

**RELAZIONE FINALE DEL PROGETTO “COMEF”**

**Riutilizzo di biomasse di seconda generazione per la produzione multifunzionale di COmpost, MEtano e Funghi eduli a minimo impatto ambientale – D.M. 15534/7818/2013 del 31/07/2013**

## Sommario

1. Obiettivi e struttura del progetto.....	3
2. Attività svolte.....	4
WP1 – Coordinamento (DIBAF) .....	4
WP2 - LCA (DIBAF) .....	4
WP3 - Valutazione quali-quantitativa delle biomasse compostabili (CRA) .....	6
WP4 - Impianto multifunzionale di fermentazione del compost, produzione energetica e coltivazione funghi (DIBAF).....	10
WP5 - Valutazione quali-quantitativa del compost di fine ciclo e gestione ottimale (CRA).....	32
WP6 - Piano di sfruttamento dei risultati e ricadute (DIBAF).....	34
3. Considerazioni conclusive.....	35

## 1. Obiettivi e struttura del progetto

L'obiettivo generale del progetto è di ridurre ulteriormente l'impatto ambientale (Carbon footprint) dell'azienda agricola mediante l'applicazione di pratiche per il recupero e riutilizzo degli scarti aziendali. In particolare il progetto si pone come finalità quella di ottimizzare il riutilizzo degli scarti (biomasse vegetali) attraverso un processo multifunzionale di compostaggio che porti come risultato finale ai seguenti sottoprodotti derivati:

- Metano dalla fermentazione naturale: da recuperare ed utilizzare a fini energetici;
- Substrato utile per la coltivazione di funghi eduli;
- Compost finale da utilizzare a scopo ammendante, pacciamante ed antierosivo.

Gli obiettivi specifici del progetto riguardano:

- Ottimizzazione dei processi di raccolta degli scarti e di successiva distribuzione del compost;
- Progettazione e realizzazione micro-impianto innovativo per il processo di fermentazione anaerobica del compost aziendale;
- Recupero e riutilizzo a fini energetici del metano emesso dalla fermentazione del compost;
- Diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq. nel Life Cycle Assessment (LCA) dei prodotti aziendali;
- Miglioramento della qualità ammendante del compost aziendale mediante utilizzo di fondi di caffè locali (a km0) che da scarti e rifiuti diventano risorsa;
- Produzione, a basso impatto ambientale, di funghi coltivati su substrato arricchito;
- Riutilizzo del compost di fine ciclo, ancora ricco di elementi nutritivi e sostanza organica, a scopo ammendante, pacciamante ed antierosivo nel vigneto.

Il programma di lavoro per il raggiungimento degli obiettivi preposti è articolato in 6 WPs, ognuno dei quali fa riferimento ad una UO responsabile del suo svolgimento:

WP1 - Coordinamento (DIBAF)

WP2 - LCA (DIBAF)

WP3 - Valutazione quali-quantitativa delle biomasse compostabili (CRA)

WP4 - Impianto multifunzionale di fermentazione del compost, produzione energetica e coltivazione funghi (DIBAF)

WP5 - Valutazione quali-quantitativa del compost di fine ciclo e gestione ottimale (CRA)

WP6 - Piano di sfruttamento dei risultati e ricadute (DIBAF)

## 2. Attività svolte

### WP1 – Coordinamento (DIBAF)

Il DIBAF ha svolto il ruolo di responsabile della gestione e dello svolgimento del progetto sia dal punto di vista amministrativo che come supervisore scientifico, con un'importante attività di collegamento tra le UO e l'azienda Trebotti, in maniera continuativa per l'intera durata del progetto.

In particolare, il DIBAF ha seguito e controllato lo stato d'avanzamento delle attività previste tramite riunioni periodiche e confronti con l'azienda proponente e le UO di ricerca, volte a fare il punto della situazione, a valutare e garantire il rispetto del cronoprogramma, ad evidenziare eventuali punti di debolezza della sperimentazione e ad apportare le necessarie modifiche.

### WP2 - LCA (DIBAF)

L'obiettivo del WP2 è il calcolo degli impatti ambientali degli interventi previsti nel progetto, attraverso la metodologia che quantifica le emissioni climalteranti (valutate in CO<sub>2</sub> equivalente) prendendo in esame l'intero ciclo di vita LCA (Life Cycle Assessment) del processo considerato.

Per poter apprezzare i risultati del progetto in termini di riduzione delle emissioni, è necessario svolgere l'analisi LCA *ante e post operam*. L'analisi LCA per calcolare la *Carbon Footprint* è stata eseguita con il software Simapro 7.3.3 e il metodo IPCC 2007 GWP 100a V1.02, seguendo l'approccio ISO 14044.

Nella prima fase del progetto l'analisi LCA è stata applicata per valutare l'impatto ambientale *ante operam* cioè prima dell'introduzione delle innovazioni progettuali, scenario Business As Usual "BAU". Il calcolo effettuato per la stima delle emissioni nello scenario BAU tiene conto delle condizioni aziendali precedenti all'introduzione delle innovazioni previste dal progetto, ed in particolare considera la fermentazione delle biomasse di scarto tramite processo di compostaggio libero (dati di produzione 2013-2014-2015 media).

Dai calcoli effettuati relativamente alla condizione antecedente alle innovazioni introdotte dal progetto (Tabella 1) è risultato un impatto iniziale dell'azienda nello scenario BAU pari a circa 37 tonnellate di CO<sub>2</sub>, ripartito nei principali comparti ambientali della filiera produttiva aziendale.

**Tabella 1 – Emissioni CO<sub>2</sub> per fasi di produzione**

#### SCENARIO "BAU"

Tipologia di impatto	Campo	Cantina	Packaging	Totale Tonnellate CO <sub>2</sub> eq
Operazioni colturali	4,5			<b>4,5</b>
Materie prime		0,12	13	<b>13,12</b>
Consumi energetici		17		<b>17</b>
Gasolio	0,7			<b>0,7</b>
Trasporto materie prime	0,02	0,004	0,6	<b>0,62</b>

Smaltimento rifiuti		1,5		1,5
<b>Totale</b> (tonnellate CO <sub>2</sub> eq)	5,22	18,624	13,6	37,4

Come già evidenziato nel precedente progetto VINI3S, il processo di la produzione di compost a partire dagli scarti agricoli aziendali rappresenta una buona pratica agricola a fini ambientali, tuttavia il processo di fermentazione libera del compost ha come effetto secondario la produzione di metano e altri gas serra che aumentano il bilancio delle emissioni aziendali. In particolare il processo di fermentazione all'aperto e la successiva applicazione del compost a scopo ammendante sui terreni causa l'emissione di metano (CH<sub>4</sub>), gas con effetto climalterante, con un valore di Global Warming Potential (GWP) pari a 25 kg CO<sub>2</sub>/kg CH<sub>4</sub> (IPCC, 2006).

Nella seconda fase del progetto, a seguito della quantificazione di biogas producibile nei cicli previsti (si veda WP4 per tale quantificazione, riportata nella seguente Tabella 2) è stato possibile effettuare (ed aggiornare rispetto alla stima fornita nella precedente relazione sullo stato di avanzamento del progetto COMEF) il calcolo delle emissioni in CO<sub>2</sub> equivalente causate dai quantitativi di metano (CH<sub>4</sub>) derivanti dalla fermentazione dei residui vegetali compostati, e che sono state abbattute proprio grazie al micro impianto di fermentazione di tipo *Batch*.

In Tabella 2 sono riportati i quantitativi di metano producibile in m<sup>3</sup> riportati nell'unità di misura kg in funzione del peso specifico del metano e ricalcolati in CO<sub>2</sub>eq in funzione del GWP di CH<sub>4</sub>.

**Tabella 2 – Calcolo LCA relativo alle emissioni di altri gas non-CO<sub>2</sub> (metano) dovute alla produzione e fermentazione del compost aziendale**

Tipologia di emissione	Quantità (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	Quantità (kg CH <sub>4</sub> )	ton CO <sub>2</sub> eq
<i>Produzione metano I ciclo</i>	238	156	3,9
<i>Produzione metano II ciclo</i>	97	64	1,6
<i>Produzione metano III ciclo</i>	429	281	7,0
<b>TOTALE</b>	<b>764</b>	<b>501</b>	<b>12,5</b>

I risultati dell'analisi LCA condotta a livello aziendale dimostrano che le attività di progetto e la realizzazione del micro impianto di fermentazione di tipo *Batch*, consentono un risparmio a livello emissivo pari a ben 12,5 tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente all'anno. Tale valore riflette le emissioni di metano (CH<sub>4</sub>), tradotte in CO<sub>2</sub> equivalente, generate dal processo di fermentazione all'aperto di compost annualmente prodotto dall'azienda, che sono abbattute proprio grazie al micro impianto di fermentazione di tipo *Batch*.

### **WP3 - Valutazione quali-quantitativa delle biomasse compostabili (CRA)**

Il WP3 prevede la valutazione quantitativa e qualitativa delle biomasse utilizzabili, e la valutazione della migliore modalità di recupero di tutte le biomasse necessarie. In particolare, l'obiettivo di questo WP è stato quello di:

- a) quantificare le biomasse derivanti da scarti vegetali aziendali (vinacce, raspi, residui di potatura, etc.) con riferimento alla migliore epoca e modalità di raccolta del materiale mediante l'utilizzo di un macchinario in grado di trinciare e raccogliere i residui di potatura ed erba (Trincia-sarmenti con raccolta di biomasse) per il dimensionamento ottimale del microimpianto (WP4);
- b) valutare la migliore combinazione nella composizione quantitativa e qualitativa, in termini di frazioni ottimali di biomasse da avviare a compostaggio.

Le attività svolte nell'ambito del progetto relativamente a questo WP hanno, dunque, permesso di quantificare le biomasse derivanti da scarti aziendali da avviare al compostaggio e di organizzare l'approvvigionamento delle materie prime provenienti dai vigneti, individuando 3 cicli di fermentazione: 1) Periodo di vendemmia (agosto-ottobre) con produzione di raspi e vinacce; 2) Periodo di potatura del vigneto (febbraio) con produzione di tralci legnosi che vengono raccolti in campo e poi sminuzzati; 3) Periodo primaverile (maggio-luglio) caratterizzato principalmente dal controllo dell'inerbimento naturale del vigneto, con produzione di sfalci erbacei.

Per una corretta e ottimale quantificazione delle biomasse da avviare al compostaggio si è proceduto a caratterizzare la tipologia, i tempi di produzione ed i quantitativi delle biomasse aziendali derivanti da scarti vegetali aziendali (vinacce, raspi, residui di potatura, etc.). In particolare, si è fatto riferimento a:

#### **1. Biomasse derivanti dalle operazioni di vendemmia e vinificazione delle uve (raspi e vinacce)**

Per tale quantificazione si è proceduto alla misurazione in volume e alla determinazione del peso degli scarti derivanti da tali operazioni. Sulla base dei dati medi rilevati nelle ultime 4 annate (dati 2013-2016), la quantità di biomassa ottenuta tendenzialmente da fine agosto a metà ottobre ammonta, mediamente, a:

- 15 q.li/anno circa di raspi (peso fresco)
- 60 q.li/anno circa di vinacce (peso fresco)

per un totale di circa 75 q.li/anno di biomasse avviabili a compostaggio durante il periodo di vendemmia.

#### **2. Biomasse derivanti dalle potature del vigneto**

Si tratta dei tralci legnosi derivanti dalle operazioni di potatura (condotte nel periodo novembre-febbraio) che vengono raccolti e sminuzzati per essere avviati al compostaggio. Per poter determinare i quantitativi di queste biomasse compostabili sono state eseguite diverse prove sperimentali in campo. Considerando le diverse forme di allevamento (Tabella 3), i quantitativi delle biomasse compostabili derivanti dalle potature dei vigneti e rilevati durante le campagne di potatura delle annate 2014, 2015 e 2016, corrispondono ad un totale medio di circa 43 tonnellate all'anno.

**Tabella 3. Tot. biomasse da legno di potatura – dati media periodo 2014-2016**

Vigneto	Varietà	Superficie (m <sup>2</sup> )	Forma di allevamento	Numero piante	Peso medio/pianta (g)	Totale Potature (t)	Peso medio (t/ha)
PIANALE	VIOLONE	9186	Cordone	4593	682,5	3,14	3,42
CIPOLLETTA	VIOLONE	6000	Cordone	3000	1680,5	5,16	8,61
CERQUABELLA	SANGIOV.	18260	Cordone	9739	1128,2	10,91	5,97
CERQUABELLA	ALEATICO RAUSCEDO	10263	Guyot	5474	379,3	2,1	2,04
BOSCHETTO	VIOLONE	6700	Cordone	3350	510,5	1,7	2,54
INCROCIO	INCROCIO MANZONI	14856	Guyot	6459	312,4	1,98	1,33
CERQUABELLA	TREBBIANO	4015	Guyot	1634	621,5	10,04	2,49
CERQUABELLA	GRECHETTO	9919	Guyot	5290	902,3	4,76	4,8
VIGNA GRANDE	VIOLONE	10793	Cordone	5396	1861,2	3,36	3,11
<b>TOT.</b>		89992		39539	880,27	<b>43,15</b>	3,81

### 3. Sfalci erbacei

In questa categoria rientrano le biomasse ottenute durante il periodo primaverile (maggio-giugno) a seguito delle operazioni di controllo meccanico delle erbe infestanti nel vigneto. Anche in questo caso sono state eseguite diverse prove sperimentali in campo ed in funzione della forma di allevamento dei vigneti, rilevando nelle annate sperimentali 2013-14, 2014-15 e 2015-16, un quantitativo pari mediamente a **15 q.li/anno** (peso fresco) di sfalci erbacei.

Ai fini sperimentali, per definire la miglior composizione di biomasse da avviare a compostaggio si è proceduto a creare due cumuli di prova del compost a diversa composizione: un cumulo di compostato di raspi e vinacce, potature e sfalci erbacei senza aggiunta di letame d'asina (A) e un cumulo con aggiunta di letame d'asina (B). Le due prove sperimentali di compostato sono state accumulate al riparo dalla pioggia e protette dagli animali (recinzione con filo elettrificato). La quantità di letame aziendale utilizzato nel cumulo A in funzione della disponibilità annuale media ammonta a circa **32 q.li/anno**.

In Tabella 4 sono riportati i quantitativi medi totali di biomassa disponibile annualmente per tipologia.

**Tabella 4. Tot medio di materiale compostabile per tipologia (dati medi annate 2014, 2015 e 2016 )**

<b>Tipologia di biomassa</b>	<b>Q.li</b>
Vinacce e Raspi	75
Sfalci erbacei	15,0
Potature	43
Letame	31.9

Il giusto grado di sminuzzamento delle biomasse vegetali da aggregare alle vinacce, è stato ottenuto con “trincia-sarmenti, acquistata dall’azienda nell’ambito del progetto, che agevola le operazioni effettuando contemporaneamente la raccolta, la triturazione e l’accumulo dei sarmenti.

Per definire gli aspetti qualitativi dei due cumuli di materiale compostato, si è fatto riferimento ai principali parametri per le determinazioni analitiche delle componenti biochimiche, verificandone la rispondenza ai valori limite fissati dal Decreto 27/03/98 in relazione ai parametri riportati in Tabella 5.

**Tabella 5 – analisi qualitative di due cumuli di compostato di raspi e vinacce, potature e sfalci erbacei senza aggiunta di letame d’asina (A) e con aggiunta di letame d’asina (B).**

			A	B
Reazione	(1:5)	pH	8,2	7,8
Conducibilità elettrica	(1:5)	mS/cm	6,15	6,16
Umidità		%	68,3	71,4
Sostanza secca		%	31,7	28,6
Sostanze minerali		% s.s.	28,5	23,3
Sostanza Organica		% s.s.	71,5	76,7
Carbonio organico		% s.s.	41,3	44,3
Acidi umici e fulvici		% s.s.	6,4	8,4
C/N			21,7	20,1
Azoto totale	(N)	%	1,9	2,2
Fosforo	(P2O5)	% s.s.	1,2	1,2
Potassio	(K2O)	% s.s.	4,6	4,6
Magnesio	(MgO)	% s.s.	0,6	0,6
Ferro	(Fe)	mg/kg s.s.	4850	3903
Manganese	(Mn)	mg/kg s.s.	138	118
Rame	(Cu)	mg/kg s.s.	95	101
Zinco	(Zn)	mg/kg s.s.	41	44
Boro	(B)	mg/kg s.s.	56	67

I risultati delle attività condotte suggeriscono che la miglior combinazione nella composizione quantitativa e qualitativa, in termini di frazioni ottimali di biomasse da avviare a compostaggio, risulta essere quella rappresentata dal cumulo B (cioè con aggiunta di letame d'asina). A tale compostato, una volta esaurito il potere metanigeno, andrà aggiunta una quantità di scarti derivati da fondi di caffè, fino a colmare la capienza massima del digestore.

## **WP4 - Impianto multifunzionale di fermentazione del compost, produzione energetica e coltivazione funghi (DIBAF)**

L'obiettivo del WP è la progettazione e realizzazione dell'impianto multifunzionale di fermentazione del compost, produzione energetica e coltivazione funghi con l'obiettivo di ridurre ulteriormente l'impatto ambientale dell'Azienda Agricola Trebotti ottimizzando il processo di compostaggio attraverso un microimpianto in grado di recuperare e riutilizzare a fini energetici il metano prodotto dalla fermentazione naturale del compost (il quale, se lasciato libero in atmosfera, costituirebbe un'emissione netta di gas climalterante). Obiettivo del progetto è fare in modo che il metano prodotto durante la fase di digestione anaerobica si possa utilizzare, previa adeguata filtrazione, per fini energetici come il riscaldamento di parte dei locali di pertinenza dell'azienda agricola ed eventualmente, attraverso una macchina ad assorbimento, per la produzione di freddo da utilizzare nel processo di vinificazione.

Al di fuori del presente progetto non esistono microimpianti tali da poter soddisfare le esigenze di piccola scala delle piccole-medie imprese italiane, utilizzando a ciclo chiuso le biomasse aziendali. Inoltre gli attuali impianti di produzione di biogas da fermentazione utilizzano in larga scala biomasse di prima generazione (colture coltivate *ad hoc* per il solo fine energetico) e raramente biomasse di seconda e terza generazione, derivanti da scarti vegetali dei processi dell'agroindustria le quali attualmente costituiscono un rifiuto ma che invece, se riutilizzate a fini energetici, costituiscono addirittura una nuova risorsa. Il progetto ha rappresentato dunque l'occasione per innovare l'attuale stato dell'arte, sperimentando la digestione anaerobica in scala ridotta rispetto alle soluzioni attualmente presenti nel mercato, consentendo in prospettiva l'accesso a questa tecnologia anche ad aziende medio-piccole. Infatti, la taglia più piccola di impianti biogas commerciali è almeno 20 volte superiore alle necessità e alle disponibilità di biomasse dell'Azienda Agricola Trebotti.

Per garantire il corretto funzionamento del microimpianto proposto è stato necessario stravolgere la logica di funzionamento degli impianti biogas tradizionali adottando un digestore di tipo *batch*, il quale consente di operare senza problemi con i diversi substrati prodotti in base alla stagione e le disponibilità aziendali. L'impianto proposto consente quindi di recuperare completamente il metano emesso durante la fase di degradazione biologica dei substrati, evitandone l'emissione in atmosfera e utilizzandolo per integrare i consumi termici aziendali. In questo contesto la digestione anaerobica si presenta come una valida alternativa rispetto ai tradizionali impianti di trattamento (compostaggio compreso), evitando il rilascio in atmosfera di gas inquinanti ad alto effetto serra (*CH<sub>4</sub>*, *N<sub>2</sub>O*, ecc..).

La combustione del biogas prodotto non comporta infatti problemi legati all'emissione di gas serra, immettendo nell'atmosfera lo stesso quantitativo di *CO<sub>2</sub>* in ingresso al ciclo: l'impianto oggetto della presente progettazione è da classificare quindi come *carbon neutral* e alimentato con risorse rinnovabili.

Inoltre ulteriore innovazione dello stato dell'arte è rappresentato dalla sperimentazione della coltivazione di funghi eduli su fondi di caffè (metodologia attualmente descritta in un approccio di Blueconomy, Gunter Pauli, 2010). Una volta esaurito il potenziale metanigeno della materia organica in ingresso, il digestore opera in assetto aerobico, e il substrato organico viene arricchito da fondi di caffè per ospitare una coltivazione di funghi eduli.

L'equipaggiamento tecnologico dell'impianto consente in questa fase di controllare i parametri operativi che ottimizzano la produzione di funghi (temperatura e umidità). Lo stato dell'arte della letteratura scientifica mostra che i fondi di caffè rappresentano un substrato (attualmente di scarto) facilmente riutilizzabile per la coltivazione dei funghi: tale substrato è infatti già sterilizzato (asettico) poiché raggiunge temperature elevate (con acqua a

temperatura > 100°C) durante il suo processo di utilizzo nei bar/ristoranti per la produzione del caffè in tazza. Inoltre, tale substrato è ancora ricco di sali minerali e caffeina, sostanza altamente eccitante in grado di accelerare in maniera naturale la crescita dei funghi.

Infine ulteriore innovazione dello stato dell'arte da un punto di vista sperimentale riguarda l'utilizzazione sui suoli agricoli di un compost di fine ciclo.



**Figura 1: Impianto COMEF in opera, prova di spandimento *compost***

### **Descrizione del processo**

Come detto in precedenza l'impianto multifunzionale in oggetto è stato progettato per la tripla funzione di:

- digestore anaerobico di tipo batch per la produzione di biogas;
- ambiente di coltivazione di funghi eduli;
- produzione di compost.

### **Fasi di lavoro**

Le operazioni sono compiute attraverso quattro fasi principali, descritte di seguito nel dettaglio.

#### **Fase 1 - Digestione anaerobica**

Il processo di digestione anaerobica si basa sulla decomposizione della sostanza organica in ingresso da parte di alcuni ceppi batterici anaerobi e ha come risultato la produzione di biogas e di un residuo stabilizzato (digestato) utilizzabile per fini agronomici come ammendante, pacciamante e antierosivo. Nelle condizioni operative la temperatura interna del digestore deve essere mantenuta pari a 38° C, in modo da consentire un processo con il miglior compromesso tra stabilità e resa in biogas. Il biogas prodotto durante il processo di digestione viene contabilizzato, analizzato e, per la prima fase progettuale, emesso liberamente in atmosfera una volta superato l'arrestatore di fiamma.

Data la particolarità e variabilità degli scarti organici aziendali, si è scelto di attuare un processo di tipo batch, il reattore è quindi predisposto per essere riempito con la biomassa disponibile in azienda nel periodo di caricamento e successivamente sigillato, mediante la chiusura della parte mobile superiore, per un periodo di circa due mesi.

## **Fase 2 - Pastorizzazione**

Tra la fase "Digestione Anaerobica" e "Coltivazione funghi eduli" vi è l'aggiunta nel substrato di fondi di caffè seguita da una fase di pastorizzazione della sostanza organica. Questa avviene tramite riscaldamento interno, mantenendo per almeno un'ora il substrato ad una temperatura di ~ 60° C. Il processo di pastorizzazione è utilizzato anche per ridurre il contenuto d'acqua del substrato digerito anaerobicamente, in modo da creare le giuste condizioni di terreno per la coltivazione di funghi eduli.

## **Fase 3 - Coltivazione funghi eduli**

La coltivazione di funghi può essere separata in due fasi distinte: la prima di inoculo e incubazione del micelio (fase vegetativa) e la seconda di effettiva crescita e sviluppo dei funghi eduli (fase riproduttiva). La fase vegetativa ha una durata di circa due settimane, mentre la fase riproduttiva copre un arco temporale che va dai 10 ai 30 giorni a seconda del tipo di fungo coltivato. La scelta del tipo di fungo è stata fatta su base sperimentale, verificando sul campo nei primi cicli di sperimentazione quali tipologie hanno la migliore resa dato il substrato utilizzato. E' stato previsto in fase di progetto che i tempi descritti in letteratura possano essere abbreviati dall'aggiunta di caffè al substrato digerito anaerobicamente.

Dopo che il substrato è stato sterilizzato si procede con l'inoculo delle spore, a questo punto, controllando nel reattore temperatura e umidità relativa, è possibile creare le condizioni ideali per la crescita e lo sviluppo dei funghi eduli. Durante le due fasi si devono mantenere delle condizioni termo-igrometriche leggermente differenti, nello specifico:

- Fase Vegetativa:

- Temperatura 25° C;
- Umidità Relativa ~ 80 %.

- Fase Riproduttiva:

- Temperatura di 25° C per i primi 10 giorni;
- Temperatura crescita carpofori 16 ÷ 18° C;
- Umidità Relativa ~ 90 %.

Durante tutta la fase di coltivazione dei funghi il reattore non è più nella condizione anaerobica, grazie all'apertura di apposite aperture di ventilazione necessarie ad assicurare un buon ricambio d'aria data l'elevata produzione di anidride carbonica soprattutto all'inizio della fase riproduttiva. Una volta che si è conclusa la fase di coltivazione dei funghi il reattore viene svuotato completamente e il substrato organico sparso sui terreni aziendali.

## **Fase 4 - Digestione Aerobica**

Nella fase iniziale della sperimentazione si è caricato il reattore con il materiale organico disponibile, quale vinaccia, raspi e letame asinino, lavorando in condizioni aerobiche (non ermeticità del reattore e riscaldamento assente) per tutta la settimana richiesta dalle maestranze al fine di ultimare il sistema di riscaldamento esterno al digestore. In questo periodo si è provveduto esclusivamente a miscelare il materiale introdotto, aggiungendo un

certo quantitativo di acqua e aprendo periodicamente la copertura superiore del reattore per evitare che venisse prodotto e riversato in atmosfera biogas.

Come è noto la digestione aerobica consiste nella metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di microrganismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, proporzionale alla loro attività metabolica. In Figura 2 è possibile osservare lo stato del substrato in questa condizione operativa: il vapore acqueo liberato è dovuto all'evaporazione dell'umidità interna, favorita dalle alte temperature raggiunte grazie al processo biologico innescatosi. Effettuando misure a campione con un termometro ad immersione si è rilevata una temperatura della massa pari a circa 40°C.



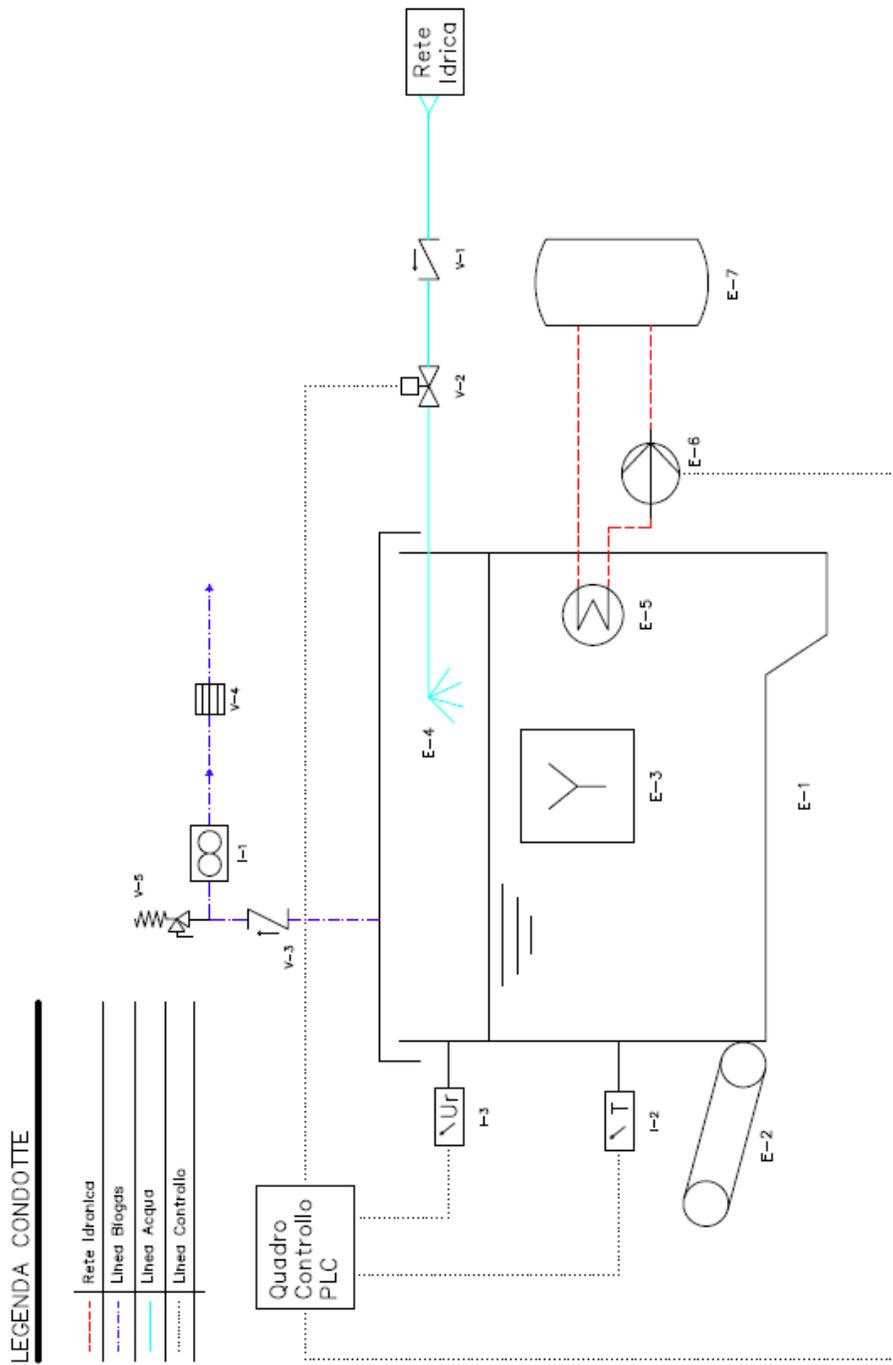
**Figura 2: Stato del substrato all'interno del reattore in condizioni aerobiche**

Sulla base di questa evidenza operativa si è ritenuto opportuno inserire in opera una nuova modalità di funzionamento del sistema, denominata "Digestione Aerobica", la cui operatività è alternativa a quella della fase "Digestione Anaerobica". Senza alcuna modifica impiantistica rispetto al progetto preliminare è possibile recuperare il calore prodotto dal processo biochimico che si sviluppa all'interno, accumulando l'energia termica nel serbatoio di accumulo dell'acqua calda.

### **Schema di processo**

A partire dalle esigenze e dalle differenti condizioni operative relative a ciascuna delle fasi sopra descritte, si è ipotizzato un impianto il cui schema di processo è riportato nella Figura 3.

A livello impiantistico è stata prevista una rete idronica per il controllo della temperatura interna al reattore, una linea biogas per il controllo e la misura del gas prodotto durante la fase di digestione anaerobica e una linea acqua, collegata direttamente alla rete idrica, per il controllo dell'umidità interna. La strumentazione elettronica e i relativi attuatori sono gestiti, attraverso una linea controllo attraverso un Quadro di Controllo PLC.



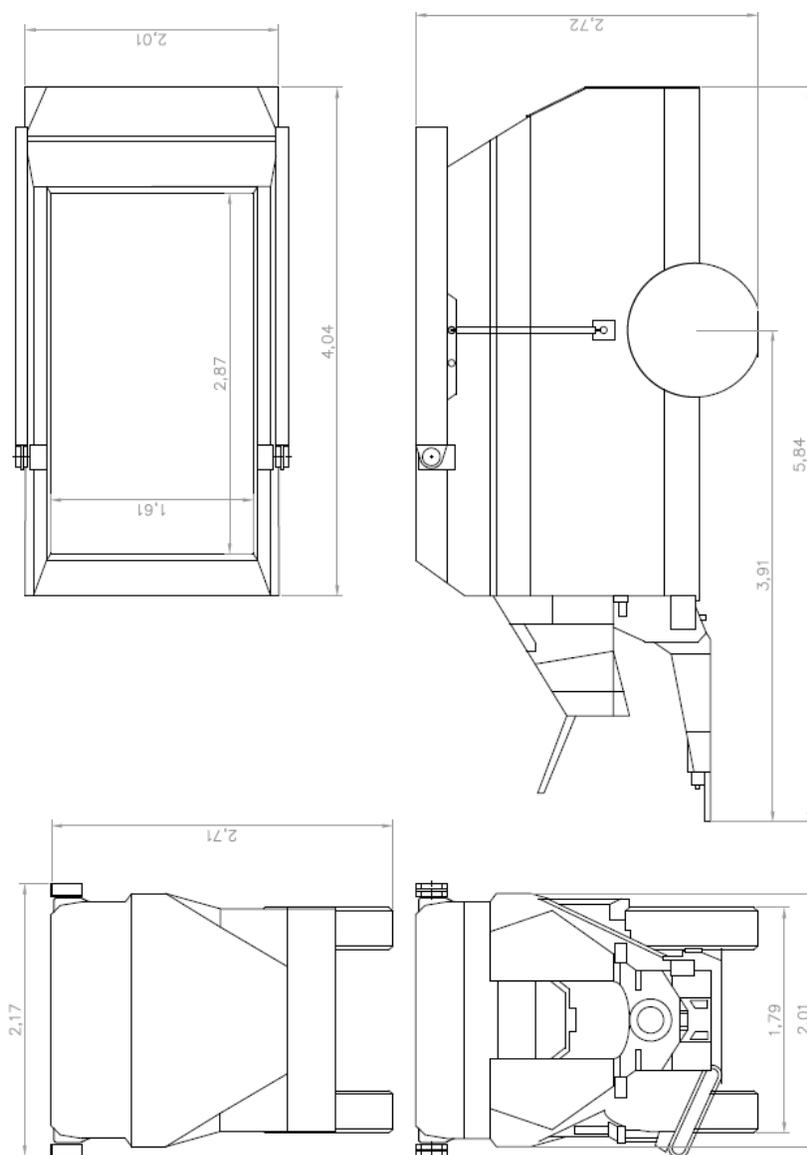
**Figura 3: Schema di processo dell'impianto**

Il carro-reattore è la componente principale dell'impianto, dove avvengono i processi di digestione aerobica, anaerobica e la coltivazione di funghi eduli.

Le caratteristiche del carro sono riportate in Tabella 6, mentre in Figura 4 è riportata una rappresentazione grafica delle sue dimensioni.

**Tabella 6. Caratteristiche tecniche e dimensionali del carro COMEF**

<i>Id</i>	<i>Descrizione</i>
Cubatura	12 m <sup>3</sup>
Carico max. 25 km/h	9600 kg
Carico max. 40 km/h	8600 kgs



**Figura 4. Scema dimensionale carro COMEF**

La progettazione ingegneristica ha previsto:

- realizzazione di una copertura che renda l'interno ermetico nella fase di digestione anaerobica;
- realizzazione di un sistema di riscaldamento interno (E-5) e isolamento termico esterno;
- realizzazione di un sistema per il controllo dell'umidità interna (E-4);
- realizzazione di una linea per il convogliamento e la misura del biogas prodotto;
- trattamento interno con vernice alimentare;
- chiusura del carro e realizzazione di un canale di scarico;
- realizzazione di una passerella interna da utilizzare per l'inoculo e la raccolta dei funghi.

Il carro inoltre è dotato di un Sistema di copertura mobile sulla sua sommità per assicurare l'ermeticità del reattore necessaria alla fase "Digestione Anaerobica". Il coperchio è movimentato da una coppia di braccia movimentate da martinetti idraulici. In questo è possibile alzare e abbassare il coperchio per consentire il carico della matrice organica per la digestione anaerobica e successivamente l'inoculo dei funghi eduli e il controllo della loro coltivazione. Il coperchio è stato realizzato utilizzando dei profilati metallici su cui sono state alloggiare delle lastre di ISOPAN dallo spessore di 30mm. Queste ultime hanno il duplice scopo di sigillare la parte sommitale del carro e di migliorare l'isolamento termico della struttura. Per garantire l'ermeticità interna una volta chiuso il coperchio mobile si è optato per una guarnizione a battuta in gomma disposta lungo tutto il perimetro della parte sommitale del carro.

Sulla base delle sue caratteristiche tecniche e della pressione di serraggio, si è stimato che è possibile garantire una tenuta interna del reattore fino ad una pressione di 100 mbar. La presenza di Valvola di Sicurezza (V-5), Non Ritorno (V-3) e Arrestatore di Fiamma (V-4) sulla linea Biogas limiteranno in ogni condizione operativa le sovrappressioni a questo valore, in modo da garantire l'anaerobicità del processo.

### **Sistema di riscaldamento e isolamento termico**

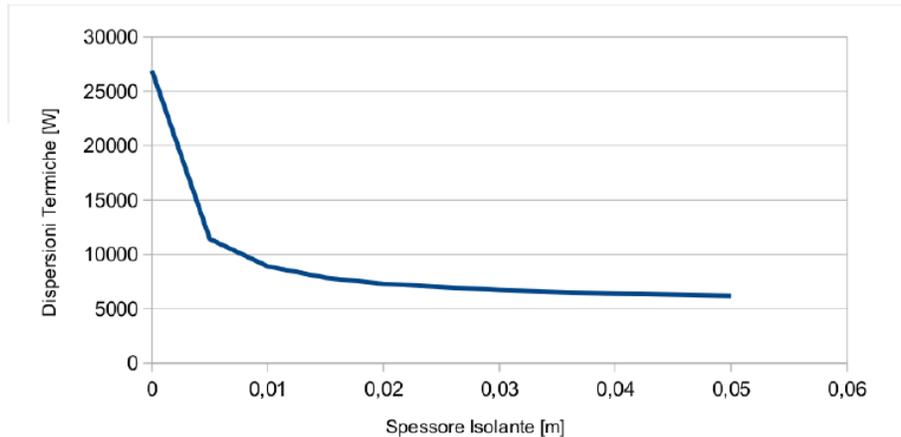
La scelta delle modalità con cui effettuare l'emissione di calore nel reattore è stata fatta in seguito di alcune analisi e considerazioni tecniche, scegliendo un sistema che fosse efficace e non comportasse problemi operativi durante tutte le fasi di produzione dell'impianto.

La soluzione adottata è stata quella di applicare, tramite saldatura di appositi collarini, le tubazioni di acciaio nero percorso dal fluido termovettore, all'interno del digestore. In questo modo si assicura un'ottima efficienza di emissione energetica e non si creano problemi nella fase di miscelazione della biomassa. È anche possibile, con questo tipo di realizzazione, poter utilizzare un acciaio semplice, dato che le tubazioni sono state trattate superficialmente durante la verniciatura protettiva dell'interno del cassone. Il sistema di riscaldamento è fondamentale per la buona riuscita sia del processo di digestione anaerobica che di quello di coltivazione dei funghi. Data la natura di multifunzionalità dell'impianto i *set point* di temperatura sono diversi nelle diverse fasi del processo, in particolare:

- Digestione anaerobica: circa 38°C;
- Coltivazione funghi: circa 16 ÷ 25°C.

Il sistema deve essere inoltre in grado di effettuare la pastorizzazione del substrato alla fine del ciclo di produzione del metano, imponendo all'interno una temperatura di circa 60°C per circa un'ora, al fine di consentire la corretta coltivazione dei funghi.

Dato il periodo dell'anno e le temperature di *set point* in gioco, si ritiene che il processo più oneroso in termini energetici sia quello della produzione di metano. Con l'ipotesi di una temperatura esterna di  $0^{\circ}\text{C}$ , si è valutato che le dispersioni termiche del digestore, e quindi la spesa energetica per mantenere lo stesso in temperatura, siano inaccettabili (circa  $27\text{ kWth}$ ). In Figura 5 si riporta l'andamento del fabbisogno termico in funzione dello spessore di isolante, nell'ipotesi di coprire l'80% della superficie disperdente con un adeguato strato di poliuretano espanso: uno spessore di  $20\div 25\text{mm}$  di isolante è sufficiente a ridurre di oltre il 70% le dispersioni termiche del digestore arrivando a un fabbisogno pari a circa  $7\text{ kWth}$ .



**Figura 5. Andamento del fabbisogno termico in funzione**

Nelle prime fasi della sperimentazione per il riscaldamento dell'impianto è stata utilizzata una piccola caldaia a pellet presente in azienda che è stata sufficiente per la gestione termica dei cumuli in fermentazione anaerobica ma non per la pastorizzazione. Quindi, si è deciso di dotare l'impianto, come evidenziato nello schema di processo in Figura 6, di un sistema di riscaldamento con caldaia a condensazione alimentata a GPL, la quale riscalda un serbatoio d'acqua dal volume di 300 litri. Per la realizzazione di questo impianto è stata necessaria la modifica strutturale della centrale termica dell'azienda spostando all'esterno gli impianti con lavori di muratura, elettrici ed idraulici realizzati direttamente dal personale aziendale con la supervisione dello staff di ingegneri. Questo viene mantenuto in temperatura a seconda delle esigenze di processo ed è in collegamento idraulico con una serpentina interna al reattore. L'accensione della caldaia e l'avviamento della pompa di circolazione per garantire le temperature di *set point* richieste nelle varie fasi sono comandate dal Quadro di Controllo in base alle informazioni ottenute dal sensore di temperatura posto all'interno del reattore.

In prima battuta si è realizzata una serpentina interna costituita da due circuiti in parallelo realizzati con tubazioni in acciaio nero da  $\frac{3}{4}$ ", per una lunghezza complessiva di circa  $30\text{m}$  lineari.

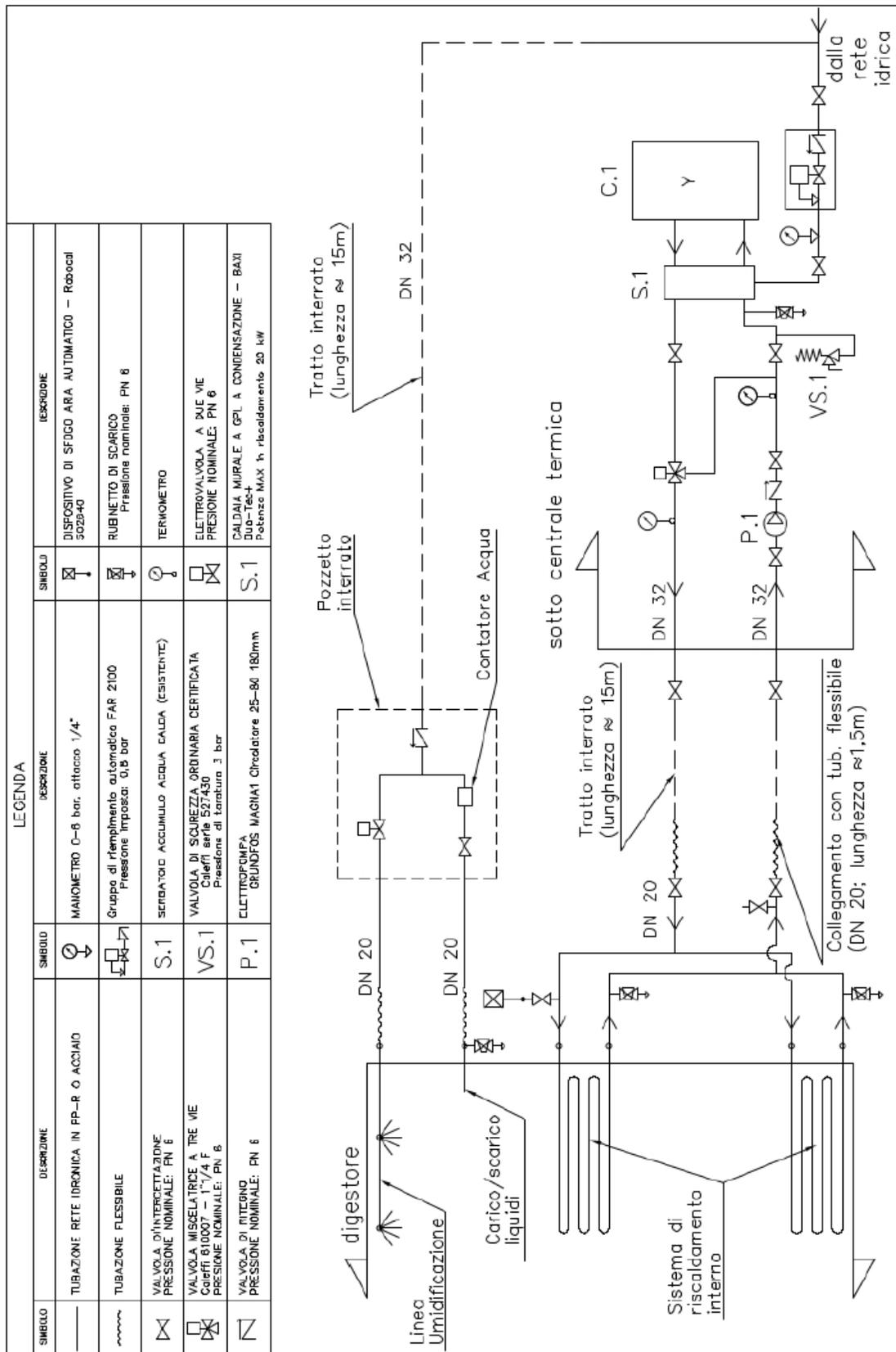


Figura 6 . Schema di processo dell'impianto



**Figura 7. Posa in opera dell'isolamento termico**



**Figura 8. Posa in opera del sistema di riscaldamento interno**



**Figura 9. Impianto di riscaldamento reattore COMEF**

L'ipotesi iniziale con la quale si è avviata la progettazione del circuito di riscaldamento è stata quella di lavorare con un substrato caratterizzato da una percentuale di sostanza secca approssimabile al 25%. In queste condizioni il coefficiente di adduzione fra serpentina e substrato, considerando anche la presenza della movimentazione interna, è stato ipotizzato pari a  $200W/m^2 K$ .

In una prima fase il reattore è stato caricato con raspi e vinacce disponibili in azienda agricola, caratterizzati da una sostanza secca ben superiore al 25% di progetto. In queste condizioni la rampa di temperatura interna rilevata è stata, come prevedibile, piuttosto piatta a riprova del fatto che siffatto sistema non è in grado di raggiungere le temperature richieste in tempi ragionevoli. Confrontando i dati sperimentali con quelli del modello termico realizzato si evince che, utilizzando biomassa tal quale, il coefficiente di adduzione fra serpentina e substrato è molto più basso di quanto ipotizzato ( $50W/m^2K$ ).

In una seconda fase, si è proceduto a caricare l'impianto acqua ed avviare il sistema di riscaldamento: in brevissimo tempo si sono raggiunte temperature prossime a quelle della pastorizzazione, a riprova del fatto che quanto più si

approssima il meccanismo di scambio per convezione forzata, lavorando con basse percentuali di sostanza secca, tanto più l'impianto di riscaldamento lavora in maniera efficiente. In questa modalità di lavoro il coefficiente di adduzione rilevato è praticamente prossimo al valore di progetto ( $200\text{W}/\text{m}^2\text{ K}$ ).

In una terza fase si è aggiunto al quantitativo d'acqua presente anche una dose consistente di raspi, vinacce e feccia (sostanza secca del substrato 30% circa). Pur migliorando in questo caso lo scambio adduttivo rispetto alla prima esperienza, l'impianto di riscaldamento realizzato si è dimostrato inefficiente per il raggiungimento degli scopi proposti. Dall'analisi dei dati registrati durante le sperimentazioni si è giunti alle seguenti conclusioni:

- nelle condizioni operative alle quali l'impianto COMEF è chiamato a lavorare è richiesta una maggiore superficie di scambio fra il fluido termovettore e il digestato;
- la natura della biomassa trattata è tale da indurre sulla serpentina di riscaldamento un coefficiente di sporco eccessivo (si veda a tal proposito la Figura 10), tale da abbassare nel tempo l'efficienza complessiva del sistema.



**Figura 10. Sporco della serpentina in fase di utilizzo**

Sulla base delle evidenze sperimentali si è provveduto a modificare l'impianto di riscaldamento, aumentando la superficie di scambio, sostituendo la caldaia a pellet troppo piccola, con la caldaia a gas e realizzando uno schermo allo sporco. Il primo intervento è stato quello di porre in opera una serpentina con una superficie di scambio maggiore, in particolare sono state aggiunte tubazioni in acciaio nero da  $\frac{3}{4}$ " direttamente all'interno del reattore, raggiungendo una lunghezza complessiva di circa  $50\text{m}$  lineari (Figura 11).



**Figura 11: Intervento per aumentare la superficie di scambio della serpentina di riscaldamento**

Il secondo intervento è stato la sostituzione della caldaia. Il terzo intervento effettuato sul digestore è stato quello di realizzare uno schermo allo sporcamento indotto dal substrato, applicando una lamiera in acciaio inox forata direttamente sulle tubature nelle quali scorre il fluido termovettore. Tale elemento ha il duplice effetto di aumentare la superficie di scambio termico e di consentire alla tubazione della serpentina di lavorare sempre a contatto con liquido, riducendo il coefficiente di sporcamento in esercizio.



**Figura 12. Intervento per ridurre il coefficiente di sporcamento della serpentina di riscaldamento**

Un altro aspetto interessante che è emerso durante le prime fasi di sperimentazione è la possibilità di recuperare il calore prodotto dal processo biochimico di digestione aerobica. Il circuito idraulico appena descritto, coordinato con il sistema di controllo della pompa di circolazione, consente di asportare l'energia termica prodotta all'interno del reattore e convogliarla al serbatoio d'accumulo esistente. In questo modo l'azienda agricola può disporre di acqua calda ad una temperatura di circa 40°C.

## Sistema di umidificazione

Il controllo dell'umidità è importante nella fase di coltivazione funghi nella quale, per massimizzare la produzione e garantire le migliori condizioni operative, occorre garantire il raggiungimento di valori di *set point* stabiliti:

- Umidità relativa pari a circa l'80% nella fase vegetativa;
- Umidità relativa pari a circa l'90% in quella riproduttiva.

Con riferimento allo schema di processo di Figura 6 e allo schema idraulico è possibile descrivere la logica di funzionamento del sistema di umidificazione. Il sensore I-3 effettua una lettura in *realtime* del valore di umidità relativa all'interno del cassone e, qualora questa fosse più bassa del valore atteso, il PLC comanda l'apertura di una elettrovalvola (V-2) che alimenta un circuito idraulico interno al carro, costituito da un anello realizzato con tubazione in PE nel quale sono innestati 10 umidificatori statici. In questo modo si nebulizza dell'acqua all'interno del carro (Figura 13), innalzando il tasso di umidità interna.

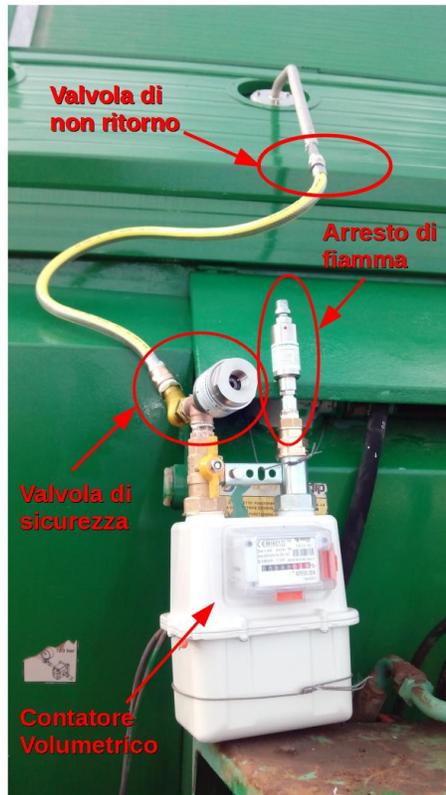


**Figura 13:** Prova idraulica del sistema di umidificazione

Una volta che il sensore rileva il raggiungimento del valore di *set point* all'interno del carro, il PLC comanda la chiusura dell'elettrovalvola e il circuito di nebulizzazione viene intercettato.

## Linea Biogas

Con riferimento allo schema di processo di Figura 6, la Linea Biogas è stata realizzata con l'obiettivo di convogliare il Biogas prodotto all'interno del carro durante il processo di digestione anaerobica verso l'unica apertura dello stesso. La dotazione della Linea Biogas consiste in una valvola di non ritorno (V-3), una valvola di sicurezza (V-5), un contatore volumetrico e un arrestatore di fiamma (V-4), installate come da Figura 14.



**Figura 14: Dettaglio della linea biogas**

La scelta delle componenti è stata effettuata per scongiurare in qualsiasi momento il raggiungimento di sovrappressioni interne superiori ai 100 *mbar* e quindi la dispersione incontrollata del biogas in atmosfera.

Una volta avviato il processo biochimico che porta alla produzione di Biogas e all'accumulo dello stesso nella parte superiore del digestore, la pressione interna è lasciata crescere fino ad un valore di 80 *mbar*, al di sopra del quale il Biogas naturalmente fluisce attraverso la tubazione d'uscita, transitando per il contatore volumetrico e l'arrestatore di fiamma. In prospettiva, da questa tubazione il biogas può essere convogliato ad un eventuale utilizzatore a fini energetici (i.e. caldaia, motore a combustione interna, etc).

### **Trattamento interno**

Il carro è stato trattato internamente con un'apposita vernice protettiva e adatta all'uso alimentare in modo da poter destinare i funghi coltivati al consumo, assicurando così l'integrità dell'involucro superficiale nel tempo e resistere adeguatamente a fenomeni corrosivi che possono verificarsi durante il funzionamento.



**Figura 15:** Trattamento interno al carro comef

### **Sistema di controllo**

Il sistema di controllo si compone di:

- Schema del Quadro Elettrico di alimentazione dell'impianto COMEF;
- Schema Elettrico Quadro di Controllo;
- Manuale Operatore.

Nello specifico il sistema è costituito da un PLC il quale ha lo scopo di rilevare le misure effettuate in *realtime* dai sensori installati sul reattore (sensore di temperatura del compost I-2 e misuratore di temperatura/umidità relativa I-3) e, in relazione allo stato di funzionamento e alla logica implementata al suo interno, comandare le apparecchiature ad esso collegate (elettrovalvola per l'alimentazione del sistema di umidificazione V-2,

accensione della caldaia, attivazione della pompa di circolazione E-6). Allo stesso modo il PLC è in grado di funzionare da *data logger*, memorizzando su una scheda SD tutti i valori rilevati dai sensori con un campionamento dei dati che avviene ogni 5 minuti e da sistema d'allarme nel caso in cui i valori di temperatura e umidità registrati superino soglie minime e massime prefissate. Si può anche accedere anche tramite un router dedicato tramite una rete intranet da cellulare per il controllo online.

Dal punto di vista dell'interfaccia utente, il sistema di controllo è costituito da un pannello HMI con Monitor Touch-Screen (Figura 16) attraverso il quale settare la diverse modalità di funzionamento in base alle fasi individuate e descritte nel WP3.



**Figura 16: Pannello di controllo impianto COMEF (nella fase attiva la sonda di temperatura e umidità del carro è disattivata e i valori visualizzati sono rispettivamente  $-40\_C$  e  $0\%$ )**

1. Fase Anaerobica - Si misura la temperatura interna al rettoe attraverso il sensore I-2, comandando accensione e spegnimento di caldaia e pompa di circolazione per mantenere tale valore prossimo a quello di soglia.
2. Fase Aerobica - Si misura la temperatura interna al rettoe attraverso il sensore I-2, comandando la pompa di circolazione per recuperare il calore prodotto dal processo biochimico.
3. Fase di Pastorizzazione - Si misura la temperatura interna al rettoe attraverso il sensore I-2, mantenendo accesa la caldaia a la pompa di circolazione fino al raggiungimento della temperatura impostata e garantendo il mantenimento di tale parametro per il periodo di tempo specificato.
4. Coltivazione Funghi - Si misurano temperatura e umidità dell'aria all'interno del rettoe attraverso il sensore I-3, comandando il funzionamento di caldaia, pompa di circolazione e circuito di umidificazione per raggiungere i *set point* specificati per le due sottofasi: (i) Fase Vegetativa; (ii) Fase Riproduttiva.

In Tabella 7 si riportano i tutti i valori di *setpoint* e le soglie di allarme implementate per ciascuna fase nel sistema di controllo.

Il sistema prevede inoltre una modalità manuale nella quale è possibile comandare tutte le componenti attive del sistema, a prescindere dalla fase di lavoro nel quale il sistema sta lavorando.

**Tabella 7:** Valori di setpoint e Allarmi implementati nel sistema di controllo

Fase/Parametro	Digestione Anaerobica	Digestione Aerobica	Pastorizzazione
Durata	4-8 settimane	4-8 settimane	1 ora
Temperatura	38°C	55°C	60°C
Umidità Relativa	-	-	-
pH	Analisi Offline	Analisi Offline	-
Quantità Biogas	Lettura Ottica	-	-
Composizione Biogas	Analisi Offline	-	-
Movimentazione	Manuale	Manuale	-
Allarme Temp. Basso	35°C	50°C	-
Allarme Temp. Alto	45°C	70°C	70°C
Allarme Umidità Basso	-	-	-
Allarme Umidità Alto	-	-	-

Fase/Parametro	Coltivazione Funghi	
	Fase Vegetativa	Fase Riproduttiva
Durata	3-4 settimane	
Temperatura	30°C	16°C
Umidità Relativa	80%	90%
pH	-	-
Quantità Biogas	-	-
Composizione Biogas	-	-
Movimentazione	-	-
Allarme Temp. Basso	20°C	11°C
Allarme Temp. Alto	30°C	21°C
Allarme Umidità Basso	70%	80%
Allarme Umidità Alto	90%	99%

**Produzioni attese**

In tabella 8 sono riportate le principali caratteristiche dei substrati di alimentazione in ingresso al processo, dal punto di vista della loro resa in biogas.

-	Sostanza	Solidi	Potenzialità Produttiva		Densità
	Secca (SS) [% su TQ]	Volatili (SV) [% su SS]	Biogas [Nm <sup>3</sup> /t SV]	Metano [Nm <sup>3</sup> /t SV]	[t/m <sup>3</sup> ]
Raspi d'uva	31,10%	91,90%	322,6	159,2	0,25
Vinacce	61,30%	90,75%	250	116,2	0,7
Sfalci Erba	31,10%	91,30%	479	268	0,5
Letame Asina	25,00%	75,00%	400	220	0,8
Letame Bovino	25,00%	85,00%	450	247,5	0,8
Potatura Cippato	75,00%				0,25

**Tabella 8:** Caratteristiche fisiche e biochimiche delle matrici in ingresso al processo

Nota la percentuale di sostanza secca sul tal quale (SS), la percentuale di solidi volatili sulla sostanza secca (SV) e la potenzialità di biogas riportata alla quantità di Solidi Volatili (PB), è possibile calcolare la resa in biogas di una tonnellata dello specifico substrato, mediante la seguente formula:

$$Resa\ biogas \left[ \frac{Nm^3}{t} \right] = SS \cdot SV \cdot PG \quad (1)$$

La produzione complessiva di biogas imputabile al mix di alimentazione in ingresso, sarà data in prima approssimazione dalla somma delle produzioni unitarie calcolate con l'equazione 1:

$$Produzione\ biogas [Nm^3] = \sum_i Q_{biomassa,i} \cdot Resa\ biogas_i \quad (2)$$

Data la natura delle biomasse in ingresso e il ridotto volume a disposizione per condurre il processo di digestione anaerobica, si è optato per un processo a secco, caratterizzato cioè da una percentuale di sostanza secca pari a circa il 25% sul totale. In particolare, una volta stabilite le quantità di sostanza in ingresso a ciascun ciclo di fermentazione, se il valore di SS eccede il 25% occorrerà aggiungere acqua per un quantitativo dato dall'equazione 3.

$$Acqua\ in\ aggiunta\ al\ processo [t] = \frac{SS_{biomasse,in}}{25\%} [t] - Q_{biomasse,in} [t] \quad (3)$$

Con i quantitativi di biomassa disponibili nell'anno, rispettando il limite di capienza del digestore (circa 12m<sup>3</sup>), è possibile ipotizzare i tre cicli di fermentazione riportati nelle successive tabelle: si noterà che il secondo ciclo di fermentazione ha una resa in biogas nettamente inferiore rispetto agli altri cicli, per via della disponibilità massiccia di cippato da potatura in quel periodo. In fase operativa e in relazione alle effettive disponibilità di biomassa in azienda e nelle vicinanze della stessa, occorrerà stabilire l'opportunità di coalimentare il secondo ciclo con un substrato più ricco dal punto di vista della produzione di biogas (e.g. letame bovino proveniente da aziende limitrofe, biomasse provenienti dal ciclo precedente che non sono state trattate all'interno del digestore e che non hanno esaurito il loro potenziale metanigeno).

1° CICLO FERMENTAZIONE (Ago-Gen)				Produzione	
Alimentazione	Quantità		Sostanza Secca [t/ciclo]	Biogas [Nm <sup>3</sup> /ciclo]	Metano [Nm <sup>3</sup> /ciclo]
	[t/ciclo]	[m <sup>3</sup> /ciclo]			
Raspi d'uva	0,35	1,39	0,11	128	16
Vinacce	3,05	4,36	1,87	606	197
Sfalci Erba	0,00	0,00	0	0	0
Letame Asina	0,60	0,75	0,15	56	25
Letame Bovino (*)	0,00	0,00	0	0	0
Potatura Cippato	0,00	0,00	0	0	0
Acqua (*)	4,51	4,51	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>8,51</b>	<b>11</b>	<b>2,1</b>	<b>790</b>	<b>238</b>

2° CICLO FERMENTAZIONE (Feb-Mag)				Produzione	
Alimentazione	Quantità		Sostanza Secca [t/ciclo]	Biogas [Nm <sup>3</sup> /ciclo]	Metano [Nm <sup>3</sup> /ciclo]
	[t/ciclo]	[m <sup>3</sup> /ciclo]			
Raspi d'uva	0,00	0,00	0,00	0	0
Vinacce	0,00	0,00	0,00	0	0
Sfalci Erba	0,00	0,00	0,00	0	0
Letame Asina	0,60	0,75	0,15	56	31
Letame Bovino (*)	1,00	1,25	0,25	120	66
Potatura Cippato	1,50	6,00	1,13	0	0
Acqua (*)	3,00	3,00	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>6,10</b>	<b>11</b>	<b>1,5</b>	<b>176</b>	<b>97</b>

3° CICLO FERMENTAZIONE (Mag-Ago)				Produzione	
Alimentazione	Quantità		Sostanza Secca [t/ciclo]	Biogas [Nm <sup>3</sup> /ciclo]	Metano [Nm <sup>3</sup> /ciclo]
	[t/ciclo]	[m <sup>3</sup> /ciclo]			
Raspi d'uva	0,00	0,00	0,00	0	0
Vinacce	0,00	0,00	0,00	0	0
Sfalci Erba	1,50	3,00	0,47	204	114
Letame Asina	0,60	0,75	0,15	45	25
Letame Bovino (*)	5,51	6,89	1,38	527	290
Potatura Cippato	0,00	0,00	0,00	0	0
Acqua (*)	0,37	0,37	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>7,98</b>	<b>11</b>	<b>2,0</b>	<b>776</b>	<b>429</b>

Si stima una produzione totale di biogas pari a 1742Nm<sup>3</sup>/anno, per un quantitativo complessivo di metano pari a 763Nm<sup>3</sup>/anno. Considerando un potere calorifico del metano uguale a circa 32MJ/Nm<sup>3</sup>, il gas prodotto corrisponde ad un quantitativo di energia termica a disposizione per il processo e l'azienda che lo ospita pari a 6783 kWh/anno.

## Sperimentazione

### - Primo ciclo di sperimentazione

Tale ciclo è stato iniziato nel maggio 2016, introducendo nel reattore polifunzionale il mix di biomasse coerente con quanto ipotizzato nel WP3. In Tabella 9 è riportato il reale mix di biomassa utilizzato.

Alimentazione	Quantità		Sostanza Secca [t]
	[t]	[m <sup>3</sup> ]	
Sfalci Erba	1,70	3,40	0,53
Letame Asina	0,60	0,75	0,15
Letame Bovino	5,10	6,38	1,28
Acqua	0,44	0,44	0,00
<b>Totale</b>	<b>7,84</b>	<b>10,97</b>	<b>1,96</b>

**Tabella 9:** Mix di biomassa utilizzato nel 1° ciclo sperimentale

Il processo di fermentazione anaerobica si è protratto per 8 settimane. La quantità di biogas prevista con tale mix di biomassa e la quantità realmente misurata alla fine del periodo di fermentazione anaerobica sono riportate nella Tabella 10.

Alimentazione	Produzione biogas	
	Stimata [Nm <sup>3</sup> ]	Reale [Nm <sup>3</sup> ]
Sfalci Erba	232	
Letame Asina	45	
Letame Bovino	490	
<b>Totale</b>	<b>767</b>	<b>548</b>

**Tabella 10:** Quantità di biogas stimata e reale nel 1° ciclo sperimentale

Come risulta dall'analisi dei risultati riportati in Tabella 10 la produzione di biogas stimata e quella realmente misurata sono molto simili e risultano dello stesso ordine di grandezza.

Durante il carico del reattore non si sono verificate problematiche particolari ed il processo di digestione anaerobica è stato alquanto proficuo. La differenza tra la produzione di biogas stimata e quella effettivamente misurata è infatti congruente con le aspettative.

Alla fine del primo ciclo di fermentazione anaerobica si è proceduto con la fase di coltivazione di funghi, fase che purtroppo non ha avuto un esito positivo. Infatti come prima operazione di tale fase è necessario rimuovere il più possibile l'acqua presente nel reattore, in modo da ottenere un substrato adeguato alla coltivazione dei funghi. Una volta rimossa l'acqua in eccesso però ci si è accorti che il livello del substrato per la coltivazione era troppo basso per potervi accedere e per questo non si è proceduto con l'inoculo del micelio. Tale problematica ha però consentito un ulteriore utilizzo del reattore.

Una volta svuotato il reattore dall'acqua, e non essendo possibile la coltivazione dei funghi, la biomassa è rimasta per una settimana nel reattore ormai aperto, alla fine della quale ci si è accorti che la temperatura della biomassa era salita ad una temperatura di circa 43C, superiore alla temperatura mantenuta durante il periodo di digestione anaerobica. Questo stava a significare che si era avviato spontaneamente un processo di digestione aerobica, tale processo è, a differenza di quello anaerobico, esotermico e in genere la prova che stia avvenendo è proprio l'aumento della temperatura della biomassa nella quale avviene. Verificato ciò si è pensato di inserire un ulteriore ciclo nell'impianto chiamato "Digestione Aerobica" nel quale il calore prodotto dalla reazione viene recuperato ed utilizzato per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria utilizzata in cantina. Si è quindi deciso di protrarre la fase aerobica fino alla fine di luglio 2016, dopodiché si è proceduto con lo svuotamento del carro e lo spandimento della biomassa residua lungo i filari aziendali.

#### - Secondo ciclo di sperimentazione

Tale ciclo è stato iniziato nell'agosto 2016, introducendo nel reattore polifunzionale il mix di biomasse coerente con quanto ipotizzato in Tabella 7. In Tabella 11 è riportato il reale mix di biomassa utilizzato.

Alimentazione	Quantità		Sostanza Secca [t]
	[t]	[m <sup>3</sup> ]	
Raspi d'uva	0,20	0,80	0,06
Vinacce	4,35	6,21	2,67
Letame Asina	0,10	0,13	0,03
Acqua	4,55	4,55	0,00
<b>Totale</b>	<b>9,20</b>	<b>11,69</b>	<b>2,76</b>

**Tabella 11:** Mix di biomassa utilizzato nel 2° ciclo sperimentale

Il processo di fermentazione anaerobica si è protratto per 8 settimane. La quantità di biogas prevista con tale mix di biomassa e la quantità realmente misurata alla fine del periodo di fermentazione anaerobica sono riportate nella Tabella 12.

Alimentazione	Produzione biogas	
	Stimata [Nm <sup>3</sup> ]	Reale [Nm <sup>3</sup> ]
Raspi d'uva	18	
Vinacce	606	
Letame Asina	9	
<b>Totale</b>	<b>633</b>	<b>559</b>

**Tabella 12:** Quantità di biogas stimata e reale nel 2\_ ciclo sperimentale

Come risulta dall'analisi dei risultati riportati in Tabella 12 la variazione tra la produzione di biogas stimata e quella realmente misurata è anche in questo caso molto contenuta. Durante il carico del reattore non si sono verificate problematiche particolari ed il processo di digestione anaerobica è stato alquanto proficuo. La differenza tra la produzione di biogas stimata e quella effettivamente misurata è infatti congruente con le aspettative.

Dopo il ciclo di fermentazione anaerobica si è rimossa l'acqua in eccesso e si è avviato un ciclo di fermentazione aerobica, ottenendo in questo modo il duplice risultato di seccare ulteriormente la biomassa per poter iniziare la coltivazione dei funghi e attuare il recupero del calore in eccesso sviluppato dalla reazione. Tale ciclo ha avuto una durata di dieci giorni. Successivamente si è proceduto con il ciclo di coltivazione di funghi *Pleurotus* sul substrato residuo, arricchito da sostanze organiche residuali rappresentate da fondi di caffè.

A conclusione del ciclo, la sostanza organica residua risulta trasformata in un composto stabilizzato e inodore dalle ottime proprietà ammendanti, le cui caratteristiche qualitative e quantitative sono state valutate nel WP 5.

## WP5 - Valutazione quali-quantitativa del compost di fine ciclo e gestione ottimale (CRA)

Il compost di fine ciclo derivante dai due cicli di prova realizzati è stato oggetto di valutazione da parte del CRA in questo WP. Le caratteristiche bio-chimiche del substrato in uscita sono state esaminate ed è stata definita la migliore epoca e modalità di spargimento del compost ottenuto, per l'applicazione nel sottofila del vigneto e la valutazione delle caratteristiche ammendanti e pacciamanti (effetto pacciamante, incidenza del compost sui valori di fisica del suolo, diminuzione dell'erosione e sul carbonio sequestrato dal suolo in termini di CO<sub>2</sub>).

Nella seguente Tabella 13 sono riportati i risultati delle analisi qualitative di compost di fine ciclo, in riferimento ai principali parametri per le determinazioni analitiche delle componenti biochimiche, verificandone la rispondenza ai valori limite fissati dal Decreto 27/03/98.

**Tabella 13. Analisi qualitative di compost di fine ciclo**

<b>Reazione</b>	pH	<b>7.39</b>	<b>Ac. Fulvici</b>	% su H. tot	<b>3.1</b>
<b>Umidità</b>	%	<b>57.43</b>	<b>Fosforo</b>	mg/kg s.s	<b>2461,00</b>
<b>C. Org.</b>	% s.s.	<b>17.54</b>	<b>Potassio</b>	mg/kg s.s	<b>4283,00</b>
<b>C/N</b>		<b>5.16</b>	<b>Ferro</b>	mg/kg s.s.	<b>64,31</b>
<b>Azoto tot.</b>	%	<b>3.4</b>	<b>Rame</b>	mg/kg s.s.	<b>15,10</b>
<b>N. Org.</b>	% N s.s.	<b>1.0</b>	<b>Zingo</b>	mg/kg s.s.	<b>12,40</b>
<b>N Nitrico</b>	mg/kg s.s.	<b>5.3</b>	<b>Boro</b>	mg/kg s.s.	<b>4,50</b>
<b>N Ammon.</b>	mg/kg s.s	<b>246.0</b>	<b>Piombo</b>	mg/kg s.s	<b>2,45</b>
<b>Humus tot.</b>	%	<b>56.8</b>	<b>Nichel</b>	mg/kg s.s	<b>8,33</b>
<b>Ac. Umici</b>	% su H. tot.	<b>96.9</b>	<b>Salinità</b>	mq/100gr.	<b>4287.00</b>

### Utilizzazione del compost aziendale

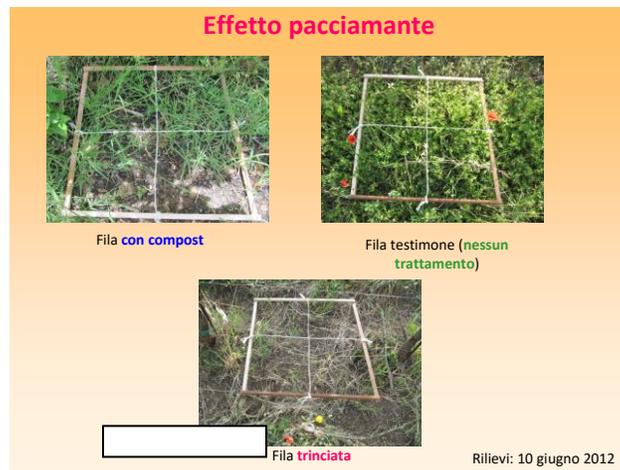
Lo spargimento del compost è stato effettuato con carro semovente nei sottofilari su 80 cm di larghezza x 6-8 cm di spessore.



**Fig. 17 Modalità di spargimento del compost in campo**

I suoli rappresentativi del vigneto presentano una dotazione di S.O. < 1%. Questo valore è di massima importanza in quanto influenza le pedo-proprietà funzionali quali macroporosità e ritenuta idrica che, a loro volta, influiscono negativamente sull'attività microbica, le caratteristiche fisico-strutturali e la fertilità chimica. L'effetto ammendante è ottenuto con impiego di compost lungo il filare e due sfalci/anno nell'interfila apportando in questi suoli, mediamente, le unità fertilizzanti necessarie alla produzione viticola. L'apporto continuativo di questa tipologia di compost "*digestato*" di fine ciclo con valori della frazione organica ed umica interessanti (ved. tab. 13), è quanto mai favorevole per la fertilità di questi suoli vitati. I risultati sperimentali hanno dimostrato che anche l'impiego del compost "*digestato*" di fine ciclo tende ad incrementare il contenuto di S.O. ed il rapporto C/ N di suoli vitati collinari a rischio erosione e desertificazione (S.O. 0.3-0.4%).

La valutazione dell'effetto pacciante del compost è stato stimato con la capacità di impedimento/rallentamento della crescita delle infestanti (es. *Papaver hybridum* e *Cynodon dactylon*). Sono state condotte varie prove sperimentali con misurazioni dirette nelle annate 2015 e 2016. La gestione del vigneto prevede, in parte, l'inerbimento naturale con successiva trinciatura sull'interfila ed erpicatura in sottofila. I risultati ottenuti dimostrano che rispetto al 100% di copertura di infestanti in un sottofilare/testimone (filare senza compost), sui filari sottoposti allo spargimento del compost "*digestato*" di fine ciclo si ottiene una riduzione di infestanti che varia mediamente dal 60% al 70% (Figura 18).



**Figura 18. Prove condotte ai fini della valutazione dell'effetto pacciante.**

Con quantitativi di riferimento di 2-3 kg/mq in sottofilare, per una fascia di 50-60 cm larga e 5-6 cm alta, si ottiene un effetto pacciamante sempre evidente per il controllo delle infestanti lungo il filare. Con l'effetto pacciamante ne guadagna, inoltre, il contenuto idrico del suolo che è sempre nettamente superiore rispetto ai contesti di suolo solo lavorato. L'utilizzazione del compost "digestato" di fine ciclo ha dimostrato di avere, come l'uso del compost "on-farm", una notevole sostenibilità ambientale e produttiva a cui si aggiunge una sostenibilità economica per l'eliminazione del costo di acquisto di compost biologico e di concimi biologici per la fertilizzazione granulare localizzata.

Infine in questo sistema-biologico-aziendale, l'uso del compost assume prevalente valenza ambientale sia come elemento di conservazione fisica del suolo, che di immagazzinamento di S.O. e, quindi, di sequestro di C da sottrarre alla formazione di CO<sub>2</sub>.

## **WP6 - Piano di sfruttamento dei risultati e ricadute (DIBAF)**

Al progetto COMEF è stata data ampia visibilità in convegni, eventi, pagine web. Di seguito le principali iniziative realizzate.

- Workshop "Stato dell'Arte sull'innovazione dell'uso del compost in Viticoltura: le conoscenze disponibili e trasferibili – CRA-VIC Arezzo – 30/10/2014
- Infowine Arezzo 2014: "Compost di qualità per la sostenibilità ecologica ed economica dell'azienda vitivinicola"
- Presentazione convegno all'EXPO su Viticoltura sostenibile e riutilizzo degli scarti, il 30 giugno 2015
- Presentazione Tuscia Food Village con poster divulgativo presso sede Rettorato Università della Tuscia nel periodo 1 maggio-30 ottobre 2015
- "Lo Sviluppo Partecipato in Agricoltura: alcuni esempi di Buone Prassi per la condivisione e il trasferimento di conoscenze in campo agricolo. Agroalimentare ed industriale" – Testa CRA-Serv. Innov. e Trasf. Tecnologico – Marzo 2015 pp. 233
- Convegno Vinality 2016: Viticoltura sostenibile del Lazio. Progetti VINI3S e COMEF: vini di grande qualità a basso impatto ambientale. Domenica 10 Aprile 2016 ore 14:00, Organizzato da Mipaaf presso Stand Mipaaf - Ingresso Piano Terra – Palaexpo, Vinality 2016.
- Convegno Vinality 2015: Progetto COMEF - "riutilizzo di biomasse di seconda generazione per la produzione multifunzionale di COMpost, METano e Funghi eduli a minimo impatto ambientale Stand Mipaaf - Ingresso Piano Terra – Palaexpo, Vinality 2016, 25 marzo 2015
- Convegno Vinality 2014: Opportunità e Innovazione per il settore agricolo: i Vini Eco-Sostenibili. Un esempio nel Lazio: Az. Agr. Biologica Trebotti - progetto "COMEF: riutilizzo di biomasse di seconda generazione per la produzione multifunzionale di COMpost, METano e Funghi eduli a minimo impatto ambientale" Stand Mipaaf - Ingresso Piano Terra – Palaexpo, Vinality 2014, martedì 8 aprile 2014 ORE 11.00 SALA A
- Presentazione del progetto durante Evento Biovendemmia 2016 – Presso azienda agricola Trebotti, 25 settembre 2016

- Presentazione del progetto durante Evento Biovendemmia 2015 – Presso azienda agricola Trebotti, 27 settembre 2015
- Presentazione del progetto durante Evento Biovendemmia 2014 – Presso azienda agricola Trebotti, 21 settembre 2014
- Presentazione durante evento gusto in scena 28 e 29 febbraio 2016.

- “Qualitative irrigation and compost affect the Montepulciano grape composition in a volcanic environment of Lazio region (Italy). Pasquale Cirigliano<sup>1</sup>, Maria Vincenza Chiriaco<sup>2</sup>, Abelardo Nuñez<sup>3</sup>,

Giovanni Dal Monte<sup>4</sup>, and Tilde Labagnara. Articolo scientifico pubblicato su rivista internazionale Cien. Inv. Agr. 44(2):195-206. 2017.

Inoltre è stata data ampia visibilità e diffusione al progetto da parte dell’Università della Tuscia, CREA e dell’azienda Trebotti attraverso il sito, social network e sul materiale pubblicitario/divulgativo; attraverso lezioni didattiche frontali e presentazione del caso studio a studenti dei corsi di laurea del settore, e ai ricercatori/dottorandi del CRA. L’azienda biologica Trebotti ha anche inserito la presentazione del progetto in tutti i tour enogastronomici ed eventi che ospita in situ settimanalmente.

### 3. Considerazioni conclusive

Il progetto si è concluso con il pieno raggiungimento degli obiettivi previsti, consentendo l’introduzione di un elemento altamente innovativo nelle pratiche di gestione aziendali, grazie alla possibilità sviluppata nel progetto di poter utilizzare all’interno del microimpianto multifunzionale un mix di biomasse di seconda generazione (derivanti cioè da scarti agricoli), le quali da rifiuto diventano risorsa utile per l’ottenimento delle seguenti finalità:

- produzione di metano da fermentazione del compost recuperabile e utilizzabile a fini energetici;
- produzione di funghi eduli che saranno commercializzati dall’azienda Trebotti sul substrato compostato ed arricchito da pollina e fondi del caffè;
- utilizzo del compost di fine ciclo a scopo ammendante, pacciamante ed antierosivo nel vigneto.

Nel contesto aziendale, il progetto è inteso come un’ulteriore razionalizzazione del processo di compostaggio delle biomasse di seconda generazione già avviato all’aperto con il precedente progetto VINI3S, il quale ha evidenziato che l’utilizzo degli scarti da biomasse agricole (vinacce, raspi, potature, etc. . . ) per la produzione di compost rappresenta una buona pratica agricola a fini ambientali. Con il presente progetto COMEF è stato possibile regolare il processo di fermentazione libera del compost riducendo al contempo l’effetto secondario della produzione di gas serra (metano) che impatterebbe altrimenti sull’LCA (*Life Cycle Assessment*) aziendale, aumentando il bilancio delle emissioni (*carbon footprint*).