44 g, il massimo è 231,02 g ed il minimo 44,33 g.

La mediana del peso fresco delle piante con 50% di fango con quattro variabili è 178,84 g del quale il massimo è 298,72 g ed il minimo 48,59 g.

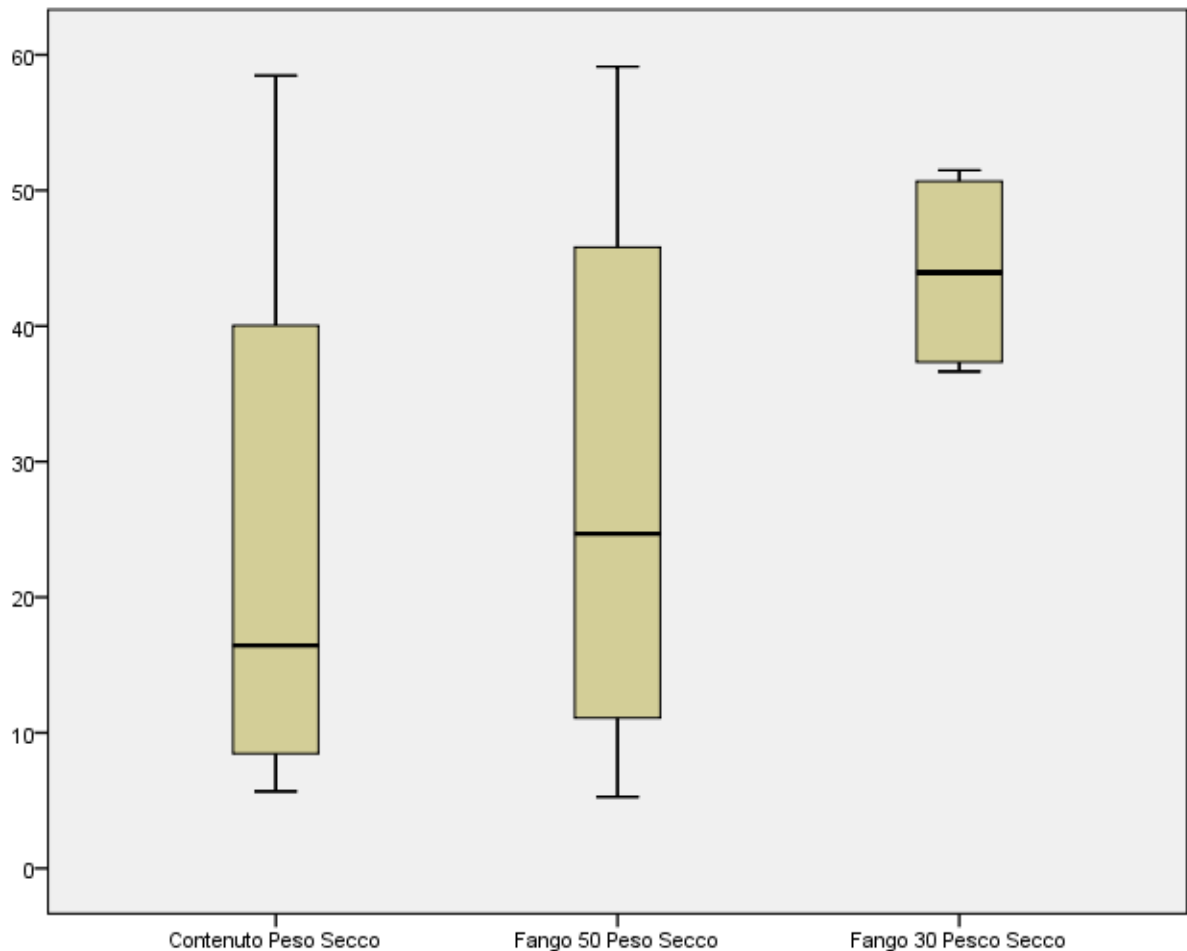
La mediana del peso fresco delle piante con 30% di fango con quattro variabili calcolate è 253,3 g dal quale il massimo è 305,69 g ed il minimo 222,33 g.

Questa mediana è stata la più alta delle mediane calcolate. Le piante con 30% di fango sono le piante cresciute più sane e stabili. I valori massimi e minimi del peso di queste piante sono mediamente alti in confronto agli altri pesi valutati.



**Figura 13: Boxplot del peso fresco dei tre gruppi di piante (y- asse misurato in grammi)**

Nella figura 13 si vedono i confronti mediante boxplot relativo ai pesi freschi delle piante. Si osserva che c'è molta variabilità nelle piante con contenuto di sola terra e con 50% di fango in confronto alle piante con 30% fango. Le piante con contenuto di sola terra e con 50% di fango richiedono un aumento degli indici di qualità e del contenuto di fango. Si noti che la mediana delle piante con 50% di fango è simmetrica attorno al valore centrale, gli altri due non sono simmetrici.



**Figura 14: Boxplot calcolato del peso secco (y-asse misurato in grammi)**

Nel boxplot del peso secco (Fig. 14) si nota che la scala dei valori è molto più bassa della scala del boxplot del peso fresco. La mediana del peso secco del contenuto in sola terra con quattro variabili è 16,43 g dai quali il massimo di 58,46 g e il minimo di 5,68 g.

La mediana del peso secco delle piante di 50% di fango con quattro variabili è 24,68 g del quale il massimo è 59,13 g ed il minimo 5,27 g.

La mediana del peso secco delle piante con 30% di fango con quattro variabili calcolate è 43,93 g del quale il massimo è 51,49 g ed il minimo 36,64 g. Questa mediana del peso secco risulta la più alta delle mediane calcolate. Dall'analisi del peso secco delle piante con il 30% di fango si è potuto verificare che le piante hanno accumulato una grande quantità d'acqua e nutrienti rispetto alle piante degli altri due gruppi. I valori massimi e minimi del peso di queste piante sono alti in confronto agli altri pesi valutati.

Nella figura rappresentata nel grafico 14 si vedono i confronti mediante boxplot relativo ai pesi secchi delle piante. Si osserva che c'è molta variabilità nelle piante con contenuto di sola terra e di 50% di fango rispetto alle piante con 30% fango.

Le piante con contenuto di sola terra e con 50% di fango richiedono un aumento degli indici di qualità e contenuto del fango.

Si noti che solo la mediana delle piante con 30% di contenuto di fango è simmetrica attorno al valore centrale.

Facendo riferimento al peso secco pesato in laboratorio il boxplot ha una tendenza simile a quella del peso fresco. Solamente la simmetria della mediana e i pesi sono differenti.

La differenza tra il peso fresco e il peso secco si è ridotta sostanzialmente, questo vuol dire che le piante hanno potuto accumulare molta acqua durante la crescita. La differenza della mediana del contenuto tra peso fresco e peso secco è di 99 g, la differenza della mediana del 50% di fango è 154,16 g ed la differenza della mediana tra peso fresco e peso secco di 30% di fango è 209,36 g.

La differenza tra il minimo del peso fresco e il peso secco dei valori del contenuto di sola terra è 38,65 g e la differenza del massimo è 172,65 g. Analizzando la differenza del valore minimo del peso fresco e del peso secco delle piante con un 50% di fango è di 43,32 g e il valore massimo è di 239,59 g. Le piante con una percentuale di 30% di fango hanno la differenza del valore minimo tra peso fresco e peso secco di 185,68 g e la differenza dei valori massimi è di 254,2 g.

Il trattamento con il fango al 30% ha consentito una maggiore crescita e un elevato peso fresco e secco. Invece senza trattamento del terreno con fango come fertilizzante agronomico le piante hanno un peso minore rispetto alle piante con trattamento.

Considerando, inoltre, per ogni tipo di trattamento le tre diverse tecniche di concimazione, si può osservare come le piante allevate nel substrato con 30% di fango crescano maggiormente rispetto alle piante in terra.

### 4.3. Contenuto di clorofilla a, clorofilla b e carotenoidi

Tabella 10: Contenuto di clorofilla e carotenoidi

Sample	Dilution	A 1	A 2	A 3	Clorofilla a		Clorofilla b		Carotenoidi	
					µgChl/gfoglia	mq Chl/G foglia	µgChl/gfoglia	mq Chl/G foglia	µgCar/gfoglia	mq Car/G foglia
S2 50 1	3	0,73	0,34	1,19	940,90	0,94	365,76	0,37	564,95	0,56
S2 50 1	5	0,52	0,24	0,89	1677,88	1,68	429,47	0,43	701,86	0,70
S2 50 2	4	0,70	0,33	1,00	1193,10	1,20	439,06	0,50	630,13	0,63
S2 50 2	4	0,51	0,24	0,78	877,34	0,88	362,88	0,36	492,20	0,49
S3 50 1	4	0,48	0,26	0,66	778,39	0,78	485,30	0,49	408,76	0,41
S3 50 2	4	0,52	0,30	0,67	838,54	0,84	579,84	0,58	415,63	0,42
S4 50 1	4	0,46	0,34	0,59	650,56	0,65	828,60	0,83	357,44	0,36
S4 50 2	4	0,52	0,40	0,62	729,61	0,73	968,28	0,97	371,93	0,37
S2 50 2	4	0,74	0,31	0,90	1307,23	1,31	373,53	0,37	561,52	0,56
S5 50 1	4	0,89	0,35	1,01	1591,07	1,59	374,20	0,37	630,86	0,63
S5 50 1	5	0,58	0,27	0,78	1843,04	1,85	510,01	0,51	613,21	0,61
S5 50 2	4	0,88	0,38	0,98	1538,52	1,54	503,30	0,50	611,44	0,61
S10 50 1	4	0,75	0,46	0,83	1156,43	1,16	979,76	0,98	503,76	0,50
S10 50 2	4	0,76	0,44	0,90	1217,37	1,22	850,40	0,85	556,61	0,56
S1 30 1	4	0,82	0,35	0,78	1456,10	1,46	415,13	0,42	485,16	0,49
S1 30 2	4	0,83	0,36	0,77	1453,23	1,45	452,46	0,45	476,80	0,48
S2 30 1	4	0,61	0,23	0,60	1107,21	1,11	212,67	0,21	371,43	0,37
S2 30 2	4	0,77	0,32	0,76	1371,96	1,37	375,88	0,38	468,84	0,47
S3 30 1	4	0,39	0,16	0,38	701,05	0,70	185,05	0,19	233,59	0,23
S3 30 1	3	0,49	0,20	0,48	651,82	0,65	177,94	0,18	223,21	0,22
S3 30 1	2	0,73	0,32	0,80	641,34	0,64	216,42	0,22	247,64	0,25
S3 30 2	4	0,51	0,18	0,50	932,98	0,93	137,92	0,14	311,27	0,31
S3 30 2	2	1,16	0,52	1,28	1009,85	1,01	361,15	0,36	396,89	0,40
S3 30 2	3	0,67	0,25	0,67	914,29	0,91	172,35	0,17	315,50	0,32
S4 30 1	4	0,53	0,19	0,57	971,97	0,97	123,62	0,12	355,62	0,36
S4 30 1	4	1,17	0,51	1,47	2046,56	2,05	656,11	0,66	922,43	0,92
S4 30 1	3	0,66	0,28	0,72	880,65	0,88	247,14	0,25	336,10	0,34
S4 30 2	3	0,83	0,31	0,87	1129,98	1,13	200,91	0,20	408,06	0,41
S10 30 1	4	0,71	0,28	0,68	1282,20	1,28	279,05	0,28	422,31	0,42
S10 30 2	4	1,03	0,44	1,01	1810,10	1,81	545,62	0,55	622,88	0,62
S10 30 2	4	0,74	0,31	0,73	1308,18	1,31	367,91	0,37	450,78	0,45
S1 100 1	2	0,55	0,37	0,62	517,29	0,52	407,13	0,41	188,26	0,19
S1 100 2	2	0,39	0,20	0,56	406,65	0,41	168,17	0,17	176,72	0,18
S1 100 2	1	0,76	0,32	0,79	338,84	0,34	94,17	0,09	122,10	0,12
S2 100 1	1	0,73	0,25	0,88	336,97	0,34	34,51	0,03	138,21	0,14
S2 100 2	1	0,57	0,21	0,69	259,55	0,26	39,33	0,04	108,86	0,11
S3 100 1	1	0,84	0,33	0,91	379,18	0,38	80,94	0,08	142,58	0,14
S3 100 2	1	1,10	0,46	1,17	488,16	0,49	136,88	0,14	182,90	0,18
S3 100 2	2	0,43	0,15	0,62	401,32	0,40	47,29	0,05	195,00	0,19
S4 100 1	1	0,48	0,17	0,51	219,67	0,22	28,46	0,03	79,17	0,08
S4 100 2	1	0,62	0,25	0,67	278,19	0,28	70,43	0,07	104,26	0,10
S9 100 1	1	0,49	0,24	0,53	206,05	0,21	95,85	0,10	82,20	0,08
S9 100 2	1	0,40	0,16	0,43	178,40	0,18	43,29	0,04	67,65	0,07

Sample ID	Result	Flag	Dilution	λ			Clorofilla a		Clorofilla b		Carotenoidi	
				μL	A665	A649	A470	μgChl/gfoglia	mg Chl/G foglia	μgChl/gfoglia	mg Chl/G foglia	μgCar/gfoglia
LENA013	A											
S2 50 1			3	0,728	0,335	1,193	940,90	0,94	365,76	0,37	564,95	0,56
S2 50 1			5	0,518	0,238	0,889	1677,88	1,68	429,47	0,43	701,86	0,70
S2 50 2			4	0,700	0,330	1,004	1199,10	1,20	499,06	0,50	630,13	0,63
S2 50 2			4	0,512	0,241	0,782	877,34	0,88	362,88	0,36	492,20	0,49
S3 50 1			4	0,478	0,262	0,657	778,39	0,78	485,30	0,49	408,76	0,41
S3 50 2			4	0,523	0,299	0,671	838,54	0,84	579,84	0,58	415,63	0,42
S4 50 1			4	0,460	0,342	0,587	650,56	0,65	828,60	0,83	357,44	0,36
S4 50 2			4	0,522	0,396	0,616	729,61	0,73	968,28	0,97	371,93	0,37
S2 50 2			4	0,739	0,310	0,897	1307,23	1,31	373,53	0,37	561,52	0,56
S5 50 1			4	0,887	0,354	1,008	1591,07	1,59	374,20	0,37	630,86	0,63
S5 50 1			5	0,575	0,271	0,783	1849,04	1,85	510,01	0,51	613,21	0,61
S5 50 2			4	0,879	0,384	0,982	1538,52	1,54	503,30	0,50	611,44	0,61
S10 50 1			4	0,747	0,464	0,826	1156,49	1,16	979,76	0,98	503,76	0,50
S10 50 2			4	0,761	0,436	0,903	1217,97	1,22	850,40	0,85	556,61	0,56

Il contenuto di clorofilla a delle piante cresciute in 50% di fango ha una media di 1,17 mg/g di foglia, il contenuto di clorofilla b ha una media di 0,58 mg/g di foglia e i carotenoidi hanno una media di 0,53 mg/g di foglia.

Sample ID	Result	Flag	Dilution	λ			Clorofilla a		Clorofilla b		Carotenoidi	
				μL	A665	A649	A470	μgChl/gfoglia	mg Chl/G foglia	μgChl/gfoglia	mg Chl/G foglia	μgCar/gfoglia
LENA013	A											
S1 30 1			4	0,823	0,345	0,784	1456,10	1,46	415,13	0,42	485,16	0,49
S1 30 2			4	0,827	0,356	0,772	1453,23	1,45	452,46	0,45	476,80	0,48
S2 30 1			4	0,611	0,232	0,596	1107,21	1,11	212,67	0,21	371,43	0,37
S2 30 2			4	0,773	0,321	0,756	1371,96	1,37	375,88	0,38	468,84	0,47
S3 30 1			4	0,394	0,162	0,377	701,05	0,70	185,05	0,19	233,59	0,23
S3 30 1			3	0,489	0,203	0,480	651,82	0,65	177,94	0,18	223,21	0,22
S3 30 1			2	0,734	0,324	0,797	641,34	0,64	216,42	0,22	247,64	0,25
S3 30 2			4	0,509	0,184	0,499	932,98	0,93	137,92	0,14	311,27	0,31
S3 30 2			2	1,162	0,522	1,277	1009,85	1,01	361,15	0,36	396,89	0,40
S3 30 2			3	0,672	0,255	0,674	914,29	0,91	172,35	0,17	315,50	0,32
S4 30 1			4	0,527	0,185	0,567	971,97	0,97	123,62	0,12	355,62	0,36
S4 30 1			4	1,167	0,506	1,472	2046,56	2,05	656,11	0,66	922,43	0,92
S4 30 1			3	0,663	0,277	0,719	880,65	0,88	247,14	0,25	336,10	0,34
S4 30 2			3	0,828	0,310	0,870	1129,98	1,13	200,91	0,20	408,06	0,41
S10 30 1			4	0,712	0,279	0,680	1282,20	1,28	279,05	0,28	422,31	0,42
S10 30 2			4	1,027	0,438	1,006	1810,10	1,81	545,62	0,55	622,88	0,62
S10 30 2			4	0,738	0,309	0,727	1308,18	1,31	367,91	0,37	450,77	0,45

Il contenuto di clorofilla a delle piante cresciute in 30% di fango ha una media di 1,16 mg/g di foglia, il contenuto di clorofilla b ha una media di 0,30 mg/g di foglia e i carotenoidi hanno una media di 0,41 mg/g di foglia.

LE 2013-07-04 15:20:33				volumi etanolo		20							
Sample ID	Result	Flag	Dilution	A 1	A 2	A 3	Clorofilla a		Clorofilla b		Carotenoidi		
	A		$\mu$ L	A665	A649	A470	$\mu$ gChl/gfoglia	mg Chl/G foglia	$\mu$ gChl/gfoglia	mg Chl/G foglia	$\mu$ gCar/gfoglia	mg Car/G foglia	
LENA013													
S1 100 1			2	0,551	0,366	0,619	517,29	0,52	407,13	0,41	188,26	0,19	
S1 100 2			2	0,389	0,198	0,565	406,65	0,41	168,17	0,17	176,72	0,18	
S1 100 2			1	0,764	0,318	0,786	338,84	0,34	94,17	0,09	122,10	0,12	
S2 100 1			1	0,726	0,247	0,876	336,97	0,34	34,51	0,03	138,21	0,14	
S2 100 2			1	0,567	0,206	0,691	259,55	0,26	39,33	0,04	108,86	0,11	
S3 100 1			1	0,841	0,328	0,912	379,18	0,38	80,94	0,08	142,58	0,14	
S3 100 2			1	1,102	0,460	1,175	488,16	0,49	136,88	0,14	182,90	0,18	
S3 100 2			2	0,434	0,151	0,615	401,32	0,40	47,29	0,05	195,00	0,19	
S4 100 1			1	0,477	0,168	0,505	219,67	0,22	28,46	0,03	79,17	0,08	
S4 100 2			1	0,624	0,253	0,669	278,19	0,28	70,43	0,07	104,26	0,10	
S9 100 1			1	0,487	0,239	0,532	206,05	0,21	95,85	0,10	82,20	0,08	
S9 100 2			1	0,399	0,160	0,433	178,40	0,18	43,29	0,04	67,65	0,07	

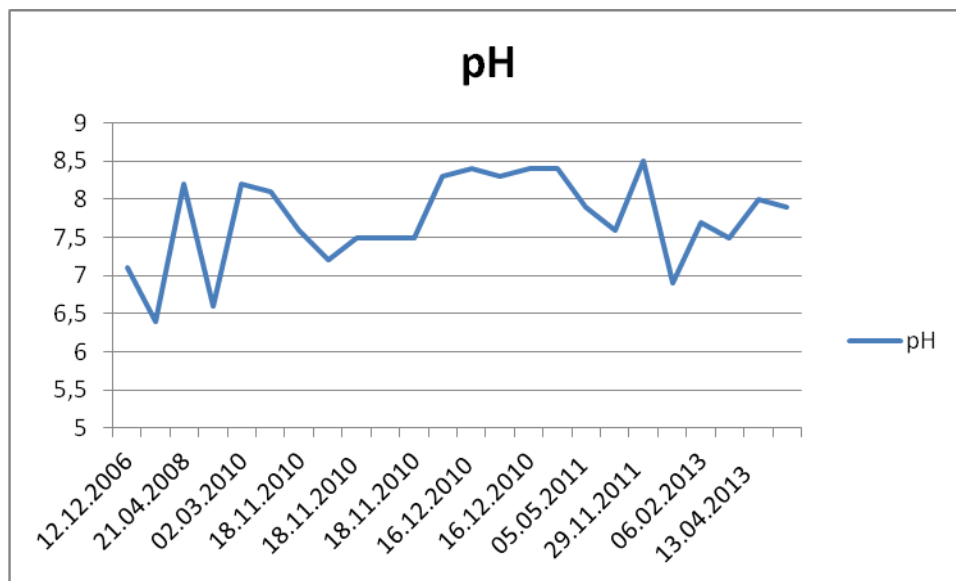
Il contenuto di clorofilla a delle piante cresciute in sola terra ha una media di 0,33 mg/g di foglia, il contenuto di clorofilla b ha una media di 0,10 mg/g di foglia e i carotenoidi hanno una media di 0,13 mg/g di foglia

Le piante cresciute in sola terra hanno un contenuto di clorofilla a e b e un contenuto di carotenoidi minore delle piante cresciute con il digestato. Oltre alla clorofilla anche i carotenoidi analizzati sono coinvolti nel processo della fotosintesi. Il contenuto in carotenoidi, è maggiore nelle piante cresciute in una percentuale di 30% e 50% di fango.

#### 4.4. Analisi del digestato

Il valore del pH indica l'acidità e la basicità di una soluzione. Il digestato analizzato nell'impianto di fermentazione di Lana ha una media di pH di 7,775. La sostanza secca del digestato varia, ma ha una media di 21,55 g.





**Figura 15: Andamento del pH nei campioni analizzati dal 2006 al 2013**

L'andamento del pH (Fig. 15) è intorno a 7, mentre tra il 2006 e 2010 va anche sotto il 6,5. La correlazione tra pH e salinità è 0,735. L'indice di correlazione è positivo, il che significa che c'è una correlazione assoluta quando alla variazione del pH corrisponde una variazione rigidamente dipendente della salinità. Nella tabella 11 è stato calcolato il valore medio di ogni variabile.

**Tabella 11: Medie dei parametri analizzati nei campioni di digestato dell'impianto di biogas a Lana**

pH	7,775
sostanza secca	21,55
Umidità max.	78,45
Volumengewicht feucht. g/L	680
Salinità (g/L come KCl)	3,95
N- nitrico (nitrati) mg/l CAT Estrazione	5,566667
N- ammoniacale mg/l CAT Estrazione	540,275
N in soluz (totale) mg/l CAT Estrazione	544,475
Fosfati in soluz P2O5 mg/l CAT Auszug	228
Potassio in soluz K2O mg/l CAT Estrazione	405,75
Magnesio in soluzi mg/l CAT Estrazione	82,75
Sodio in soluzione mg/l CAT Estrazione	196,5
Boro in soluzione mg/l CAT Estrazione	0,8325
Ferro in soluzione mg/l CAT Estrazione	155
Manganese in soluz mg/l CAT Estrazione	10,45

Rame g/kg CAT Estrazione	0,3
Zinco g/kg CAT Estrazione	2,125
Ceneri	3,2
Sost. organica (differ. Ceneri - s.s.)	18,35
Azoto % sulla sost.fresca Dumas	1,2625
C/N max.	8,75
<b>Laboratorio biologico</b>	
Esch. coli 1 camp. tra 1.000 e 5.000 ufc	14.064,29
Enterobacteriaceae totali UFC/g	111.214,3
Streptococchi fecali (MPN/g s.s.) UFC/g	59.257,14

La presenza di *E.coli*, *Enterobacteriaceae* e *Streptococchi fecali* è alta.

## 5. CONCLUSIONI

Da quanto emerso dai dati delle analisi svolte sul digestato prodotto dall'impianto di biogas a Lana e dalle misurazioni effettuate sulle piante, si può osservare come le piante di *Zea mays* allevate su un substrato con 30% e 50% di digestato crescono maggiormente e aumentano il contenuto di pigmenti fogliari.

Con questo esperimento, effettuato in campo e in laboratorio, ho analizzato l'efficacia del digestato come fertilizzante agronomico, proveniente da un impianto di biogas.

In conclusione si può affermare che l'impiego agronomico del digestato prelevato da un impianto di biogas, è molto efficace se somministrato come ammendante in una percentuale inferiore al 50%. Tuttavia è essenziale una valutazione della carica batterica in modo da escludere la contaminazione di *E. coli*, *Enterobacteriaceae* e *Streptococchi*. Saranno necessarie ulteriori analisi e approfondimenti per valutare l'andamento della crescita di questi batteri ed escludere questo problema.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Acerbi M., Berton M., Cini E., D'Andrea S., D'Apote L., Guidotti R., Liberatori S., Mancini M., Monni M., Papili R., Pari L., Recchia L., Rotuno D. (2008). Studio progetto biomassa ENAMA-Stato dell'arte degli impianti di produzione di energia da biomassa. Roma: Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola, 7-15.

Baldoni G., Mantovi P., Cortellini L., Dal Re L. e Toderi G. (2002). Fertilizzare le colture erbacee con fanghi di depurazione. L'Informatore Agrario n. 41, 31-37.

Battistini G., Battistoni P., Bellomo Renato B., Bolzanella D., Cecchi F., Ficoneri G., Frittelloni V., Innocenti L., Lucignano F., M.Lanz A., Mussapi R., Pavan P., Piccinno T., Polettini A. e Rolle E (2002). Il trattamento anaerobico dei rifiuti. Roma: ANPA-Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 4.

Bagnoli C. e Fantoni M. (2012). Energia da rifiuti 2.0: Il biogas. <http://www.stilenaturale.com/news/1551/Energia-da-rifiuti-20-il-Biogas.html> (04.11.2012).

Bermejo G., Ellmer F., Nielsen K., Sensel K. e Wragge V. (2010). Gärprodukte aus Biogasanlagen in der pflanzenbaulichen Verwertung, Potsdam.

Bozano Gandolfi P. (2010). Esperienze pratiche nella produzione di biogas e di energia da rifiuti. RS Rifiuti Solidi, Vol. XXIV n.2, marzo-aprile 2010.

Canet R. e Pomares F. (1994). Changes in physical, chemical ad physico- chemical parameters during the composting of municipal solid waste in two plants in Valencia. Valencia: Elsevier, 259-263.

Consorzio Italiano Compostatori -Gruppo di lavoro sulla digestione anaerobica (2011). Biogas e compost da rifiuti organici selezionati. Roma, 8-25.

Consorzio Italiano Compostatori –Gruppo di lavoro sulla digestione anaerobica – GDL digestione anaerobica (2011). L'integrazione tra la digestione anaerobica e il compostaggio.

CRPA (2009). L'uso dei fanghi di depurazione. Agricola-Reggio Emilia, 53-66.

D'Imporzano G., Adani F., Orzi V., Salati S., Scaglia B., Schievano A. e Tambone F. (2010). Assessing amendment and fertilizing properties of digestate from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost.

Dal Re L., Tampieri P. e Baldoni G. (2007). Fanghi di depurazione, buon concime per il girasole. L'Informatore Agrario n.9, 44-46.

EcoCenter, S.p.A (2009-2013) [www.eco-center.it](http://www.eco-center.it) (01.11.2013).

IASP-Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte (2012-2013). Institutsbericht 2012. 12, 30.

IBM SPSS Statistics 20 for Windows7, New York, Statistics.

ISPRA (2012). Rapporto rifiuti Urbani. Edizione 2012. ISPRA settore editoria. Giugno 2012, 116-117.

Kirsch A. (2011). Gärprodukte- Eine bedeutende Nährstoffquelle. H&K aktuell, n.6, 6.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe (2008). Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten landwirtschaftlichen Verwertung, 2-15, 49-54.

Lemmer A. (2011). Biogaserzeugung. Monaco (citato da Graf F. e Bajohr S. eds. Biogas-Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung (2012). Monaco: Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 160-163).

Lotter S. e Stegmann R. (1989). Verfahren zur anaeroben Behandlung organischer Siedlungsabfälle. Berlino. (citato da Thomè-Kozmiensky K.J edizione Biogas-Anaerobtechnik in der Abfallwirtschaft. Berlino: EF-Verlag für Energie-und Umwelttechnik GmbH, 215-228).

Mantovi P., Sassi D., Baldoni G. e Dal Re L. (2008). Buona qualità dei terreni con i fanghi di depurazione- L'Informatore Agrario n. 31, 55-57.

Peratoner G., Matteazzi A. e Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale Laimburg (2012). Aspetti agronomici ed ambientali dell'impiego del digestato da biogas in agricoltura. Obstbau und Weinbau n.49 (1): 226.

Piccinini S. (2010). Sistemi integrati aerobici/anaerobici di trattamento dei rifiuti organici ed altre biomasse (citato da CRPA Rizzardini G.B., Goi D. (2010). Recuperabilità dei fanghi di depurazione, IA Ingegneria Ambientale Vol. XXXIX n.7-8 lug-ago 2010).

Provincia Autonoma di Bolzano (2013). Biogas. <http://www.provincia.bz.it/agricoltura/temi/biogas.asp> (03.03.2013).

RAM srl (2013), Biogas. <http://www.ramservizi.it/index.php?p=biogas> (10.02.2013).

Rossi L. e Mantovi P. (2012). Il digestato un utile sottoprodotto del biogas. Conoscere per competere, Emilia Romagna.

Stadtmüller U. (2004). Grundlagen der Bioabfallwirtschaft: Lehr und Handbuch. Neuruppin: TK-Verlag, Karl Thomè-Kozmiensky, 166-408.

TIS Innovation Park (2010-2013), Bereich Energie und Umwelt. Erhebung der zur anaeroben Vergärung verfügbaren Biomasse in Südtirol- Abschließender Bericht. [http://www.tis.bz.it/doc-bereiche/ren\\_doc/pdf/erhebung-der-zur-anaeroben-vergaerung-verfuegbaren-biomasse-in-suedtirol/view](http://www.tis.bz.it/doc-bereiche/ren_doc/pdf/erhebung-der-zur-anaeroben-vergaerung-verfuegbaren-biomasse-in-suedtirol/view), 8-77 (13.03.2013).

VDLUFA- Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten (1991). Methodenbuch-Band 1-Probeentnahme und chemische Untersuchungen.

Vismara R., Malpei F., Centemero M. (2008). Biogas da rifiuti solidi urbani, 2-9, 17.

Vitolo S., Martelli L., Cavallini I. e Vanni L. (2012). Quadro italiano ed europeo di esperienze significative di co-digestione FORSU e fanghi di depurazione, 11-19.

Welburn A.R. e Lichtenthaler H. (1984). Formulae and program to determine total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. Advances in Photosynthesis Research Vol. II, Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague/Boston/Lancaster ISBN 90-247-29432.

### **1.1. Leggi**

-1986. Direttiva del Consiglio 12.06.1986, n.181. Protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura. 86/278/CEE

-1995. Legge Regionale 24.4.95, n. 50. Disciplina dello spandimento sul suolo dei liquami provenienti da insediamenti zootecnici e dello stoccaggio degli effluenti di allevamento.

-1999. Decreto legislativo 16.03.1999 n. 79. Aggiornato dalla Legge 239/04 e dal D.lgs. 387/03.

-2006. Legge Provinciale 26/05/2006, n.4, capo V Art.30 L'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.

-2006. Decreto legislativo 03.04.2006 n. 152. Norme in materia ambientale. Gazzetta ufficiale n.88, 14.04.2006, supplemento ordinario n.96.

-2006. Decreto ministeriale 07.04.2006. Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento. Gazzetta ufficiale n. 109, 12.05.2006.

-2009. Decreto ministeriale 11.11.2009. Direttive per l'attuazione delle norme in materia di energia elettrica di fonte rinnovabili di cui ai commi 1,2 e 3 dell'articolo 11 del D. Lgs. 16 marzo 1999, n. 79.

-2010. Decreto Legislativo 29.04.2010. Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della legge 7 luglio 2009, n.88.



## **1.2. Abbreviazioni**

°C= gradi centigradi

CO<sub>2</sub>= anidride carbonica

F.O.R.S.U.= Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano

FO=frazione organica

IAFR= impianti alimentati a fonti rinnovabili

UNA= unità bovina adulta







PESO

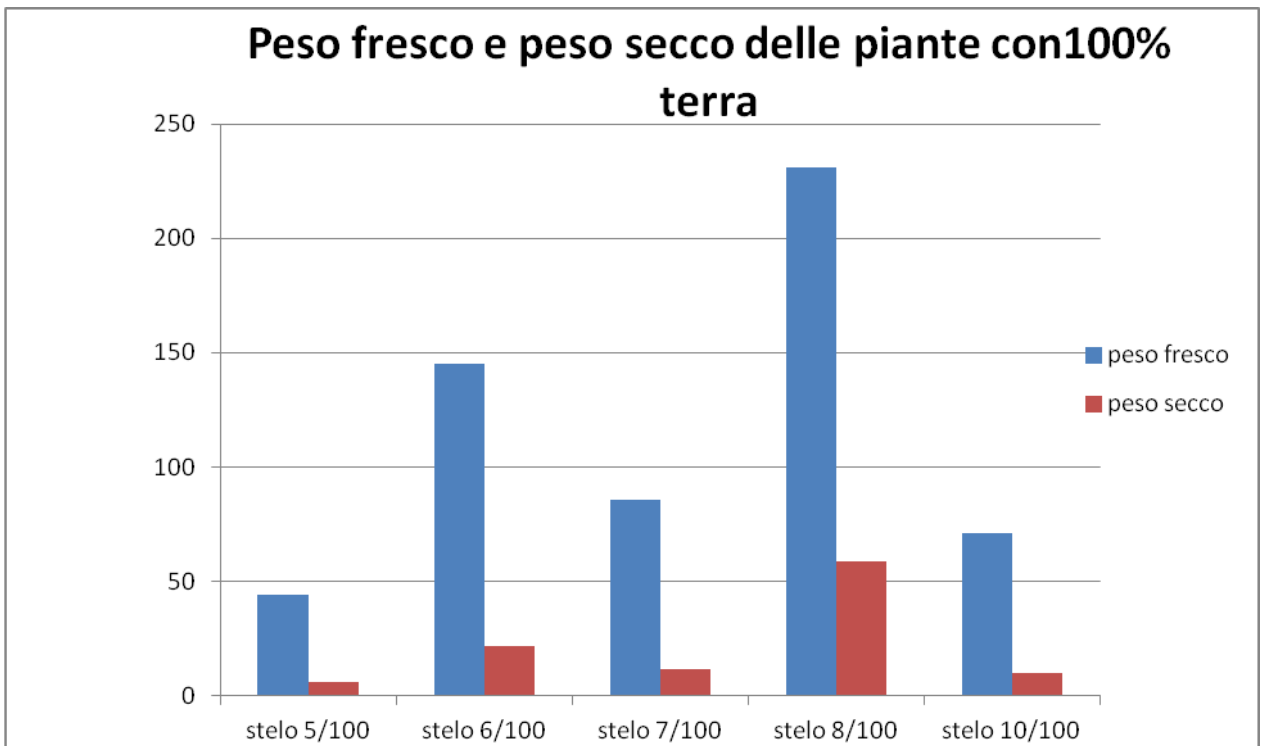
FRESCO

E

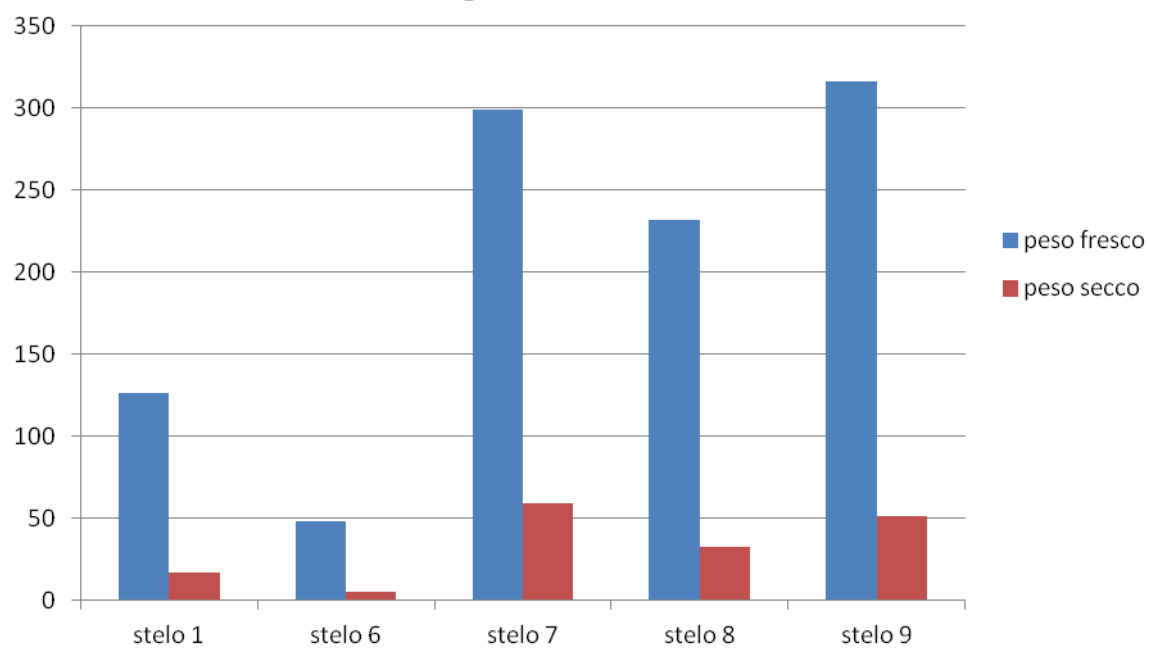
PESO

SECCO

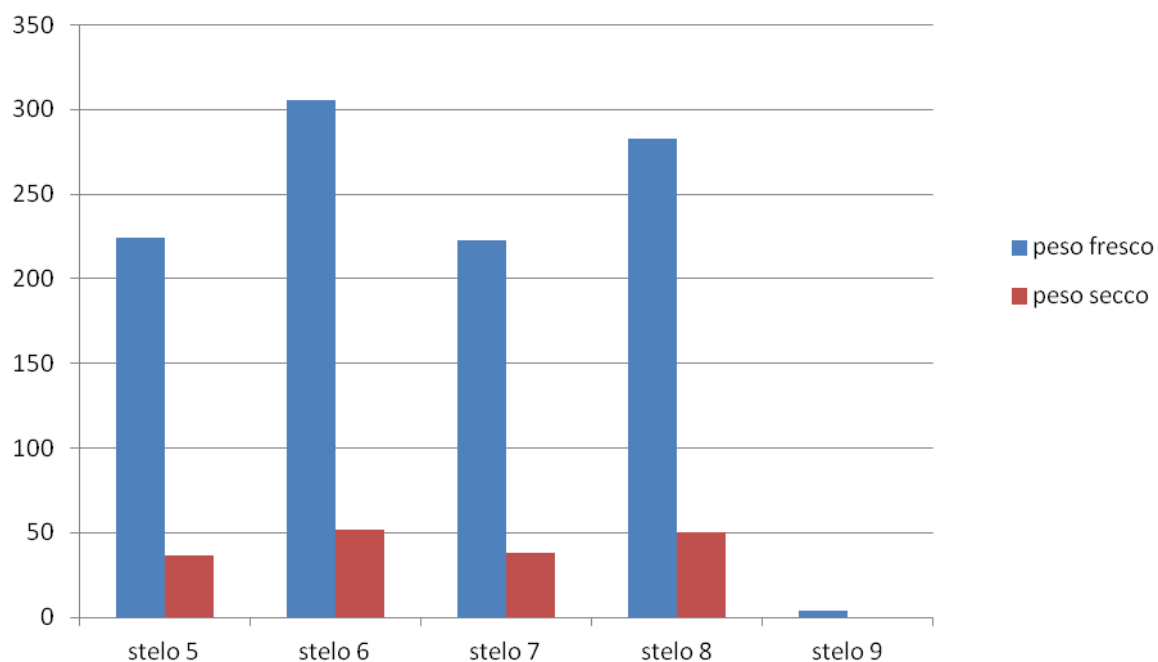
	100% torba				50%fango				30%fango		
	Peso fresco	Peso secco	lunghezza		Peso fresco	Peso secco	lunghezza		Peso fresco	Peso secco	lunghezza
stelo 5	44,33	5,68	67	stelo 1	126,24	16,9		stelo 5	224,09	36,64	128
stelo 6	145,16	21,63	91	stelo 6	48,59	5,27	88	stelo 6	305,69	51,49	124
stelo 7	85,72	11,24	81	stelo 7	298,72	59,13	144	stelo 7	222,33	38,02	118
stelo 8	231,02	58,46	105	stelo 8	231,45	32,47	126	stelo 8	282,51	49,85	121
stelo 10	71,13	9,8	74	stelo 9	316,33	51,51	139	stelo 9	4		23
media	115,472	21,362	83,6		204,266	33,056	124,25		207,724	44	102,8



### Peso fresco e peso secco delle piante con 50% digerato



### Peso fresco e peso secco delle piante con 30% digerato



POTENZIALE TEORETICO DIE RIFIUTI ORGANICI PRODOTTI NELL` ALTO ADIGE (T.I.S., 2010).

Bezirk	Theoretisches Potential [t/a]									
	020103	020106	020203	020301	020304	020501	020601	020701	020702	020703
Alta Val d'Isarco - Wipptal	125.823	216.547	98	0	0	14.737	20			
Bozano- Bozen	4.755	2.650	182	0	184	65.905	94			
Bugravio - Burgrafenamt	210.894	321.645	628	45.168	3.324	18.044	306			
Oltredige Bassa Atesina - Oberetsch Unterland	95.496	61.583	335	28.262	0	0	819			
Salto Sciliar - Salten Schiern	324.282	504.554	349	28	0	0	576			
Val d'Isarco - Eisacktal	211.755	334.106	237	57	0	14.737	45			
Val Pusteria - Pustertal	544.201	808.044	405	484	8.898	6.615	145			
Val Venosta - Vinschgau	191.630	306.578	265	0	994	2.450	95			
<b>Gesamt</b>	<b>1.708.835</b>	<b>2.555.708</b>	<b>2.500</b>	<b>74.000</b>	<b>13.400</b>	<b>122.488</b>	<b>2.100</b>			

Bezirk	Theoretisches Potential [t/a]									
	020701	020702	150103	200108	200125	200137	200138	200201	200701	200702
Alta Val d'Isarco - Wipptal	0	0	0	394	57	0	38	1.007		
Bozano- Bozen	1.235	191	0	5.973	135	0	1.484	3.982		
Bugravio - Burgrafenamt	765	30.341	17	5.901	191	0	1.227	3.716		
Oltredige Bassa Atesina - Oberetsch Unterland	6.860	11.652	60	1.969	121	5	839	3.522		
Salto Sciliar - Salten Schiern	19	151	0	1.584	5,0	0	237	945		
Val d'Isarco - Eisacktal	404	232	2	1.858	134	0	583	1.308		
Val Pusteria - Pustertal	0	332	5	8.363	261	0	1.197	667		
Val Venosta - Vinschgau	11	201	0	1.742	82	0	255	764		
<b>Gesamt</b>	<b>9.294</b>	<b>43.100</b>	<b>85</b>	<b>27.804</b>	<b>1.031</b>	<b>5</b>	<b>5.860</b>	<b>15.912</b>		