

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
VITERBO**

DIPARTIMENTO DI GEOLOGIA E INGEGNERIA MECCANICA,
NATURALISTICA E IDRAULICA PER IL TERRITORIO (GEMINI)

DOTTORATO DI RICERCA IN MECCANICA AGRARIA
XXIII CICLO

**PROGETTAZIONE ED UTILIZZAZIONE
DI UN BIOREATTORE DA LABORATORIO
PER IL COMPOSTAGGIO**

Settore Scientifico Disciplinare (AGR/09)

Coordinatore: Prof. Ing. Danilo Monarca

Tutor: Dott. Ing. Pier Riccardo Porceddu

Dottoranda: Dott.ssa Laura Rosati

Indice

Introduzione

CAP. 1 – I sottoprodotti olivicolo-oleari.....	4
1.1 Le potature.....	4
1.2 Le sanse.....	9
1.2.1 Caratterizzazione delle sanse vergini.....	12
1.3 Le acque di vegetazione.....	14
1.4 Il nocciolino.....	14
1.5 Utilizzazione agronomica dei reflui oleari.....	15
1.5.1 Normativa di riferimento per l'utilizzazione agronomica dei reflui oleari.....	16
1.6 Il compostaggio delle sanse.....	22
CAP. 2 – Il compostaggio.....	26
CAP. 3 – I biocompostatori.....	30
3.1 I sistemi chiusi.....	30
3.1.1. I biotamburi.....	32
3.1.2 I sili.....	32
3.1.3 Le trincee dinamiche.....	33
3.1.4 I bacini dinamici.....	33
3.2 I sistemi aperti.....	33
3.2.1 Il cumulo rivoltato.....	34
3.2.2 Le andane.....	35
CAP. 4 – Sperimentazione eseguita.....	36
4.1 Il progetto del bireattore.....	37
4.2 Prove di compostaggio.....	48
4.2.1 Risultati delle prove di compostaggio.....	54
4.3 Produzione di compost in cumulo statico.....	62
4.4 Risultati delle prove di germinabilità.....	66
Conclusioni.....	68
Bibliografia.....	70

Introduzione

In Italia, soprattutto nelle regioni del Centro Sud, l'olivicoltura assume una rilevante importanza socio-economica, ambientale e paesaggistica. In particolare in Umbria vi sono circa 30.000 ettari di oliveti e 270 frantoi.

I sottoprodotti derivati dalla trasformazione delle olive sono costituiti da acqua di vegetazione (refluo liquido) e da sansa vergine (refluo solido).

Le acque di vegetazione sono costituite dal liquido acquoso separato dal mosto oleoso derivante dalle olive, che contiene componenti organici e minerali e un modesto residuo di olio, dall'acqua di lavaggio delle olive e dall'acqua degli impianti di estrazione ed infine dall'acqua di diluizione delle paste usate negli impianti continui a centrifugazione. Le acque di vegetazione, pur non contenendo sostanze tossiche o microrganismi patogeni, sono caratterizzate da una notevole carica inquinante a causa dell'elevata acidità e dell'alto contenuto in sostanza organica, polifenoli e sali. I diversi sistemi di depurazione attualmente utilizzabili non sono in grado di ridurre il tasso inquinante ai livelli fissati dalle norme di legge a costi economicamente accessibili per la maggior parte dei frantoi umbri e del Centro Italia in genere, che sono per lo più di piccole dimensioni.

Anche la sansa, costituita dalla parte fibrosa del frutto e dai frammenti di nocciolo, a differenza del recente passato quando era una fonte di reddito per il frantoiano che la vendeva al sansificio per l'estrazione dell'olio residuo, ormai sta diventando un sottoprodotto da smaltire, a causa sia del progressivo regresso del mercato dell'olio di sansa di oliva, in conseguenza della crescente preferenza da parte dei consumatori per oli di maggiore qualità, sia per motivi di insostenibilità ambientale, che stanno determinando la chiusura di diversi sansifici. Inoltre va considerato che l'evoluzione dei sistemi di estrazione causa un aumento del contenuto in acqua delle sanse, denominate sanse umide e rende più costosa l'estrazione dell'olio residuo; pertanto questa tipologia di sanse è difficilmente collocabile presso i sansifici. Tale contesto comporterà inevitabilmente una crescente emergenza per lo smaltimento delle sanse. In base alla normativa vigente è consentita l'utilizzazione agronomica, cioè lo spargimento su terreno agrario, delle acque di vegetazione e delle sanse purché, considerando l'elevata acidità e l'alto contenuto in sali ed in polifenoli, vengano

rispettati determinati limiti e tecniche e si tengano in debito conto alcune caratteristiche pedologiche, morfologiche ed ambientali del sito interessato allo smaltimento.

La regolamentazione sulle acque di vegetazione, recentemente modificata sia in sede nazionale che di regione Umbria (D.Lgs. 152/06 e D.G.R. 1423/06), pone limiti per lo stoccaggio, il trasporto e l'utilizzazione agronomica dei reflui liquidi tali da renderne spesso preferibile uno smaltimento alternativo. D'altra parte, gli studi disponibili sull'uso di questi sottoprodotti in agricoltura pongono in risalto non tanto i benefici che la fertilità del terreno può trarne, quanto piuttosto l'assenza di effetti negativi. Questo modo di operare fa quindi supporre che ci si trovi di fronte ad un'attività di smaltimento, piuttosto che ad un'opera di fertilizzazione del terreno.

Per quanto riguarda le sanse umide, l'utilizzo agronomico è regolamentato, oltre che dalle norme precedentemente riportate, anche dalla legge 217/06 che regola in Italia la produzione e la commercializzazione dei fertilizzanti. In base a quest'ultima, le sanse umide sono classificate tra gli ammendanti vegetali semplici e per il loro impiego devono essere rispettati tutti i limiti qualitativi che la legge impone per questa categoria di fertilizzanti. Non va trascurato che il valore agronomico di una biomassa come la sansa, non sottoposta ad alcun processo di stabilizzazione, risulta limitato e pertanto non vengono valorizzate appieno le potenzialità fertilizzanti del sottoprodotto. Come conseguenza di ciò si registra il difficile apprezzamento nei confronti delle sanse da parte degli operatori agricoli.

Sulla base di queste considerazioni, si ritiene che all'interno delle realtà produttive del comparto olivicolo oleario, sia quanto mai auspicabile una gestione integrata delle biomasse prodotte lungo tutta la filiera (potature, sanse, acque di vegetazione), ricercando soluzioni concrete ed innovative per sottrarre i sottoprodotti del ciclo produttivo alla logica dello smaltimento, inserendoli invece in circuiti virtuosi di recupero che, tra l'altro, permettano di chiudere all'interno dell'azienda il ciclo del carbonio organico, con benefici economici e ambientali.

Il fine ultimo è il recupero della biomassa e l'ottenimento di un prodotto di qualità, mediante un processo controllato e sostenibile che, nel caso in esame, possa portare alla produzione di un fertilizzante organico di elevato valore e idoneo anche per l'utilizzo all'interno di coltivazioni condotte secondo i criteri dell'agricoltura

biologica e del vivaismo. L'ottenimento di un prodotto che abbia tali caratteristiche non può prescindere da un trattamento biologico della biomassa, che porti alla produzione di un compost di elevata qualità, stabile e maturo.

Obiettivo del presente lavoro è verificare la possibilità di produrre un compost di qualità, economico e di facile disponibilità, utilizzando tutte le tipologie di rifiuti organici (residui di potatura, sanse, acque di vegetazione) provenienti dalla filiera olivicolo-olearia, che verrebbe così sgravata, almeno parzialmente, dalle incombenze relative allo smaltimento dei sottoprodotti.

CAP. 1 – I SOTTOPRODOTTI OLIVICOLO-OLEARI

I sottoprodotti del comparto olivicolo-oleario sono costituiti dalle potature, da sansa vergine (refluo solido) e da acqua di vegetazione (refluo liquido). Negli ultimi anni si sta recuperando anche il cosiddetto nocciolino per la produzione di energia tramite combustione.

1.1 Le potature

Prima della ripresa vegetativa, nel periodo che va da febbraio a marzo, si esegue la potatura delle piante di olivo. Purtroppo la carenza di manodopera specializzata per tale attività, sta costringendo ad interventi non più annuali ma biennali se non addirittura triennali. Pertanto il prodotto risultante è costituito non solo dai rami più esterni alla pianta e quindi più sottili, ma anche da piccoli tronchetti. Questi ultimi vengono recuperati manualmente come legna da ardere, mentre i rami più sottili sono lasciati sul campo attorno alla pianta. Generalmente tale sottoprodotto che ha mediamente una consistenza di circa 10 kg a pianta subisce due destinazioni: la prima consiste nella raccattatura e bruciatura ai margini del campo, mentre la seconda nella trinciatura ed interrimento. La prima pratica è vietata per legge, per gli evidenti rischi che comporta, senza peraltro considerare anche l'enorme polvere e fumo che si solleva nell'aria. La seconda destinazione d'uso è effettuata al fine di consentire una degradazione di tale materiale lignocellulosico, al fine di restituire sostanza organica al terreno. Questo processo è tuttavia piuttosto lento ed i microrganismi che dovrebbero effettuare tale operazione vivono consumando azoto, che evidentemente sottraggono al terreno. Pertanto nel breve periodo tale pratica determina un impoverimento di azoto ai danni del terreno stesso.

Da diversi anni, con la crescente attenzione alle biomasse ed alle fonti energetiche rinnovabili, si sta pensando alla raccolta delle potature per un utilizzo energetico finalizzato alla bruciatura per il recupero di calore. L'industria costruttrice di macchine agricole ha realizzato gli strumenti necessari per la raccolta di questi prodotti. Si tratta sostanzialmente di imballatrici prismatiche o cilindriche derivate dalle macchine per la raccolta dei foraggi, a cui sono stati irrobustiti determinati

organi, che producono balle di piccole o grandi dimensioni (foto 1.1, 1.2, 1.3, 1.4). Un'altra categoria di macchine prodotte è costituita dalle trinciacaricatrici che praticamente sono composte da un classico trinciastocchi a cui è stato aggiunto un serbatoio per il contenimento del prodotto raccolto (foto 1.5, 1.6, 1.7). Sono stati condotti studi e ricerche per valutare le potenzialità energetiche delle potature con riferimento alle variazioni di umidità e potere calorifico nel tempo (Porceddu et al., 2007). Dal punto di vista economico, considerando una distanza di circa 5 km dal campo al luogo di utilizzo i costi di raccolta e trasporto con le imballatrici sono di circa 4,64 €/quintale, mentre con le trinciacaricatrici di 5,40 €/quintale. Questi costi sono molto simili al prezzo del legno cippato che è di circa 5,00 €/quintale, il che porterebbe al sostanziale pareggio tra i costi di recupero delle potature ed il prezzo di vendita del cippato. In realtà così non è, in quanto vanno sottratti comunque i costi dovuti alle operazioni di trinciatura ed interrimento delle potature sul campo, operazioni che sono effettuate nella maggior parte degli oliveti e che ammontano a circa 2,50 €/quintale. In conclusione si potrebbe ipotizzare la creazione di filiere corte per l'utilizzo energetico delle potature di olivo, in cui l'olivicoltore risparmierebbe il costo (2,50 €/quintale) per la trinciatura e l'interrimento dei residui, mentre un contoterzista provvederebbe a raccogliere il prodotto, a costi minori con un'adeguata organizzazione del lavoro, che dovrà contenere il più possibile i costi di trasporto, data anche la diffusa frammentazione aziendale. È comunque importante ricordare che le potature sono un sottoprodotto agricolo e non il prodotto principale della coltivazione e la loro raccolta a fini energetici, elimina anche i problemi relativi al loro smaltimento sul campo.



Foto 1.1 – Macchina imballatrice prismatica.



Foto 1.2 – Macchina rotoimballatrice per balle di grandi dimensioni.



Foto 1.3 – Macchina rotoimballatrice per balle di piccole dimensioni.



Foto 1.4 – Balletta prismatica ottenuta con potature di olivo.



Foto 1.5 – Macchina trinciacaricatrice dotata di serbatoio di raccolta.



Foto 1.6 – Macchina trincia-caricatrice dotata di sacchi di raccolta.



Foto 1.7 – Trinciato di olivo ottenuto con le macchine trincia-caricatrici.

1.2 Le sanse

La sansa vergine è costituita dalla parte fibrosa del frutto e dai frammenti di nocciolo e contiene una quantità molto variabile di acqua di vegetazione. Le caratteristiche chimico-fisiche di tali sottoprodotti dipendono dalle condizioni pedoclimatiche dell'area di coltivazione, dalla varietà, dallo stato di maturazione delle olive e soprattutto dal sistema di estrazione del mosto oleoso dalle paste.

Diversi sono gli impianti ed i principi utilizzati per ottenere l'estrazione del “mosto oleoso” dalle paste gramolate: per pressione, per centrifugazione, per filtrazione selettiva o tensione superficiale. I primi due metodi sono esaustivi e possono essere impiegati autonomamente, mentre la filtrazione selettiva, lasciando elevate percentuali di olio residuo nelle paste, deve essere abbinata alla pressione o alla centrifugazione. Tali sistemi di estrazione differiscono oltre che per la resa e per la qualità dell'olio fornito (tab. 1.1), anche per la quantità e per la composizione dei sottoprodotti generati. Il metodo di estrazione tradizionale discontinuo a pressione produce una sola fase liquida (olio + acqua di vegetazione), che viene successivamente sottoposta a centrifugazione su decanter per la separazione dell'olio dalle acque di vegetazione.

Negli impianti tradizionali a pressione, da 100 kg di olive si producono circa 48-50 kg di sanse vergini, con un contenuto di acqua di circa il 28-30%, e circa 45 kg di acqua di vegetazione. Questi impianti, dove non è prevista l'aggiunta di acqua di processo, risultano particolarmente vantaggiosi dal punto di vista ecologico e tecnologico, perché forniscono oli di ottima qualità e sanse con ridotta umidità. Tuttavia la natura discontinua del processo (bassa capacità operativa), le problematiche relative alla tipologia costruttiva delle macchine e le difficoltà riscontrate nella gestione dei diaframmi, rendono economicamente svantaggioso l'utilizzo del sistema di estrazione per pressione.

Gli impianti di estrazione per centrifugazione continui (decanter) si sono ampiamente diffusi nel settore dell'estrazione meccanica dell'olio di oliva a partire dalla fine degli anni settanta. Attualmente tali impianti rappresentano i sistemi di estrazione più diffusi nei paesi del Mediterraneo. Infatti i sistemi continui rappresentano circa il 99% degli impianti in Spagna e oltre l'80% in Italia e Grecia, in termini di quantità di olio prodotto (Cladini et al., 2005).

Gli impianti continui "tradizionali a tre fasi" operano l'estrazione del mosto oleoso mediante centrifuga orizzontale, che necessita per una sua regolare alimentazione, di un'elevata umidità delle paste. I decanter a tre fasi forniscono, oltre alle sanse vergini, due frazioni liquide, una prevalentemente oleosa e l'altra prevalentemente acquosa che verranno successivamente sottoposte a centrifugazione su decanter verticali per l'estrazione dell'olio dalle acque di vegetazione.

Negli impianti "tradizionali a tre fasi" da 100 kg di olive si ottengono 50-60 kg di sanse vergini (con un contenuto di acqua del 50-55%) e circa 120 kg di acqua di vegetazione. Il maggiore svantaggio di questo sistema è la notevole quantità di acqua necessaria per il processo, con conseguente produzione di elevati quantitativi di acque di vegetazione e la riduzione di composti secondari presenti nell'olio, i quali vengono dilavati dalla notevole aggiunta di acqua di processo.

L'esigenza di migliorare la qualità dell'olio e di ridurre la produzione delle acque di vegetazione ha spinto a considerare l'opportunità di modificare il ciclo di estrazione, riducendo o eliminando l'aggiunta di acqua di processo, così da influire sull'intera filiera olearia. In questa ottica sono state introdotte centrifughe a due ed a tre fasi che richiedono un ridotto apporto di acqua di processo e forniscono oli con caratteristiche

simili a quelli prodotti con il sistema tradizionale per pressione che, se ben gestito, rappresenta ancora oggi la tecnica che fornisce prodotti con i più elevati standard qualitativi (Servili et al., 2003).

Negli impianti continui “a due fasi” la pasta oleosa viene convogliata in un decanter a due fasi che, lavorando con una minima aggiunta di acqua di processo (massimo il 10% in peso della pasta oleosa), porta alla produzione di sanse con un’umidità variabile dal 55 al 65% (sansa umida). Con questi impianti si arriva a produrre circa 70-80 kg di sansa umida per ogni 100 kg di olive lavorate. Tali impianti consentono di ridurre i problemi connessi allo smaltimento delle acque di vegetazione, ma le sanse prodotte, essendo molto umide, sono difficili da movimentare e da smaltire. La sansa umida comprendente anche l’acqua di vegetazione, si essicca con notevole lentezza e possiede un alto carico inquinante. Inoltre le sanse umide, a causa della loro elevata umidità e del loro basso contenuto in olio, sono rifiutate dai sansifici. Per evitare i problemi legati alla produzione di elevati volumi di acque di vegetazione (decanter tradizionale a tre fasi) e quelli relativi alle difficoltà di smaltimento delle sanse umide (decanter a due fasi), sono stati introdotti i decanter a tre fasi a basso consumo di acqua. I decanter detti “a tre fasi con risparmio di acqua” sono in grado di operare con una minima aggiunta di acqua di processo (massimo il 10-20% in peso rispetto al peso di olive trattate). Questi separatori centrifughi orizzontali operano in impianti simili a quello previsto per i decanter “tradizionali a tre fasi”.

La sansa vergine prodotta dagli impianti discontinui a pressione e quella proveniente dall’estrazione operata mediante decanter a tre fasi sia “classici” sia a risparmio idrico, viene utilizzata nei sansifici previa essiccazione per estrarre l’olio residuo con la produzione di olio di sansa e delle sanse esauste.

Negli ultimi anni, in Italia, tale pratica è stata quasi completamente abbandonata e molti sansifici hanno smesso la loro attività a causa degli elevati costi energetici e dell’impatto che il processo ha sull’ambiente. Inoltre con l’innalzarsi del livello economico e culturale, i consumatori sono sempre più orientati verso la richiesta di prodotti di qualità e contemporaneamente è cresciuta l’attenzione verso il rischio di contaminazioni degli oli di sansa con idrocarburi policiclici aromatici (IPA), derivati dal contatto, durante la fase di essiccazione, tra i fumi di combustione presenti e la sansa da avviare all’estrazione. Questa tendenza si ripercuote anche nell’industria

olearia provocando, nel caso delle sanse, la conseguente difficoltà per il loro smaltimento, data la ridotta richiesta dell'olio che da esse viene estratto.

Tabella 1.1 Bilancio di massa relativo ai differenti sistemi di estrazione dell'olio (Servili et al., 2003).

Sistema di estrazione dell'olio	Olio (kg/100 kg olive) Valore medio	Acqua di processo (acqua di diluizione) (kg/100kg olive)	Acqua di vegetazione (kg/100kg olive)	Sansa (kg/100 kg olive)	Umidità della sansa vergine (%)
Estrazione per pressione	20	-	45	48-50	28-30
Estrazione con decanter tradizionale a tre fasi	20	50-60	100-120	50-60	50-55
Estrazione con decanter a due fasi	20	0-10	30	70-80	55-65
Estrazione con decanter a tre fasi con risparmio di acqua	20	10-15	33-35	50-60	50-55

Tutto ciò crea la necessità di prevedere nuove vie per utilizzare e valorizzare questi sottoprodotti. Nel caso delle sanse provenienti dagli impianti di estrazione a due fasi, il problema di prevedere un impiego alternativo a questo sottoprodotto assume particolare rilevanza, in quanto le sanse umide non vengono neanche accettate dai sansifici, perché il loro elevato contenuto idrico crea notevoli problemi nella fase di estrazione dell'olio di sansa vergine.

1.2.1 Caratterizzazione delle sanse vergini

Le sanse vergini che derivano dall'estrazione dell'olio di oliva presentano una composizione e caratteristiche chimico-fisiche molto variabili in funzione del tipo di impianto con il quale le olive sono state lavorate (tabb. 1.2 e 1.3). Con l'introduzione di sistemi di estrazione continui, che prevedono la centrifugazione delle paste, si è assistito ad un aumento del contenuto di acqua nelle sanse vergini, rispetto allo stesso sottoprodotto ottenuto dagli impianti tradizionali discontinui (estrazione per pressione).

Le sanse vergini, sia che provengano da impianti a tre o a due fasi, presentano un elevato contenuto di sostanza organica, un elevato contenuto di sostanze grasse e composti fenolici, un buon contenuto in fosforo, potassio ed azoto ed un pH acido.

Tabella 1.2. Caratteristiche chimico-fisiche della sansa vergine proveniente da impianto a tre fasi (Proietti et al., 2005).

Parametri	Valori medi
Umidità (a 105°C)	52,0
pH (1:10)	5,2
Azoto Totale (come N) (%s.s.)	0,96
Fosforo Totale (come P ₂ O ₅) (%s.s.)	0,56
Carbonio Organico Totale (%s.s.)	60,4
Rapporto C/N	63,0
Carbonio Organico Totale Estratto (%s.s.)	29,8
Carbonio Umico (%s.s.)	11,4
Carbonio non Umico (%s.s.)	18,4
Grado di Umificazione (DH) (%)	37,0
Tasso di Umificazione (HR) (%)	18,9
Indice di Umificazione (HI)	1,6

Tabella 1.3. Caratteristiche chimico-fisiche della sansa vergine proveniente da impianto a due fasi (Roig et al., 2005).

Parametri	Valori medi
Umidità (a 105°C)	71,4
Sostanza organica (%s.s.)	94,5
Grassi (%s.s.)	8,6
Lignina (%s.s.)	35,0
pH	5,19
Conducibilità elettrica specifica (mS cm ⁻¹)	2,8
N totale (% s.s.)	0,97
C/N	46,6
Ceneri (% s.s.)	5,50
Fosforo Totale (come P ₂ O ₅) (% s.s.)	0,35
Potassio Totale (come K ₂ O) (% s.s.)	2,06
Ca (% s.s.)	0,40
Mg (% s.s.)	0,05
Na (% s.s.)	0,10
Fe (mg kg ⁻¹ s.s.)	1030
Mn (mg kg ⁻¹ s.s.)	13
Cu (mg kg ⁻¹ s.s.)	138
Zn (mg kg ⁻¹ s.s.)	22
Cd, Co, Pb, Cr, Hg (mg kg ⁻¹ s.s.)	< 1

1.3 Le acque di vegetazione

Altro sottoprodotto dell'estrazione dell'olio di oliva è rappresentato dalle acque di vegetazione che risultano ricche di composti organici e, pertanto, oltre a possedere un elevato potenziale carico inquinante, risultano di difficile smaltimento.

Le acque di vegetazione sono prodotti caratterizzati da un BOD₅ (Domanda Biologica di Ossigeno in 5 giorni) variabile da 14.000-90.000 mg/l, un COD (Domanda Chimica di Ossigeno) di 50.000-180.000 mg/l e un pH piuttosto basso, circa 4-6. Ciò significa un carico di sostanza organica molto elevato, se si pensa che normalmente nei reflui urbani il BOD ha un valore compreso tra 400 ed 800 mg/l.

Pertanto, in conseguenza delle loro caratteristiche, anche per le acque di vegetazione si pone il problema di una loro possibile valorizzazione agronomica.

1.4 Il nocciolino

Esistono due tipologie di nocciolino: quello proveniente dai frantoi ed ottenuto dalla sansa vergine e quello proveniente dai sansifici ed ottenuto dalla sansa esausta o disoleata. Il nocciolino di sansa vergine (foto 1.8) è prodotto direttamente nel frantoio, grazie a macchine separatrici che operano per centrifugazione, mentre il nocciolino di sansa esausta ha subito, insieme alla sansa, dei trattamenti chimici all'interno del sansificio. Il nocciolino ha un elevato potere calorifico e può essere impiegato direttamente nel frantoio, ad esempio per il riscaldamento dell'acqua impiegata per la gramolatura, oppure immesso sul mercato come sostitutivo del pellet di legno (tab. 1.4). É possibile trovare il nocciolino in forma sfusa o confezionato in sacchetti da 20 e 25 kg; il prezzo è di circa $10\div 15 \times 10^{-2}$ €/kg.

Tabella 1.4. Potere calorifico di diversi prodotti agricoli.

Combustibile	Potere calorifico [kcal/kg]
Mais	6100
Legna da ardere (faggio)	3600
Cippato	3500
Pellets	4500
Nocciolino di olive (umidità<6%)	4800
Nocciolino di olive (umidità>10%)	4100
Sansa di olive	4500
Gusci di pinoli	4200
Gusci di nocciole	4200
Semi di uva	4500



Foto 1.8 – Particolare del nocciolino ottenuto da sansa vergine con macchine separatrici.

1.5 Utilizzazione agronomica dei reflui oleari

Le sanse vergini, data la loro ricchezza di elementi nutritivi, l'elevato contenuto in sostanza organica, una concentrazione estremamente bassa in metalli pesanti, altri composti tossici od organismi patogeni, possono essere considerate buoni ammendanti, in quanto permettono un sostanziale miglioramento delle proprietà chimico-fisiche del suolo. Trattandosi di un sottoprodotto dell'agroindustria, l'uso delle sanse vergini in agricoltura, pur non essendo sottoposto alla disciplina in materia di rifiuti, è regolamentato da apposita legislazione, tanto nazionale quanto regionale.

Stesso discorso, da un punto di vista legislativo, vale per le acque di vegetazione, il cui valore agronomico è però riconducibile più che altro al contenuto in elementi nutritivi non avendo quindi alcun effetto ammendante.

Riguardo all'utilizzazione agronomica delle sanse vergini i pochi studi condotti hanno permesso di evidenziare che il terreno trattato con tale refluo mostra un miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche ed una maggiore concentrazione di azoto, fosforo e carbonio organico totale.

1.5.1 Normativa di riferimento per l'utilizzazione agronomica dei reflui oleari

L'utilizzazione agronomica delle sanse vergini e delle acque di vegetazione in ambito nazionale è regolata dalla Legge n. 574 del 11 novembre 1996 “Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi dei frantoi oleari”, nonché dal Decreto Ministeriale del 6 luglio 2005 “Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari, di cui all'articolo 38 del Decreto Legislativo 11 maggio 1999, n. 152”. I principi definiti in tali atti sono stati ripresi in ambito regionale (Umbria) nella Direttiva Tecnica Regionale “Utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sanse umide dei frantoi oleari” approvata nella Delibera della Giunta Regionale 2 agosto 2006 n. 1423.

L'articolo 1 comma 2 della Legge n. 574 del 1996 definisce che: “Ai fini dell'applicazione della presente legge le sanse umide provenienti dalla lavorazione delle olive e costituite dalle acque e dalla parte fibrosa di frutto e dai frammenti di nocciolo possono essere utilizzate come ammendanti in deroga alle caratteristiche stabilite dalla Legge n. 748 del 19 ottobre 1984, , e successive modificazioni...”. Detta Legge è stata sostituita dal Decreto Legislativo n. 217 del 29 aprile 2006 e in riferimento alla sansa, questa viene classificata come “ammendante vegetale semplice non compostato” se risponde ai requisiti di:

- umidità massima del 50%;
- pH compreso tra 6 e 8,5;
- carbonio organico sul secco minimo 40%;
- azoto organico sul secco almeno 80% dell'azoto totale;
- rame totale sul secco massimo 150 mg/kg;
- zinco totale sul secco massimo 500 mg/kg;
- contenuto in torba sul tal quale massimo 20% ;
- piombo totale massimo 140 mg/kg sulla sostanza secca;
- cadmio totale massimo 1,5 mg/kg sulla sostanza secca;
- nichel totale massimo 100 mg/kg sulla sostanza secca;
- mercurio totale massimo 1,5 mg/kg sulla sostanza secca.

Ai sensi dell'art. 4, comma 1 della D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006, "...l'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sanse umide dei frantoi oleari deve essere effettuata in maniera tecnicamente corretta, assicurando un'idonea distribuzione ed incorporazione delle sostanze sui terreni, in modo da evitare conseguenze tali da compromettere l'approvvigionamento idrico, nuocere alle risorse viventi ed al sistema ecologico".

Come definito nel comma 2 dell'art. 4 della D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006 "...lo spandimento delle acque di vegetazione e delle sanse umide si intende realizzato in modo tecnicamente corretto e compatibile con le condizioni di produzione, con una distribuzione uniforme del refluo sull'intera superficie dei terreni in modo da evitare eventuali fenomeni di ruscellamento".

La tecnica di distribuzione deve essere scelta tenendo conto delle caratteristiche geomorfologiche, pedologiche ed agronomiche del sito, come definito all'art. 4 comma 5 del D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006.

Secondo quanto definito nell'art.4 comma 3 della D.G.R. della Regione Umbria del 2 agosto 2006, n. 1423, "in base alle caratteristiche climatiche della regione, il periodo consentito per lo spandimento delle acque di vegetazione e delle sanse umide, prodotte nell'arco di un anno, ai sensi dell'art. 5 del decreto 6 luglio 2005, decorre dall'inizio della lavorazione delle olive al 30 giugno dello stesso anno. Relativamente alle sanse umide provenienti dai frantoi a ciclo tradizionale deve avvenire ad anni alterni, fatta salva la possibilità di frazionare la dose massima applicabile al terreno in due anni consecutivi".

A. Dosi di applicazione

L'utilizzazione agronomica delle sanse umide è consentita nel rispetto dei limiti di accettabilità annui previsti dall'articolo 5 della Direttiva Tecnica Regionale "Utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sanse umide dei frantoi" approvata con la D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006:

- per le sanse umide provenienti da impianti a ciclo tradizionale il limite massimo ammesso è di 50 m³/ettaro/anno;
- per le sanse umide provenienti da impianti a ciclo continuo il limite massimo ammesso è di 80 m³/ettaro/anno.

In riferimento ai limiti di accettabilità per “anno” si intende il periodo di tempo che intercorre tra il 1° settembre ed il 31 agosto dell’anno successivo.

B. Divieti di utilizzazione e distanze di rispetto

Secondo l’art. 5 della Legge 574/96, l’art. 4 del Decreto Legislativo 6 luglio 2005 e l’art. 6 del D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006, fatto salvo il divieto di spandimento su terreni non adibiti ad usi agricoli, non è consentita la distribuzione delle sanse nei seguenti casi:

- nei terreni situati a distanza inferiore a trecento metri dalle aree di salvaguardia delle captazioni di acque destinate al consumo umano ai sensi dell'articolo 4 del decreto del Presidente della Repubblica n. 236 del 24 maggio 1988,
- entro le zone di tutela assoluta e di rispetto, secondo le disposizioni di cui all’art. 94 del D.Lgs. 152/06 (“aree di ricarica della falda, emergenze naturali ed artificiali della falda e zone di riserva in riferimento alla protezione delle acque sotterranee di quelle non ancora adibite ad uso umano”);
- nei terreni situati a distanza inferiore a duecento metri dai centri abitati;
- nei terreni investiti da colture orticole in atto;
- nei terreni in cui siano localizzate falde che possono venire a contatto con le acque di percolazione del suolo e comunque i terreni in cui siano localizzate falde site ad una profondità inferiore a dieci metri;
- nei terreni gelati, innevati, saturi d'acqua e inondati;
- a distanza inferiore a 10 m dai corsi d’acqua misurati a partire dal ciglio di entrambe le sponde o dal piede esterno degli argini dei corsi idrici, ove non diversamente specificato dagli strumenti di pianificazione di bacino o da altre norme o regolamenti specifici dettati da particolari condizioni locali;
- a distanza inferiore a 30 m dagli inghiottitoi e doline, ove non diversamente specificato dagli strumenti di pianificazione di bacino o da altre norme o regolamenti specifici dettati da particolari condizioni locali;
- a distanza inferiore ai dieci metri dall'inizio dell’arenile per le acque marino costiere e lacuali;

- a distanza inferiore a 30 m dall'inizio dell'arenile dei laghi artificiali e naturali, ad esclusione dei laghetti collinari e dei laghetti artificiali aziendali, nonché dai corpi idrici ricadenti nelle zone umide individuate ai sensi della Convenzione di Ramsar del 2 febbraio 1971;
- nei terreni con pendenza superiore al 15 % privi di sistemazione idraulico agraria;
- boschi;
- giardini ed aree di uso pubblico;
- aree di cava; nei terreni adibiti, nella stessa campagna olearia, all'utilizzazione agronomica dei liquami zootecnici, delle acque di vegetazione e delle sanse umide.

L'art. 4 comma 2 del Decreto Legislativo 6 luglio 2005 definisce che le regioni possono stabilire ulteriori divieti in prossimità di strade pubbliche, a meno di immediato interrimento, o in ottemperanza a strumenti di pianificazione di bacino o piani di tutela regionale, nonché per riposo temporaneo di siti ove le acque di vegetazione siano state distribuite per diversi anni consecutivi. In tale ambito nella D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006 la Regione Umbria stabilisce che l'utilizzo delle acque di vegetazione e delle sanse umide non è consentito a distanze inferiori a 10 m da strade vicinali, comunali, provinciali e statali a meno di un loro immediato interrimento.

All'art. 7 del D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006 la Regione Umbria stabilisce che "...le aziende che effettuano l'utilizzazione agronomica ...delle sanse umide dei frantoi oleari nelle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola, sono soggette anche ai seguenti adempimenti, previsti per tali zone dai Programmi di azione approvati dalla Regione":

- compilazione del registro dei fertilizzanti, composto da fogli numerati e vidimati dall'ARUSIA (Agenzia Regione Umbria per lo Sviluppo e l'Innovazione in Agricoltura), redatto conformemente allo schema di cui all'allegato 4 al Programma di azione approvato con D.G.R. n. 2052 del 7 dicembre 2005, ovvero fornito su supporto informatico dall'ARUSIA stessa. I registri devono essere tenuti a disposizione dell'autorità incaricata ai controlli per i tre anni successivi

all'ultima utilizzazione. I dati contenuti nei registri dovranno trovare riscontro nella documentazione fiscale dell'azienda (fatture, contabilità aziendale);

- redazione del PUA (Piano di Utilizzazione Agronomica) conformemente allo schema di cui all'allegato 3 al Programma di azione approvato con D.G.R. n. 2052 del 7 dicembre 2005, qualora iscritte alla CCIAA;
- rispetto delle dosi massime di concimazione azotata previste dall'art. 5 del Programma di azione approvato con D.G.R. n. 2052 del 7 dicembre 2005, fatti salvi i quantitativi massimi di sanse umide riportati nell'art.5 della D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006.

C. Comunicazione

L'utilizzazione agronomica delle sanse umide è subordinata ad una comunicazione annuale da parte dell'interessato (legale rappresentante del frantoio che produce ed intende avviare lo spandimento delle acque di vegetazione sul terreno) al sindaco del comune in cui sono ubicati i terreni, almeno entro trenta giorni prima della distribuzione. La comunicazione preventiva deve comprendere una relazione tecnica redatta da un agronomo, perito agrario o agrotecnico o geologo iscritto nel rispettivo albo professionale, sull'assetto pedogeomorfologico, sulle condizioni idrologiche e sulle caratteristiche in genere dell'ambiente di spandimento, con relativa mappatura, sui tempi di spandimento previsti e sui mezzi meccanici per garantire un'idonea distribuzione come previsto nell'art.3 comma 1 della Legge 574/96.

A livello regionale, la D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006 definisce all'art. 10 comma 1 e 2 che la comunicazione preventiva "...contenente le informazioni di cui all'allegato 1 alla presente direttiva, deve essere presentata in triplice copia dal legale rappresentante del frantoio che produce e intende avviare allo spandimento sul terreno le acque di vegetazione e le sanse umide al sindaco/i del/i Comune/i in cui sono ubicati i terreni su cui si intende effettuare l'utilizzazione agronomica..." e deve essere "...inviata anche al sindaco del Comune in cui sono localizzati il/i contenitore/i di stoccaggio qualora diverso da quello in cui sono ubicati i terreni per lo spandimento..." almeno 30 giorni prima dell'inizio dell'attività di spandimento e deve essere ripetuta ogni anno.

D. Stoccaggio e trasporto

Lo stoccaggio ed il trasporto delle acque di vegetazione e delle sanse umide è regolato in ambito nazionale dall'articolo 6 della Legge 574/96 e dell'articolo 5 del decreto ministeriale del 6 luglio 2005 ed in ambito regionale dall'art. 8 e 9 della Direttiva Tecnica Regionale approvata con D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006.

Così come definito nell'art. 8 della D.G.R. n. 1423 del 2 agosto 2006, nelle fasi di stoccaggio e trasporto delle acque di vegetazione e delle sanse umide è vietata la miscelazione delle stesse con effluenti zootecnici, agroindustriali o con i rifiuti di cui al Decreto Legislativo n. 22 del 1997.

Lo stoccaggio deve essere effettuato in silos, cisterne, o vasche interrate o sopraelevate, contenitori in terra, all'interno del frantoio o in altra località.

Nelle fasi di trasferimento e stoccaggio, vanno adottati tutti gli accorgimenti tecnici e gestionali atti a limitare le emissioni di odori molesti, la produzione di aerosol, nonché perdite accidentali.

E. Controlli

Secondo l'art. 7 del Decreto Legislativo 6 luglio 2005 le regioni stabiliscono un numero minimo di controlli in campo da parte dell'autorità competente. Sono l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente e l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente che procedono ai controlli di verifica periodica delle operazioni di spandimento delle acque di vegetazione.

L'art. 13 del D.G.R. 2 agosto 2006 n. 1423 definisce che in caso di accertamento, da parte dell'autorità di controllo, di violazioni e inosservanze alle indicazioni e norme tecniche contenute nella presente direttiva, il sindaco può procedere nei confronti del soggetto responsabile, fatto salvo quanto previsto al precedente art. 10, comma 7, secondo la gravità dell'infrazione:

- a. alla imposizione di prescrizioni e/o alla diffida, stabilendo un termine entro il quale devono essere eliminate le irregolarità;
- b. alla diffida e contestuale sospensione delle attività di utilizzazione agronomica per un tempo determinato, ove si manifestano situazioni di pericolo per la salute pubblica o situazioni di rischio per le acque, il suolo, il sottosuolo o le altre risorse ambientali;

c. al divieto di esercizio delle attività in caso di mancato adeguamento alle prescrizioni imposte con la diffida ovvero in caso di reiterate violazioni che determinano situazione di pericolo per la salute pubblica e per l'ambiente ovvero in caso di mancata comunicazione.

1.6 Il compostaggio delle sanse

Alla luce dei problemi economico-ambientali causati dalle “sanse umide” prodotte dai sistemi di estrazione a “due fasi”, sono stati proposti ed analizzati differenti metodi volti a valorizzare tale refluo fornendo soluzioni alternative allo spargimento diretto nei terreni agricoli. Non va trascurato che il valore agronomico delle sanse vergini, non sottoposte ad alcun processo di stabilizzazione, risulta limitato e quindi non valorizza appieno le potenzialità fertilizzanti di tale sottoprodotto, risultando così di difficile apprezzamento da parte dell'operatore agricolo.

Sulla base di queste considerazioni, si ritiene che all'interno delle realtà produttive del comparto olivicolo-oleario, sia quanto mai auspicabile una gestione integrata delle biomasse prodotte lungo tutta la filiera (potature, sanse, acque di vegetazione), ricercando soluzioni concrete ed innovative per sottrarre i sottoprodotti del ciclo produttivo alla logica dello smaltimento, inserendoli invece in circuiti virtuosi di recupero che, tra l'altro, permettano di chiudere all'interno dell'azienda il ciclo del carbonio organico, con benefici economici e ambientali.

Il fine ultimo è il recupero della biomassa attraverso l'ottenimento di un prodotto di qualità mediante un processo controllato e sostenibile che, nel caso in esame, possa portare alla produzione di un fertilizzante organico di elevato valore e idoneo anche per l'utilizzo all'interno di coltivazioni condotte secondo i criteri dell'agricoltura biologica e nel vivaismo. L'ottenimento di un prodotto che abbia tali caratteristiche non può prescindere da un trattamento biologico della biomassa che porti alla produzione di un compost di elevata qualità, stabile e maturo.

Il D.Lgs. 217/06 stabilisce quali siano le tipologie di ammendante ammesse alla commercializzazione in Italia e le matrici utilizzabili per la loro produzione.

In particolare, possono essere prodotti i seguenti ammendanti:

- *Ammendante compostato verde*: il prodotto ottenuto mediante un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere

costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale, con esclusione di alghe e di altre piante marine.

- *Ammendante compostato misto*: prodotto ottenuto mediante un processo di trasformazione e stabilizzazione controllato di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde.
- *Ammendante torboso composto*: prodotto ottenuto per miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto.

Si sottolinea che la norma consente l'utilizzo in agricoltura unicamente di un prodotto derivante dalla trasformazione di rifiuti provenienti da raccolta differenziata. La norma indica inoltre le principali caratteristiche, fisiche, chimiche e microbiologiche di un prodotto di qualità (tab. 1.5).

Nel corso degli ultimi venti anni, partendo dal DPR 915/82, che regolamentava per la prima volta in Italia l'impiego di compost, e passando per la legge 748/84 fino ad arrivare all'attuale 217/06, la tipologia e qualità dei fertilizzanti organici da biomasse di scarto ha subito profondi cambiamenti. Si è infatti abbandonata la mentalità dello smaltimento di rifiuti in agricoltura e si è affermato il concetto di utilizzo di materiali che abbiano in primo luogo il fine di migliorare la fertilità del terreno e che non rappresentino alcun pericolo per l'ambiente e la salute. Si è imposto in altre parole il concetto di qualità riferito ai fertilizzanti compostati. Tale concetto va oltre il rispetto dei limiti di legge, basandosi anche su due parametri imprescindibili quali stabilità e maturità.

Quest'ultima esprime la capacità del compost di sostenere la vita delle piante: un substrato è maturo quando non presenta fenomeni di fitotossicità. Il concetto di maturità, dipendendo la fitotossicità dalla presenza di sostanze derivanti dal metabolismo intermedio delle molecole in via di decomposizione, è dipendente dalla stabilità delle matrici, dall'evoluzione della sostanza organica, ma anche da parametri intrinseci delle matrici che non necessariamente subiscono l'effetto dell'evoluzione della sostanza organica nel processo di compostaggio (pH, conducibilità, composti tossici xenobiotici, metalli pesanti ecc.). L'indice di

germinazione è stato utilizzato quale parametro principale di valutazione della maturità. Tale parametro si basa sulla misura della risposta dei semi di *Lepidium Sativum L.* ad un mezzo di crescita ottenuto per diluizione di un estratto acquoso dei campioni (Erriquens et al., 2007).

Tabella 1.5. Caratteristiche degli ammendanti ai sensi del D.lgs. 217/2006

Parametri	Ammendante compostato verde	Ammendante compostato misto	Ammendante compostato torboso
Umidità	Max 50%	Max 50%	
PH	Compreso tra 6 e 8,5	Compreso tra 6 e 8,5	
C/N	Max 50	Max 25	Max 50
C Umico e Fulvico sul secco	Min 2,5%	Min 7%	Min 7%
C Organico sul secco	Min 30%	Min 25%	Min 30%
N Organico sul secco	Almeno 80% dell'azoto totale	Almeno 80% dell'azoto totale	Almeno 80% dell'azoto totale
Cu Totale sul secco*	Max 150mg/Kg	Max 150mg/Kg	Max 150mg/Kg
Zn Totale sul secco	Max 500mg/Kg	Max 500mg/Kg	Max 500mg/Kg
Torba			Min 50%
Pb Totale	≤ 140 mg/Kg	≤ 140 mg/Kg	≤ 140 mg/Kg
Cd Totale	≤ 1,5 mg/Kg	≤ 1,5 mg/Kg	≤ 1,5 mg/Kg
Ni Totale	≤ 100 mg/Kg	≤ 100 mg/Kg	≤ 100 mg/Kg
Hg Totale	≤ 1,5 p.p.m.	≤ 1,5 p.p.m.	≤ 1,5 p.p.m.
Cr VI	≤ 0,5 mg/Kg	≤ 0,5 mg/Kg	≤ 0,5 mg/Kg
Plastica Diametro < 3,33 mm	≤ 0,45% sulla s.s.	≤ 0,45% sulla s.s.	≤ 0,45% sulla s.s.
Plastica Diametro tra 3,33 e 10 mm	≤ 0,05% sulla s.s.	≤ 0,05% sulla s.s.	≤ 0,05% sulla s.s.
Inerti Diametro < 3,3 mm	≤ 0,9% sulla s.s.	≤ 0,9% sulla s.s.	≤ 0,9% sulla s.s.
Inerti Diametro tra 3,33 e 10 mm	≤ 0,1% sulla s.s.	≤ 0,1% sulla s.s.	≤ 0,1% sulla s.s.
Plastica e inerti diametro > 10 mm	Assenti	Assenti	Assenti
Salmonella	Assenti in 25 g di campione t.q., dopo rivivificazione	Assenti in 25 g di campione t.q., dopo rivivificazione	Assenti in 25 g di campione t.q., dopo rivivificazione
Enterobacteriacee Totale	Max 10 ² Unità formanti colonie per g	Max 10 ² Unità formanti colonie per g	Max 10 ² Unità formanti colonie per g
Streptococchi fecali	Max 10 ³ (MPN×g)	Max 10 ³ (MPN×g)	Max 10 ³ (MPN×g)
Nematodi	Assenti in 50 g sul t.q.	Assenti in 50 g sul t.q.	Assenti in 50 g sul t.q.
Trematodi	Assenti in 50 g sul t.q.	Assenti in 50 g sul t.q.	Assenti in 50 g sul t.q.
Cestodi	Assenti in 50 g sul t.q.	Assenti in 50 g sul t.q.	Assenti in 50 g sul t.q.
Fanghi da attività non agroindustriali		≤35% della miscela iniziale	

* in riferimento al valore limite del Cu si sottolinea che nell'attuale norma è stato diminuito il limite di 230 mg/kg di s.s., ripristinando un valore limite di 150 mg/kg s.s. che era già stato oggetto di modifica della L.748/84 con D.M 3 novembre 2004.

La stabilità di un compost viene definita come il grado di disponibilità della sostanza organica all'ossidazione microbica. Poiché i microrganismi consumano ossigeno in quantità proporzionale al contenuto di composti organici facilmente degradabili, la presenza di un elevato contenuto di tali composti genera un'intensa attività microbica, con conseguente elevato consumo di ossigeno.

In queste condizioni un compost si definisce instabile (Cooperband et al., 2003). La stabilità è un parametro di fondamentale importanza nel definire la qualità di un compost, poiché è uno dei fattori responsabili della sua compatibilità con la vita delle piante ma è anche responsabile dell'impatto ambientale dell'applicazione di compost al terreno. La stabilità è valutata utilizzando metodi respirometrici ed è espressa attraverso indici quali l'Indice Respirometrico Dinamico ed il SOUR (Specific Oxygen Uptake Rate) (Said-Pullicino et al., 2006).

CAP. 2 – IL COMPOSTAGGIO

Il processo di compostaggio è caratterizzato essenzialmente da due fasi :

- 1 **bio-ossidazione**, nella quale si ha l'igienizzazione della massa. Si tratta della fase attiva (*high rate, active composting time*), caratterizzata da intensi processi di degradazione delle componenti organiche più facilmente degradabili. Nella prima fase (bio-ossidazione termofila) i microrganismi, in presenza di ossigeno, ossidano la sostanza organica attraverso la mineralizzazione della frazione più facilmente fermentescibile. La decomposizione aerobica libera una notevole quantità di energia sotto forma di calore. Nella massa di materiale, in fermentazione controllata, le temperature (45-65 °C) distruggono gli agenti patogeni, stabilizzando il prodotto dal punto di vista biologico;
- 2 **maturazione**, durante la quale il prodotto si stabilizza arricchendosi di molecole umiche; si tratta della fase di cura (*curing phase*), caratterizzata da ulteriori processi di trasformazione della sostanza organica, in cui si completano i fenomeni degradativi a carico delle molecole meno reattive ed in cui intervengono reazioni di trasformazione e polimerizzazione a carico delle stesse (con particolare riferimento alla lignina) che portano alla “sintesi” delle sostanze umiche (grafico 2.1).

I fattori principali di controllo del processo, che garantiscono le ottimali condizioni di sviluppo della microflora e che consentono di accelerare le reazioni di decomposizione-trasformazione, sono rappresentati, da:

- a) Concentrazione di ossigeno;
- b) Temperatura;
- c) Umidità;
- d) Nutrienti.

a) Concentrazione di ossigeno

Concentrazioni di ossigeno superiori al 10% garantiscono il perdurare delle condizioni di perfetta aerobiosi indispensabili per l'accelerazione del metabolismo batterico aerobio. Ciò a sua volta permette di ridurre o annullare i fenomeni

putrefattivi (causa principale della produzione di cattivo odore). Il flusso di aria deputato all'adduzione di ossigeno all'interno della massa di rifiuti in compostaggio, garantisce contestualmente l'asportazione del calore in eccesso e (qualora necessario) l'allontanamento dell'eccesso di umidità sotto forma di vapore acqueo.

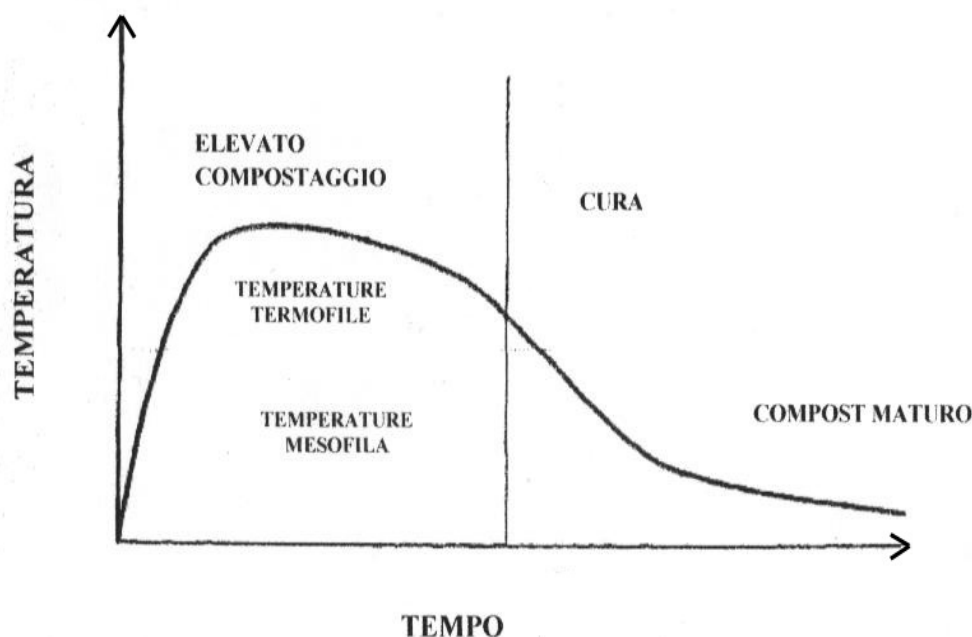


Grafico 2.1 – Fasi ed evoluzione della temperatura nel tempo del processo di compostaggio.

b) Temperatura

La temperatura si innalza come conseguenza del calore sviluppato dai processi degradativi; il suo accumulo nella massa dipende dall'equilibrio tra sviluppo di calore (correlato alla fermentescibilità della miscela immessa) e dispersione di calore (legato alla dimensione della massa ed alla sua umidità, dal momento che l'evaporazione d'acqua assorbe calore, sia per l'innalzamento della temperatura dell'acqua stessa, che per il suo passaggio allo stato di vapore).

Nella fase attiva, con biomasse non eccessivamente umide e cumuli di dimensioni adeguate, la temperatura può anche superare i 70 °C, garantendo in tal modo le condizioni di igienizzazione del materiale (3 giorni a 55 °C per la legislazione italiana), ma ciò potrebbe causare un'alta mortalità dei microrganismi e compromettere l'efficienza del processo. Per tale motivo è opportuno adottare sistemi di rimozione del calore in eccesso, utilizzando efficacemente i flussi d'aria

naturali (per diffusione e convezione) o indotti (sistemi di aerazione forzata della biomassa). Le condizioni termometriche ottimali per i processi di stabilizzazione sono invece quelle tendenzialmente mesofile (circa 40-45 °C).

La temperatura rappresenta pertanto non solo il miglior indicatore del corretto avanzamento del processo di compostaggio, ma anche quello più facilmente monitorabile.

c) Umidità

La valutazione dell'umidità è indispensabile per lo sviluppo microbico, che risente fortemente sia di eccessi dell'umidità stessa (con rischio di occupazione totale della porosità della biomassa da parte dell'acqua e pertanto di anaerobiosi del sistema), che di mancanza (che comporta la stasi dei processi degradativi). I valori ottimali dell'umidità della massa tendono a decrescere con il procedere dei processi di stabilizzazione e conseguentemente con il decremento delle attività biologiche a carico della massa in trasformazione. Il materiale iniziale deve invece avere un'umidità relativamente elevata per esaltare le funzioni di termoregolazione collegate all'evaporazione della stessa ed evitare al contempo disseccamenti precoci (tab. 2.1).

Tabella 2.1 – Range ottimali di umidità nelle diverse fasi del compostaggio, per un processo mediamente veloce.

Settimana	Range ottimale di umidità`
1	55-65
2	53-60
3	50-57
4	46-51
5	42-47
6	38-43
7	35-40
successive	35-40

e) Nutrienti

È estremamente importante in tal senso il ruolo svolto dal rapporto C/N, che esprime il rapporto tra le sostanze che forniscono ai microrganismi energia, per le loro reazioni metaboliche (composti carboniosi) e materiali plastici per la loro

moltiplicazione (composti azotati). Il rapporto C/N ideale è compreso tra 25 e 30. Ogni scostamento medio da questi valori porta a carenze o eccessi che condizionano fortemente le attività biologiche, provocando una forte perdita di azoto (nel caso di valori bassi di C/N) o un rallentamento delle reazioni metaboliche, nel caso di valori alti di C/N.

CAP. 3 – I BIOCOMPOSTATORI

I sistemi per il processo di compostaggio possono essere classificati in sistemi chiusi ed aperti, a seconda del confinamento o meno degli stessi rispetto all'intorno ambientale.

Nei sistemi chiusi il processo è condotto in spazi confinati (biocontainer, bioreattori) o in aree coperte tamponate (capannoni), con il duplice vantaggio di un migliore controllo delle condizioni di processo (relativa indipendenza dalle condizioni meteoriche), ma soprattutto di una maggiore efficienza nel controllo, nella gestione e possibilità di monitoraggio dei fattori che regolano il processo di compostaggio, nonché migliore abbattimento degli effluenti odorigeni.

Nei sistemi aperti il processo è condotto invece in cumuli, andane e trincee. L'affidabilità e l'efficacia del sistema aperto per la conduzione del processo ed il contenimento degli impatti dipende dalla sussistenza di alcune condizioni basilari quali, la bassa fermentescibilità della miscela da compostare, l'inserimento di tale pratica in contesti "rurali", tali cioè da rispettare le opportune distanze dagli insediamenti abitativi, le dimensioni operative limitate. Il principale svantaggio dei cumuli consiste nella dipendenza dalle condizioni atmosferiche.

In realtà l'adozione dei sistemi aperti è preferibile nelle fasi successive a quella attiva del processo, in cui alla diminuzione della putrescibilità ed alla dinamica metabolica tipica dei processi di umificazione, conseguono una diminuzione del potenziale odorigeno ed un minore consumo di ossigeno.

3.1 I sistemi chiusi

I Biocontainer (Bioreattori) e Biocelle sono reattori chiusi a sviluppo tipicamente orizzontale, generalmente statici (ma alcuni tipi prevedono sistemi di movimentazione interna) e con aerazione forzata.

La biomassa è disposta in letti dell'altezza massima di circa 3 metri, altezza che tende a prevenire il compattamento e favorisce la diffusione dell'aria all'interno.

A livello terminologico si distingue generalmente tra biocontainer (nel caso di strutture in metallo) e biocelle (nel caso di strutture in calcestruzzo).

I tratti comuni dei due sistemi sono l'adozione dell'aerazione forzata e la canalizzazione delle arie esauste verso sistemi di trattamento, che nel caso dei biocontainer sono detti biofiltri, predisposti su container dedicati.

I caratteri distintivi dal punto di vista del processo sono:

- biocontainer (bioreattore): amovibili, non coibentati; volumi unitari dell'ordine dei 20-30 mc (la tipologia più diffusa prevede volumi utili di 25 mc/container); arie esauste non riciclate;
- biocelle: non amovibili, coibentate; volumi unitari dell'ordine di diverse decine di mc; generalmente prevedono la possibilità del ricircolo dell'aria, ed a volte sono dotate di scambiatore di calore; spesso sono dotate di sistemi di rilevazione dei principali parametri di stato (umidità, percentuale di ossigeno nell'atmosfera interna, temperatura) e regolazione in *feed-back* dei flussi d'aria e delle percentuali di ricircolo.

La disponibilità di un sistema di ricircolo dell'aria dotato di scambiatore di calore consente di disaccoppiare le necessità di drenaggio del calore in eccesso dal sistema, da quelle di ossigenazione della massa. Dal momento che le esigenze specifiche di aerazione sono sensibilmente maggiori per la gestione termometrica del sistema che per l'apporto dell'ossigeno stechiometricamente necessario, le arie "esauste", dopo un passaggio singolo attraverso la biomassa, sono ancora relativamente ricche di ossigeno, mentre devono rilasciare calore all'esterno. Il ricircolo delle arie passate dallo scambiatore di calore consente tale operazione evitando al contempo di aumentare il flusso di arie da inviare al trattamento finale di abbattimento odori e di asportare in misura eccessiva l'umidità drenata dalla biomassa, riciclandola invece (almeno parzialmente) con le arie riutilizzate e mantenendo il sistema nello stato termoigrometrico ottimale per la prosecuzione del processo.

Tutto ciò consente un ottimo controllo integrato delle condizioni di processo, utilizzando di volta in volta l'aria insufflata come sistema di drenaggio del calore e/o vettore di ossigeno. La quota di aria esausta progressivamente sostituita da aria nuova prelevata all'esterno può venire determinata in continuo dai *feed-back* del sistema di controllo.

Le biocelle ed i biocontainer sono efficacemente usati come tecnologia per la gestione della fase attiva del compostaggio della frazione organica da raccolta

differenziata ed altre matrici fermentescibili; il fattore condizionante, come generalmente avviene nei sistemi statici, può essere rappresentato dal grado richiesto di strutturazione della biomassa, che prevede buone percentuali di supporto lignocellulosico.

Rispetto alle biocelle, i bioreattori possiedono una maggiore flessibilità operativa per le capacità inferiori di un singolo container rispetto a quelle di una biocella e per le condizioni di facile amovibilità (potenzialmente importanti in uno scenario impiantistico in evoluzione).

3.1.1 I biotamburi

Sono reattori a sviluppo orizzontale, generalmente dotati di adduzione forzata di aria e canalizzazione e raccolta delle arie esauste (sistemi chiusi, a loro volta confinabili in capannoni). Il sistema è dinamico e la movimentazione della biomassa è qui garantita dalla rotazione delle stesse strutture di contenimento; il carico e lo scarico possono essere in continuo o in *batch*.

I biotamburi sono utilizzati per la fase attiva in sistemi intensivi di compostaggio, ma più spesso con bassi tempi di ritenzione (48-72 h) e come pretrattamento dinamico di omogeneizzazione e pre-fermentazione accelerata, prima del passaggio ad altre tecnologie di stabilizzazione in fase attiva.

3.1.2 I sili

Si tratta di reattori chiusi a sviluppo verticale con carico (e scarico) continuo o discontinuo della biomassa e adozione della aerazione forzata. La tecnologia appartiene al gruppo dei sistemi chiusi, e prevede grossi contenitori a torre, mono o pluristadio (con setti divisori orizzontali), con carico dall'alto e insufflazione generalmente dal basso. Il sistema è generalmente statico (tecnologie in *batch*) o semi-dinamico (es. sili a scarico progressivo da settori superiori a quelli inferiori).

La tecnologia a silo è relativamente poco diffusa in Italia. Questi sistemi tendono a presentare un limite operativo nei frequenti ed attendibili compattamenti della massa e nelle difficoltà di diffusione dell'ossigeno all'interno dell'intera massa contenuta, laddove le altezze della biomassa ammassata nel singolo stadio tendono a superare i 4 m.

3.1.3 Le trincee dinamiche

Si tratta di reattori dinamici a sviluppo orizzontale, a capacità modulare suddivisa in più trincee servite da una o più linee di aerazione forzata; sui montanti delle trincee corrono binari per la traslazione di movimentatrici della biomassa.

Le movimentatrici generalmente comportano anche il trasferimento progressivo della biomassa dalla testa alla coda della singola trincea o da una trincea a quella adiacente (nel caso di traslazione laterale). Il sistema è dunque tipicamente continuo.

Le trincee sono impiegate per la gestione delle fasi attive di biomasse ad elevata fermentescibilità (fanghi, agroalimentari, “umido domestico”) in ambienti chiusi. Come sistema dinamico, hanno il vantaggio di poter controllare attivamente, garantendo un buono svolgimento del processo, qualunque scenario di composizione delle matrici, anche nelle condizioni più sfavorevoli di umidità di partenza, grazie alla ricostituzione periodica dello stato strutturale e poroso della biomassa ed alla prevenzione della formazione di strati saturi e compattati per il rimescolamento periodico. Si tratta di tecnologie notevolmente diffuse in impianti di dimensioni medie e grandi, basate generalmente su abbinamenti di movimentatrice e trincea.

Le trincee grazie alle capacità operative unitarie generalmente basse (qualche tonnellata/giorno per unità di processo), sono facilmente adattabili ad eventuali iniziative modulari di trattamento biologico con linee differenziate per compostaggio di qualità e trattamento biologico di frazioni organiche da selezione post-raccolta.

3.1.4 I bacini dinamici

Con questa tipologia impiantistica, tipicamente dinamica ed aerata il materiale è disposto in un tappeto di biomassa, rivoltato con rivoltatrici apposite ed aerato.

È generalmente gestito al chiuso ed impiegato per la fase attiva di biomasse ad elevata fermentescibilità o in alternativa per entrambe le fasi (fase attiva e di maturazione nello stesso edificio senza discontinuità; a volte in tale caso, la parte finale del processo non è aerata).

3.2 I sistemi aperti

Il cumulo statico aerato è un sistema di relativa semplicità tecnologica. È stato sviluppato in America con il nome di “*sistema Beltsville*”, allo scopo di fornire agli

agricoltori un sistema semplice di bioconversione, stabilizzazione ed umificazione delle biomasse di scarto a scopo agronomico. Nelle diverse varianti si configura come un sistema statico ed aerato, tipicamente aperto: prevede la disposizione della biomassa in cumulo, con aerazione forzata in aspirazione al di sotto dei cumuli stessi ed invio delle arie esauste ad un biofiltro a compost. Sulla superficie del cumulo è disposto uno strato di compost maturo, inteso a fornire un leggero effetto di coibentazione ed a garantire la biofiltrazione degli effluenti gassosi sfuggiti dalla superficie del cumulo. Il vantaggio di questo metodo, come in tutti i sistemi statici, è la semplificazione operativa, e la mancanza di rivoltamenti del cumulo, consente di non disturbare la biomassa microbica, oltre ad impedire la diffusione massiva dei cattivi odori.

Necessita, come sistema tipicamente statico, di un'alta percentuale di materiale strutturale di natura lignocellulosica. Il sistema si avvale efficacemente di pre-trattamenti di omogeneizzazione spinta.

In alcune varianti innovative, che si stanno notevolmente diffondendo in Italia e all'estero, l'aerazione avviene per insufflazione e per la copertura dei cumuli sono adottati appositi teli o membrane semi-permeabili, con adeguate caratteristiche di traspirabilità per la perdita controllata di umidità dal sistema.

La creazione di un velo liquido nella faccia inferiore dei teli aumenta la ritenzione complessiva delle molecole odorigene all'interno del sistema, determinandone le condizioni di metabolizzazione per ossidazione fino a molecole non odorigene. La CO₂ prodotta è invece rilasciata verso l'esterno, così come il vapore d'acqua, con cinetiche di traspirazione determinate appunto dalla traspirabilità dei teli.

3.2.1 Il cumulo rivoltato

Prevedono la disposizione della biomassa in cumuli di grandi dimensioni (3-4 m di altezza; larghezza da 3 ad oltre 20 m), tipicamente senza aerazione; adottano frequenze di rivoltamento generalmente rade (intervalli di settimane o mesi), con pala meccanica; altre volte semi-intensivizzato con rivoltatrici apposite (nel caso di sistemi in continuo).

Questo sistema è adottato generalmente per matrici ad alta prevalenza di materiale lignocellulosico (residui verdi) o per biomasse già in stato avanzato di biostabilizzazione (maturazione di biomasse già ben stabilizzate dopo fase attiva).

I cumuli possono essere gestiti in *batch*, su postazioni per partite coetanee di biomassa, o *in continuo*, con formazione del cumulo su una sezione di carico e traslazione laterale, verso la sezione di scarico.

Questa seconda soluzione elimina gli spazi inutilizzati fra cumulo e cumulo, mentre costringe ad adottare rivoltamenti a periodicità fissa e scollegata dalle effettive esigenze di processo per le esigenze geometriche di predisposizione di nuovo spazio nella sezione di carico. Ovviamente la disponibilità di spazio diviene un fattore preponderante nella scelta di questo sistema.

3.2.2 Le andane

Le andane hanno generalmente dimensioni inferiori ai cumuli (altezza massima pari a circa 2,5 m) e possono usufruire o meno dell'aerazione forzata; il rivoltamento è generalmente frequente (di solito ad intervalli di qualche giorno o quotidiani) ed avviene con movimentazioni apposite. Vi è una grande varietà di rivoltatrici disponibili sul mercato, differenziabili essenzialmente in base al sistema di movimentazione (per agitazione, nel caso delle scavallatrici; per traslazione, nel caso di macchine tipo desilatrici modificate o di rulli a fresa laterale con scarico laterale o sul retro) oltre che in base alle capacità operative (di poche decine a migliaia di mc/h).

Sono utilizzate generalmente per la fase attiva di matrici a fermentescibilità elevata, preferibilmente al chiuso, o all'aperto in situazioni ove (per capacità operative limitate o per localizzazioni distanti da insediamenti abitativi) gli impatti olfattivi non costituiscono oggetto di preoccupazione e per fasi di maturazione all'aperto (più raramente al chiuso) di materiale con fermentescibilità solo residua (dopo fase attiva in sistema controllato e presidiato).

CAP. 4 – SPERIMENTAZIONE ESEGUITA

Obiettivo della sperimentazione eseguita è stato quello di valutare la possibilità di produrre compost a partire dai sottoprodotti del comparto olivicolo-oleario.

Lo studio del processo di compostaggio richiede la conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche dei componenti della miscela di partenza, nonché l'evoluzione delle grandezze implicate nel processo. Per poter monitorare le diverse fasi che conducono alla produzione del compost e velocizzare le stesse nel tempo, forzando opportunamente determinati parametri è stato ideato, progettato, realizzato e messo in funzione un bioreattore o biocomposter da laboratorio.

Successivamente alla realizzazione del bioreattore sono state effettuate alcune prove con quantitativi e caratteristiche diverse dei componenti di partenza, al fine d'individuare la miscela ottimale per produrre compost.

Per le miscele che hanno fatto registrare un andamento ottimale del processo è stato effettuato un campionamento raccogliendo lo stesso quantitativo di materiale da tre posizioni diverse a profondità prestabilite, in maniera da ottenere altrettanti sottocampioni che, dopo miscelazione, hanno costituito il campione di riferimento. Una volta in laboratorio i campioni sono stati divisi in due parti; una porzione è stata congelata, mentre l'altra è stata seccata all'aria, macinata, setacciata a 2 mm e quindi conservata in contenitori a tenuta ermetica ed a temperatura ambiente. I campioni sono stati sottoposti ad una serie di analisi chimiche (effettuate in base ai Metodi Ufficiali di Analisi per gli Ammendanti – ANPA 2004) per verificare la rispondenza del relativo compost ottenuto ai requisiti di Legge (D. Lgs. 217/96). Le determinazioni sono state effettuate in parte sul materiale surgelato, in parte su materiale essiccato e macinato.

Successivamente si è effettuata la produzione di compost, non più con il bioreattore in laboratorio, ma con un cumulo statico in azienda, anche al fine di simulare una situazione reale.

Anche per il compost così ottenuto si sono ripetute le analisi chimiche per valutarne la rispondenza ai requisiti di Legge.

Infine per verificare in modo diretto la fitotossicità del compost prodotto è stato effettuato il test di germinabilità, utilizzando semi di *Lepidium Sativum* L. e, come mezzo di crescita acqua distillata ed estratti acquosi del compost, ottenuti portando l'umidità del campione all'85% e quindi filtrando su membrane da 0,45 µm. Oltre a questa soluzione madre, per il biosaggio sono state utilizzate altre 3 soluzioni ottenute diluendo la prima fino ad una concentrazione del 25, 50 e 75%. Ogni test effettuato presentava 5 ripetizioni di 10 semi ciascuna. I semi sono stati posti su carta da filtro bagnata in capsule Petri. Le prove sono state condotte con la miscela all'inizio della fase di compostaggio, alla fine della fase attiva ed alla fine della fase di maturazione. Il risultato del test fornisce l'Indice di Germinazione percentuale, in base al quale un compost si definisce maturo quando tale indice è maggiore del 60%.

4.1 Il progetto del bioreattore

Per la produzione di compost è necessario conoscere il corretto quantitativo e le caratteristiche dei diversi componenti della miscela di partenza, nonché l'andamento dei parametri generali che intervengono nel processo. Per fare questo è stato effettuato il progetto e la successiva realizzazione di un bioreattore da laboratorio, supportato da un software specifico in grado di registrare i dati del processo e di effettuare opportuni interventi in automatico.

Il bioreattore, denominato "Aerobin" è costituito da un cilindro in acciaio inox, all'interno del quale è realizzata la fase di bio-ossidazione spinta, condotta cioè in modo forzato ed accelerato rispetto al naturale processo di compostaggio effettuato mediante cumulo statico. Si tratta di uno strumento da laboratorio piuttosto sofisticato, dotato di completa automazione, a metà strada tra un biocontainer (tipicamente orizzontale) ed un silo (verticale) (fig. 4.1).

Il cilindro ha un diametro interno di 0.60 m ed altezza di 0.85 m. Alla base è presente un coperchio circolare per il carico e lo scarico del materiale. Tra il coperchio ed il cilindro è stata interposta una guarnizione in gomma, opportunamente sagomata, al fine di garantire la corretta tenuta all'aria ed all'acqua di percolazione; il coperchio è collegato al cilindro tramite 20 bulloni e dadi (foto 4.1).

Al centro del cilindro ed ortogonalmente al suo asse principale è stato saldato un albero (profilato di sezione quadrata di 0.03 m di lato), che ha la duplice finalità di sostenere il cilindro e di farlo ruotare.

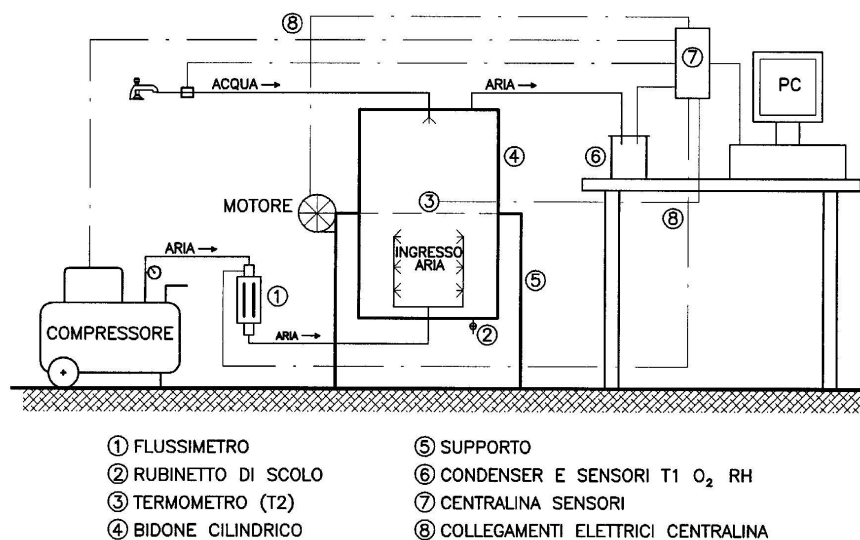


Figura 4.1 – Schema di funzionamento del bioreattore.



Foto 4.1 – Vista d'insieme del bioreattore aperto.

Il sostegno in particolare è garantito da una struttura in ferro, che poggia su quattro punti, costituita da profilati metallici tubolari con sezione quadrata.

La possibilità di rotazione del cilindro garantisce il rivoltamento della massa contenuta all'interno con conseguente omogenea distribuzione dell'ossigeno e della temperatura. Detta rotazione è garantita dal collegamento dell'albero suddetto con un motore elettrico trifase, che utilizza lo stesso sistema di sostegno del cilindro (foto 4.2). In particolare la rotazione è di 250° in un senso e, dopo il ritorno nella posizione di partenza, di ulteriori 250° nell'altro senso. Per poter realizzare tale movimentazione si è intervenuti sulle fasi del motore, tramite un meccanismo basato su una levetta metallica che aziona dei contatti elettrici (foto 4.3).



Foto 4.2 – Particolare del motore elettrico che garantisce la rotazione del cilindro.

Il bioreattore è dotato di 4 sonde che rilevano i principali parametri che influenzano le condizioni di vita dei microrganismi responsabili del processo di compostaggio. In particolare all'interno del bioreattore ed al centro di questo è stata posizionata la sonda per la misura della temperatura (T2), posta in modo da risultare all'interno della massa presente.

Per consentire l'ossigenazione della massa stessa si è utilizzato un compressore d'aria con un volume della bombola di 50 litri. L'aria esce dal compressore tramite un tubo a cui segue un raccordo a T che sdoppia il flusso d'aria. Vi sono di seguito

due rubinetti per la regolazione della portata e due flussimetri per la misurazione della stessa (foto 4.4). Subito dopo questi ultimi, vi è un ulteriore raccordo a T che ricongiunge i due tubi dell'aria in un unico tubo, che entra nella parte bassa del cilindro. L'aria in ingresso nel cilindro è distribuita direttamente all'interno della massa, grazie a tubi verticali, su cui sono stati praticati dei fori a diverse altezze.

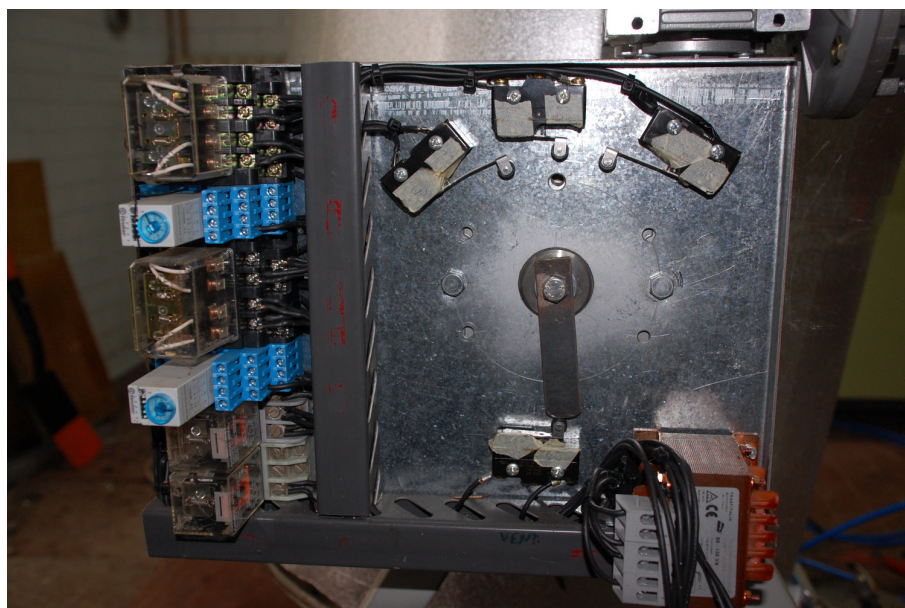


Foto 4.3 – Particolare della levetta che interviene sui contatti elettrici del motore.

I due flussi d'aria, che non agiscono mai contemporaneamente, sono divisi in flusso alto e flusso basso. Il primo apporta alla massa il quantitativo di ossigeno necessario per il processo di compostaggio, mentre il secondo serve come flusso d'aria continuo, necessario per la misurazione del quantitativo di ossigeno presente nella massa. Per fare ciò nella parte alta del cilindro, vi è un tubo che preleva l'aria, dopo che questa ha attraversato la miscela e la conduce all'interno di una campana di vetro (condenser), dove è presente la sonda per la misura dell'ossigeno. Nella stessa campana è anche presente la sonda per la misurazione dell'umidità dell'aria in uscita dal cilindro e un'ulteriore sonda di temperatura (T1) (foto 4.5). Inoltre il cilindro è dotato superiormente di un ingresso per l'acqua, qualora l'umidità interna dovesse essere particolarmente bassa. Infine un rubinetto di scolo, posto alla base del cilindro, consente l'allontanamento dell'eventuale acqua di percolazione, nonché la raccolta della stessa ponendo al di sotto un contenitore.



Foto 4.4 – I due flussimetri per la misura della portata dell'aria in ingresso nel cilindro.



Foto 4.5 – Condenser sul cui coperchio sono posizionate le sonde. La sonda centrale misura la percentuale di ossigeno, la sonda bianca periferica misura l'umidità relativa (RH) e la temperatura esterna rilevata nel condenser (T1), che è la temperatura dell'ambiente esterno.

Alfine di evitare dispersioni di calore dal cilindro all'esterno, peraltro difficilmente quantificabili, l'intera struttura è stata avvolta con un materassino di lana di vetro dello spessore di 0.05 m.

Tutte le funzioni del bioreattore sono gestite da un software dedicato sviluppato su piattaforma LabVIEW National Instruments. In tal modo è possibile rilevare in tempo reale i dati letti dalle sonde ed immagazzinarli in fogli elettronici appositamente predisposti, grazie ai quali è possibile studiare la storia del processo, realizzando statistiche e grafici. Il software gestisce anche la rotazione del cilindro e l'ingresso dell'acqua. Più in particolare i parametri rilevati dalle sonde collegate al software sono: la temperatura interna della miscela (T2), l'umidità relativa (RH), l'ossigeno (O₂) e la temperatura dell'aria in uscita rilevata all'interno del condenser (T1), su cui sono collocate le sonde in oggetto.

Le sonde utilizzate per le misurazioni sono state opportunamente calibrate in modo tale che il sistema misuri il voltaggio proveniente dalla singola sonda, al quale voltaggio corrisponde un determinato valore noto del parametro misurato (grafici 4.1, 4.2, 4.3).

La schermata principale del software evidenzia i valori dei diversi parametri rilevati, che compaiono in apposite celle (foto 4.6). Una serie di indicatori luminosi si accendono o spengono per indicare l'operatività di determinate funzioni (ingresso dell'acqua nella massa, rotazione del cilindro, ingresso di ossigeno). Sulla destra della schermata vi è un apposito riquadro in cui è possibile fissare i valori rispettivamente (dall'alto verso il basso) di ossigeno, di umidificazione e di miscelazione, che devono essere raggiunti all'interno del bioreattore, nonché i tempi di azionamento delle diverse funzioni del cilindro, per raggiungere tali valori. Ad esempio è possibile impostare il valore di ossigeno al 10% ed un tempo di 4 ore: in tal modo il sistema insufflerà aria nella massa fino a raggiungere il 10% di ossigeno e comunque per un tempo non maggiore di 4 ore. La seconda schermata del software consente di rappresentare graficamente i dati immagazzinati nei fogli elettronici e d'individuare in tempo reale l'andamento dei valori rilevati, nonché la loro media (foto 4.7).

T1		T2	
Temp	Volt	Temp	Volt
34,0	2,9670	34,0	2,7553
44,5	3,6601	44,5	3,5307
55,5	4,3022	55,0	4,2245
65,0	4,7914	65,0	4,7550

Gradient	16,9404	Gradient	15,3735
Intercept	-16,8286	Intercept	-9,0461
R^2	0,9972	R^2	0,9949

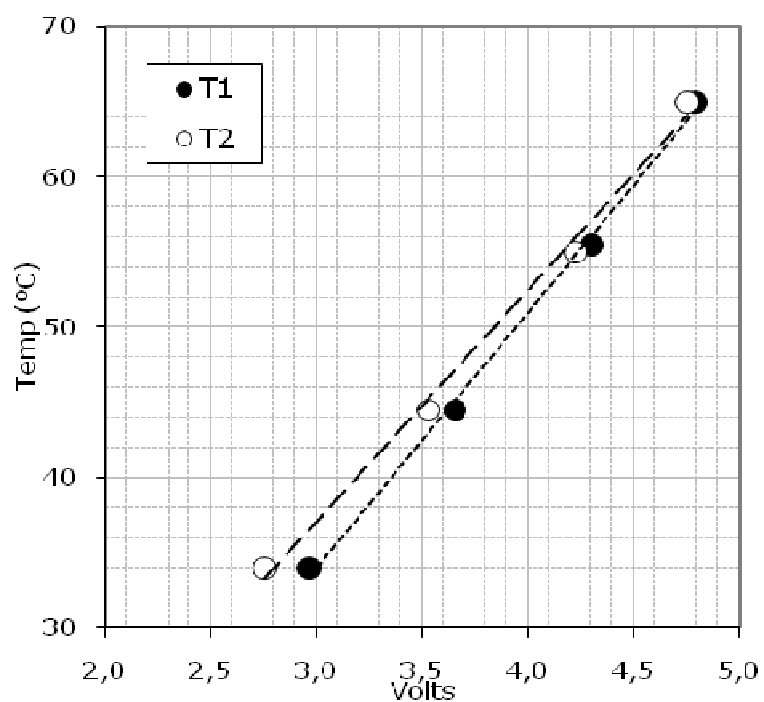


Grafico 4.1 – Tabella e grafico di calibrazione delle sonde di temperatura T1 e T2.

O2	
O2	Volt
25	10,00
21	8,28
5	2,00

Gradient	2,5000
Intercept	0,0000
R^2	1,0000

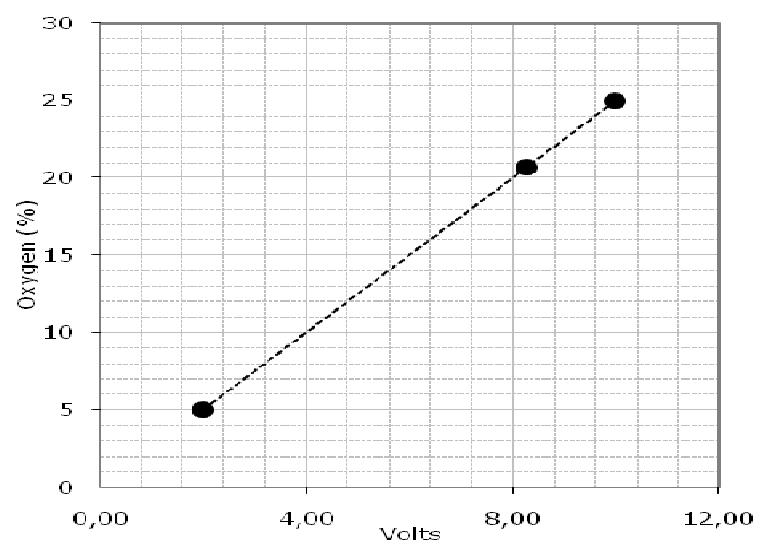


Grafico 4.2 – Tabella e grafico di calibrazione della sonda dell'ossigeno O₂.

<i>Sat. salt sol.</i>	RH	
	<i>Theoretical</i>	<i>Volts</i>
Silica gel	0,0	1,0
CaCl ₂	31,0	1,5
NH ₄ Cl	78,0	2,8
Na ₂ HPO ₄ .12H ₂ O	95,0	3,2

<i>Gradient</i>	36,8773
<i>Intercept</i>	-23,8577
<i>R²</i>	1,0000

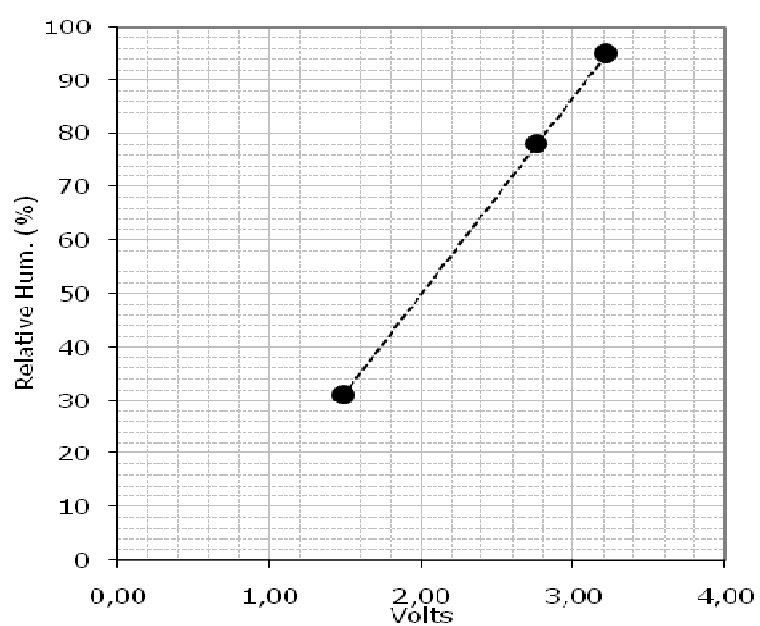


Grafico 4.3 – Tabella e grafico di calibrazione della sonda dell'umidità relativa RH.

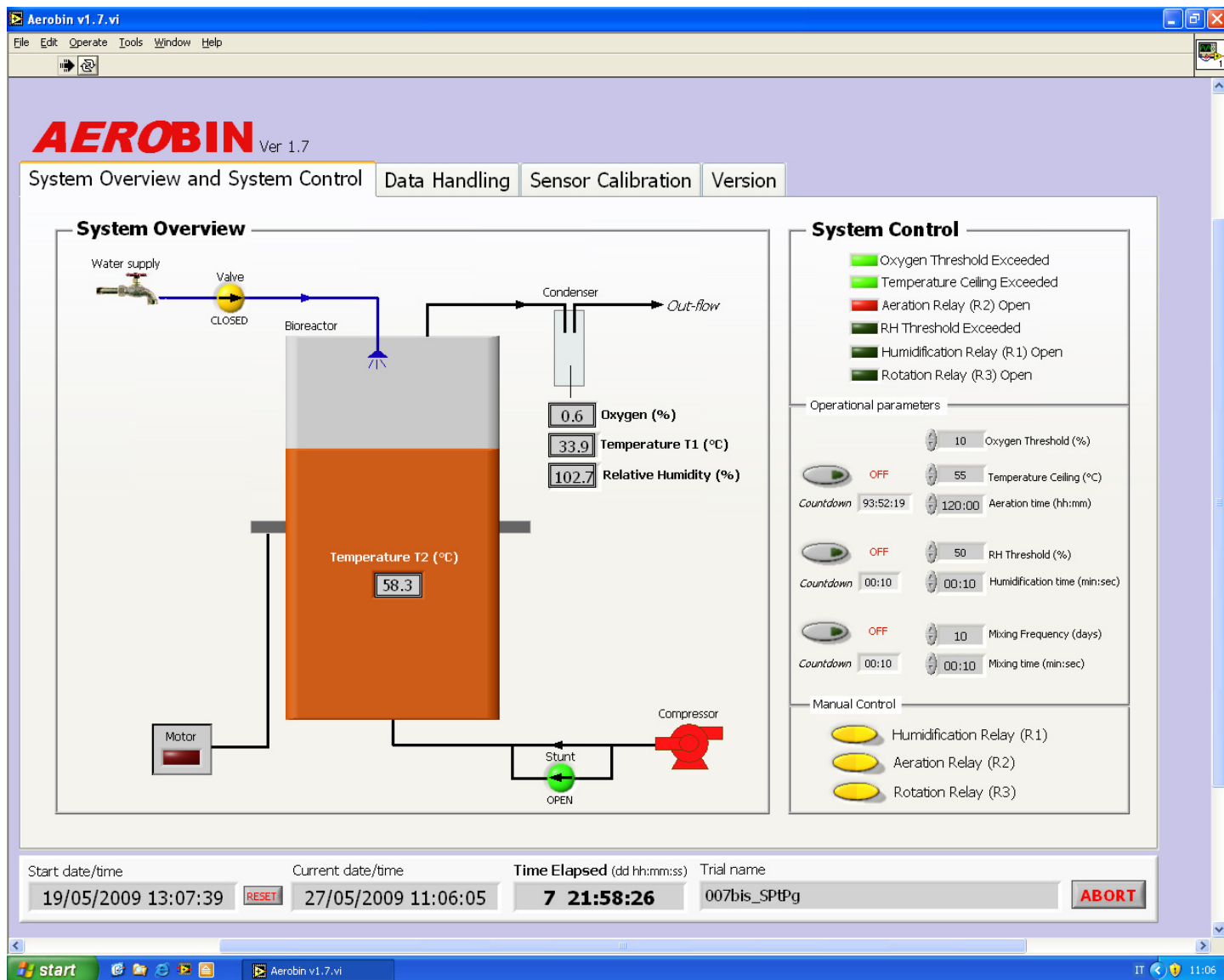


Foto 4.6 – Schermata principale del software sviluppato.

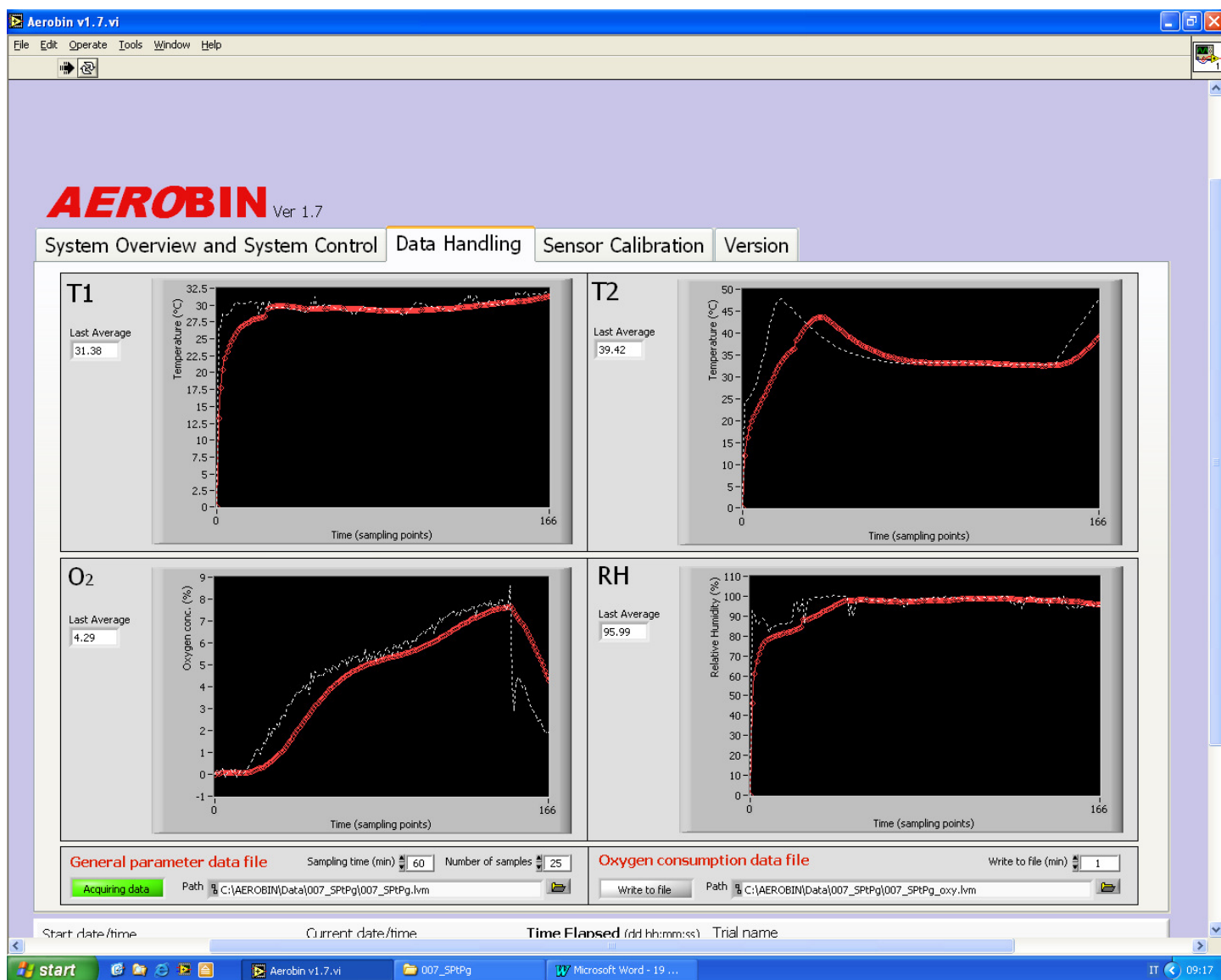


Foto 4.7 – Schermata del software indicante l'andamento nel tempo dei diversi parametri rilevati

4.2 Prove di compostaggio

Al termine della fase di realizzazione e taratura del biocomposter, si è passati alla fase di messa a punto delle miscele ottimali per l'ottenimento di un compost tramite l'utilizzo dei sottoprodotti della filiera olivicolo-olearia. Obiettivo della produzione di una miscela ottimale è quello di ottenere un prodotto:

- che tecnicamente risponda alle prescrizioni di Legge;
- con un elevato quantitativo di sansa, viste le problematiche per lo smaltimento di questo sottoprodotto.

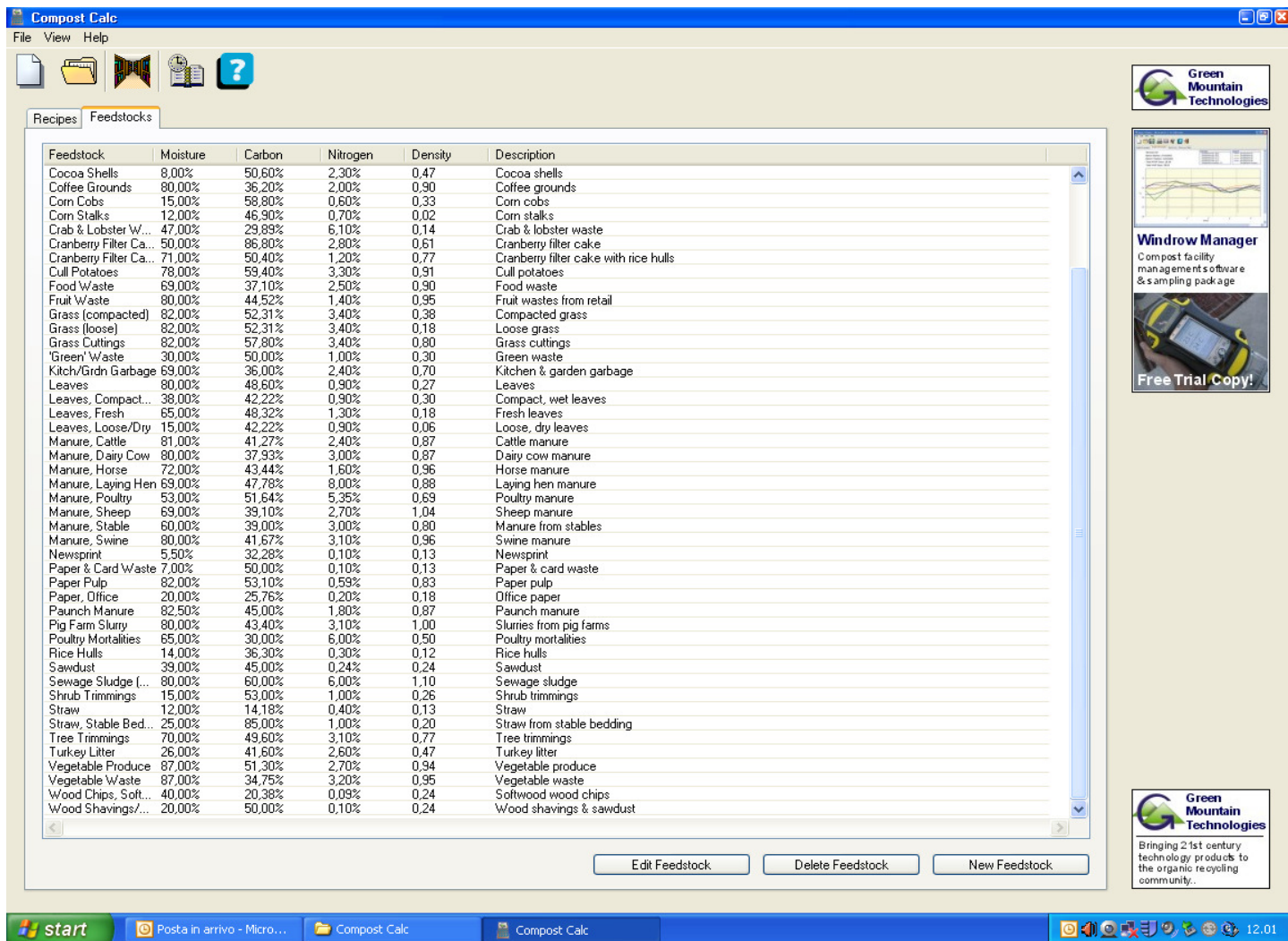
Per raggiungere tali obiettivi sono state realizzate diverse prove di compostaggio nel bioreattore, inserendo al suo interno miscele con diversi componenti ed in diversa percentuale.

Al fine di ottenere miscele con caratteristiche chimico-fisiche ritenute ottimali per il buon andamento del processo di compostaggio, si è fatto uso di un apposito software (COMPOST CALC della Green Mountain Technologies), che consente di prevedere le caratteristiche chimico-fisiche della miscela (massa volumica, umidità, carbonio organico totale, azoto totale e rapporto C/N), essendo note, attraverso analisi chimiche di laboratorio da noi effettuate, le caratteristiche chimiche di partenza dei singoli costituenti. Il software presenta un database con un elevato numero di materiali (foto 4.8).

Nelle prove di compostaggio sono state utilizzate sanse con due diversi valori di umidità, una definita ad umidità ridotta (60%) ed un'altra ad umidità elevata (70%).

I componenti delle miscele sono stati triturati con un biotrituratore (foto 4.9) e miscelati con l'ausilio di una betoniera del tipo utilizzato per il calcestruzzo (foto 4.10). Le prove, eseguite una per volta, non erano state pianificate all'inizio della sperimentazione, ma sono state effettuate, facendo tesoro dei risultati delle prove precedenti. Ad esempio la prova 2 scaturisce da considerazioni riguardanti i risultati della prova 1 e così via. Le prove nel biocomposter hanno avuto una durata pari alla fase termofila, caratterizzata dal raggiungimento di elevate temperature (45-65°C) e dal mantenimento di queste per alcuni giorni. Al termine della fase termofila, il bioreattore veniva svuotato e la massa posta in cumulo statico all'interno di cassette per la successiva fase di maturazione (foto 4.11, 4.12, 4.13).

Di seguito si riportano le caratteristiche fondamentali delle miscele utilizzate nelle diverse prove eseguite.



The screenshot displays the 'Compost Calc' software window. The 'Feedstocks' tab is active, showing a table with the following columns: Feedstock, Moisture, Carbon, Nitrogen, Density, and Description. The table lists 50 various organic materials used in composting. On the right side of the window, there are two promotional banners for 'Green Mountain Technologies' software: 'Windrow Manager' and another banner about bringing 21st-century technology products to the organic recycling community. At the bottom of the window, there are three buttons: 'Edit Feedstock', 'Delete Feedstock', and 'New Feedstock'. The Windows taskbar at the very bottom shows the 'start' button, several open applications including 'Posta in arrivo - Micro...', and the system clock indicating '12.01'.

Feedstock	Moisture	Carbon	Nitrogen	Density	Description
Cocoa Shells	8.00%	50.60%	2.30%	0.47	Cocoa shells
Coffee Grounds	80.00%	36.20%	2.00%	0.90	Coffee grounds
Corn Cobs	15.00%	58.80%	0.60%	0.33	Corn cobs
Corn Stalks	12.00%	46.90%	0.70%	0.02	Corn stalks
Crab & Lobster W...	47.00%	29.89%	6.10%	0.14	Crab & lobster waste
Cranberry Filter Ca...	50.00%	86.80%	2.80%	0.61	Cranberry filter cake
Cranberry Filter Ca...	71.00%	50.40%	1.20%	0.77	Cranberry filter cake with rice hulls
Cull Potatoes	78.00%	59.40%	3.30%	0.91	Cull potatoes
Food Waste	69.00%	37.10%	2.50%	0.90	Food waste
Fruit Waste	80.00%	44.52%	1.40%	0.95	Fruit wastes from retail
Grass (compacted)	82.00%	52.31%	3.40%	0.38	Compacted grass
Grass (loose)	82.00%	52.31%	3.40%	0.18	Loose grass
Grass Cuttings	82.00%	57.80%	3.40%	0.80	Grass cuttings
'Green' Waste	30.00%	50.00%	1.00%	0.30	Green waste
Kitch/Grdn Garbage	69.00%	36.00%	2.40%	0.70	Kitchen & garden garbage
Leaves	80.00%	48.60%	0.90%	0.27	Leaves
Leaves, Compact...	38.00%	42.22%	0.90%	0.30	Compact, wet leaves
Leaves, Fresh	65.00%	48.32%	1.30%	0.18	Fresh leaves
Leaves, Loose/Dry	15.00%	42.22%	0.90%	0.06	Loose, dry leaves
Manure, Cattle	81.00%	41.27%	2.40%	0.87	Cattle manure
Manure, Dairy Cow	80.00%	37.93%	3.00%	0.87	Dairy cow manure
Manure, Horse	72.00%	43.44%	1.60%	0.96	Horse manure
Manure, Laying Hen	69.00%	47.78%	8.00%	0.88	Laying hen manure
Manure, Poultry	53.00%	51.64%	5.35%	0.69	Poultry manure
Manure, Sheep	69.00%	39.10%	2.70%	1.04	Sheep manure
Manure, Stable	60.00%	39.00%	3.00%	0.80	Manure from stables
Manure, Swine	80.00%	41.67%	3.10%	0.96	Swine manure
Newsprint	5.50%	32.28%	0.10%	0.13	Newsprint
Paper & Card Waste	7.00%	50.00%	0.10%	0.13	Paper & card waste
Paper Pulp	82.00%	53.10%	0.59%	0.83	Paper pulp
Paper, Office	20.00%	25.76%	0.20%	0.18	Office paper
Paunch Manure	82.50%	45.00%	1.80%	0.87	Paunch manure
Pig Farm Slurry	80.00%	43.40%	3.10%	1.00	Slurries from pig farms
Poultry Mortalities	65.00%	30.00%	6.00%	0.50	Poultry mortalities
Rice Hulls	14.00%	36.30%	0.30%	0.12	Rice hulls
Sawdust	39.00%	45.00%	0.24%	0.24	Sawdust
Sewage Sludge (...)	80.00%	60.00%	6.00%	1.10	Sewage sludge
Shrub Trimmings	15.00%	53.00%	1.00%	0.26	Shrub trimmings
Straw	12.00%	14.18%	0.40%	0.13	Straw
Straw, Stable Bed...	25.00%	85.00%	1.00%	0.20	Straw from stable bedding
Tree Trimmings	70.00%	49.60%	3.10%	0.77	Tree trimmings
Turkey Litter	26.00%	41.60%	2.60%	0.47	Turkey litter
Vegetable Produce	87.00%	51.30%	2.70%	0.94	Vegetable produce
Vegetable Waste	87.00%	34.75%	3.20%	0.95	Vegetable waste
Wood Chips, Soft...	40.00%	20.38%	0.09%	0.24	Softwood wood chips
Wood Shavings/...	20.00%	50.00%	0.10%	0.24	Wood shavings & sawdust

Foto 4.8 – Schermata del software COMPOST CALC.



Foto 4.9 – Fase di biotriturazione delle potature di olivo.



Foto 4.10 – Fase di miscelazione dei componenti della miscela con l'ausilio di una betoniera.



Foto 4.11 – Apertura del bidone dopo la fase termofila.



Foto 4.12 – Fase di maturazione del compost in cassette.



Foto 4.13 – Particolare del compost ottenuto.

Prova n. 1

Miscela 50:50 (v/v) sansa ad umidità ridotta - residui di potatura di olivo

Volume materiale (m ³)	0,1094
Volume materiale (L)	109,4
Massa totale (kg/pf)	52,80
Massa totale (kg/ss)	29,58
Umidità (% pf)	43,98
Massa volumica (kg/L pf)	0,48
C organico totale (% ss)	46,0
N totale (% ss)	0,81
C/N	56,8

Prova n. 2

Miscela 50:50 (v/v) sansa ad umidità ridotta - residui di potatura di olivo

Volume materiale (m ³)	0,144
Volume materiale (L)	143,6
Massa totale (kg/pf)	71,80

Massa totale (kg/ss)	34,28
Umidità (% pf)	52,26
Massa volumica (kg/L pf)	0,50
C organico totale (% ss)	46,0
N totale (% ss)	0,81
C/N	56,8

Prova n. 3

Miscela 50:50 (v/v) sansa ad umidità elevata - residui di potatura di olivo

Volume materiale (m ³)	0,070
Volume materiale (L)	70,60
Massa totale (kg/pf)	75,00
Massa totale (kg/ss)	21,45
Umidità (% pf)	71,40
Massa volumica (kg/L pf)	1,06
C organico totale (% ss)	13,02
N totale (% ss)	0,43
C/N	31,1

Prova n. 4

Miscela 28:41:31 (v/v/v) sansa ad umidità elevata - residui di potatura di olivo
– segatura di abete

Volume materiale (m ³)	0,140
Volume materiale (L)	140,0
Massa totale (kg/pf)	60,00
Massa totale (kg/ss)	21,18
Umidità (% pf)	64,70
Massa volumica (kg/L pf)	0,43
C organico totale (% ss)	17,43
N totale (% ss)	0,40
C/N	41,0

Prova n. 5

Miscela 68:24:8 (p/p/p) sansa ad umidità elevata - residui di potatura di olivo - paglia

Volume materiale (m ³)	0,100
Volume materiale (L)	100,0
Massa totale (kg/pf)	44,75
Massa totale (kg/ss)	17,01
Umidità (% pf)	62,00
Massa volumica (kg/L pf)	0,19
C organico totale (% ss)	41,1
N totale (% ss)	1,12
C/N	36,7

Prova n. 6

Miscela 68:24:8 (p/p/p) sansa ad umidità elevata - residui di potatura di olivo - paglia

Volume materiale (m ³)	0,100
Volume materiale (L)	100,0
Massa totale (kg/pf)	45,70
Massa totale (kg/ss)	17,37
Umidità (% pf)	62,00
Massa volumica (kg/L pf)	0,19
C organico totale (% ss)	41,1
N totale (% ss)	1,12
C/N	36,7

4.2.1 Risultati delle prove di compostaggio

Nelle prime tre prove si è partiti con una miscela tra sansa ad umidità ridotta e materiale lignocellulosico (potatura di olivo) nella proporzione 1:1. In queste condizioni sperimentali la miscela n.1 contenente la sansa ad umidità ridotta è entrata abbastanza velocemente in fase termofila, ha raggiunto una temperatura massima (T₂) di circa 43 °C, che persisteva per circa 40 ore (foto 4.14 e fig. 4.2).

Successivamente la temperatura tendeva ad abbassarsi e neanche i rivoltamenti della massa, effettuati con la rotazione del bioreattore, consentivano una ripresa decisa della fase termofila. Essendo il rapporto C/N e l'umidità della massa ideali per il processo di compostaggio, siamo giunti alla conclusione che evidentemente all'interno del biocomposter si erano create vie preferenziali per la circolazione dell'aria, che avevano creato estese sacche in cui prevalevano fenomeni di anossia. Pertanto la prova è stata bloccata procedendo alla sua ripetizione, ponendo maggiore cura al controllo dell'ossigeno (prova n.2).

Anche in questa seconda prova la massa raggiungeva velocemente temperature prossime ai 45 °C, ma questa volta un ottimale controllo dell'insufflazione di aria permetteva il mantenimento delle condizioni termofile per alcuni giorni (fig. 4.3).

Nella prova n.3 dove vi era sansa ad elevata umidità, il rapporto di miscelazione 1:1 tra materiale fermentescibile e lignocellulosico si è dimostrato non idoneo a sorreggere la fase termofila del processo. Infatti l'innalzamento di temperatura si è manifestato solo dopo alcuni giorni dall'immissione della miscela nel biocomposter ed inoltre si è avuta abbondante percolazione di acqua libera, che si è depositata sul fondo del biocomposter ed allontanata tramite il rubinetto presente (fig. 4.4). Questi risultati hanno consigliato di variare le percentuali dei prodotti componenti della miscela, inserendo un minor quantitativo di sansa umida ed un maggior quantitativo di potature.

Tuttavia tale scelta è stata scartata a priori, in quanto in un'ottica di produzione del compost in larga scala, questo richiederebbe l'allontanamento dal frantoio di limitati quantitativi di sansa ed obbligherebbe al reperimento ed allo stoccaggio di enormi masse di potatura. Per questo motivo si è scelto di aggiungere alla miscela un materiale organico in grado di assorbire grandi quantitativi di acqua rispetto al proprio volume e cioè la segatura, con cui è stata effettuata la prova n. 4. La relativa miscela preparata, presentava valori iniziali di umidità e rapporto C/N ideali per il processo di compostaggio, tuttavia la fase termofila aveva un lento avvio, raggiungendo elevate temperature, ma mantenendole solo per pochi giorni (fig. 4.5). Unico fattore negativo della miscela realizzata con sansa umida, potatura e segatura era rappresentato dal fatto che quest'ultima ha attualmente un mercato molto attivo, in quanto materia prima per la produzione di pellet destinato alla produzione di

energia termica. Inoltre la stessa non solo proviene dal mondo extra agricolo, ma qualora fosse ricavata da legno trattato, costituirebbe una matrice non ammessa nel processo di compostaggio. In tutti i casi, un'interpretazione restrittiva della norma, può far classificare la segatura come rifiuto e quindi non ricevibile all'interno di una struttura non idonea allo smaltimento.

Queste considerazioni ci hanno spinto a ricercare nel mondo rurale un'altra tipologia di biomassa che potesse rispondere agli stessi requisiti tecnici della segatura, senza però le implicazioni economiche e legislative che questa pone. Tra i sottoprodotti agricoli la scelta è ricaduta sulla paglia e così sono state effettuate ulteriori due prove (5 e 6).

La prova 5 ha fornito risultati ottimi, in quanto la fase termofila ha raggiunto e mantenuto per diversi giorni la temperatura di 60° C, garantendo in tal modo la corretta igienizzazione della massa (fig. 4.6). Visti gli esiti positivi della prova 5 si è deciso di replicarla con la prova 6 che sostanzialmente presentava le stesse caratteristiche di partenza. I risultati della prova 6 sono del tutto in linea con quelli della prova 5 (figg. 4.7 e 4.8).

In conclusione particolarmente positive per la produzione di compost sono risultate le miscele con cui sono state svolte le prove 2 e 6. La prima con sansa ad umidità ridotta e potature di olivo e la seconda con sansa ad umidità elevata, potature di olivo e paglia.

Pertanto al termine della fase di maturazione protratta per circa 40 giorni, queste due miscele sono state analizzate con riferimento ai parametri previsti dal D.lvo 217/06, al fine di verificarne l'idoneità alla commercializzazione come ammendanti compostati misti o come ammendanti compostati verdi. Nella tabella 4.1 si riportano i risultati ottenuti ed il relativo errore standard (ES).

Come può evincersi entrambi gli ammendanti risultano idonei alla commercializzazione. Da un punto di vista tecnico, molto importante il dato dell'umidità, che denota un'ottimale perdita di acqua nel corso del processo, soprattutto in fase di maturazione. Da un punto di vista agronomico il prodotto proveniente dalla prova n. 6 mostra un valore molto elevato di conducibilità elettrica specifica, indice di un'elevata salinità, tale da sconsigliarne ad esempio un uso florovivaistico se non previa miscelazione con altri materiali. Per il pieno campo

entrambi gli ammendanti ottenuti risultano molto interessanti per l'elevato apporto di sostanza organica, dotata anche di un elevato grado di umificazione. Trascurabile è risultato il contenuto in metalli pesanti.

Tabella 4.1. Caratterizzazione chimica degli ammendanti ottenuti dalle prove n. 2 e 6.

	prova 6	ES	prova 2	ES
Umidità %	32,0		24,0	
pH	6,3	0,04	6,0	0,01
N totale % s.s.	1,19	0,02	1,05	0,02
N organico % s.s.	1,08	0,01	1,02	0,01
C organico totale % s.s.	39,1	0,11	34,4	0,02
C/N	33,0	0,76	32,8	0,5
Sostanza organica % s.s.	67,3	0,18	59,2	0,04
Acidi umici + Acidi fulvici % s.s.	14,4	0,44	11,5	0,36
Grado di umificazione % (DH %)	59,9	1,41	60,5	0,12
Fosforo totale % s.s. (come P)	0,24	0,00	0,16	0,01
Fosforo totale % s.s. (come P₂O₅)	0,55	0,00	0,35	0,02
Potassio totale % s.s. (come K)	1,3	0,06	0,3	0,02
Potassio totale % s.s. (come K₂O)	1,6	0,08	0,4	0,02
Cromo VI mg/kg	< 0,1		1,7	1,56
Zinco totale mg/kg	36	2,96	28	9,41
Cadmio mg/kg	0,8	0,01	0,8	0,02
Mercurio mg/kg	< 0,1		0,2	0,08
Nichel mg/kg	2,4	0,54	0,1	0,00
Piombo mg/kg	13	0,37	14	0,91
Rame mg/kg	29	0,20	18	0,93
Salinità mS cm⁻¹	6,4	0,05	1,9	0,03

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Time (min)	T1	T2	O2	RH	Comment	Time (h)	
44	2527,49	35,09	41,85	14,45	107,49	001_01122008_SA	41:59:59	
45	2587,49	35,28	41,97	14,34	107,60	001_01122008_SA	42:59:59	
46	2647,50	35,47	42,07	14,20	107,81	001_01122008_SA	44:00:00	
47	2707,50	35,64	42,14	14,12	107,93	001_01122008_SA	45:00:00	
48	2767,50	35,78	42,19	14,08	108,15	001_01122008_SA	46:00:00	
49	2827,49	35,95	42,19	13,89	108,45	001_01122008_SA	47:00:00	
50	2887,49	36,19	42,18	13,88	108,94	001_01122008_SA	47:59:59	
51	2947,49	36,29	42,32	13,78	109,02	001_01122008_SA	48:59:59	
52	3007,50	36,38	42,43	13,55	109,13	001_01122008_SA	50:00:00	
53	3067,50	36,46	42,53	13,44	109,21	001_01122008_SA	51:00:00	
54	3127,50	36,52	42,60	13,23	109,30	001_01122008_SA	52:00:00	
55	3187,49	36,58	42,65	13,25	109,40	001_01122008_SA	53:00:00	
56	3247,49	36,61	42,66	13,33	109,46	001_01122008_SA	53:59:59	
57	3307,49	36,64	42,67	13,25	109,54	001_01122008_SA	54:59:59	
58	3367,49	36,71	42,61	13,19	109,63	001_01122008_SA	56:00:00	
59	3427,49	36,74	42,56	13,12	109,74	001_01122008_SA	57:00:00	
60	3487,49	36,76	42,51	12,94	109,83	001_01122008_SA	57:59:59	
61	3547,49	36,77	42,46	12,81	109,90	001_01122008_SA	58:59:59	
62	3607,50	36,75	42,41	12,66	109,99	001_01122008_SA	60:00:00	
63	3667,50	36,73	42,34	12,41	110,08	001_01122008_SA	61:00:00	
64	3727,49	36,71	42,28	12,24	110,16	001_01122008_SA	62:00:00	
65	3787,49	36,68	42,20	12,20	110,24	001_01122008_SA	63:00:00	
66	3847,49	36,62	42,10	12,23	110,30	001_01122008_SA	63:59:59	
67	3907,49	36,57	42,02	12,25	110,28	001_01122008_SA	64:59:59	
68	3967,48	36,55	41,85	12,24	110,40	001_01122008_SA	65:59:59	
69	4027,50	36,61	41,72	12,15	110,93	001_01122008_SA	67:00:00	
70	4087,50	36,64	41,58	12,10	110,98	001_01122008_SA	68:00:00	
71	4147,49	36,61	41,43	12,19	111,02	001_01122008_SA	69:00:00	
72	4207,49	36,55	41,28	12,16	110,93	001_01122008_SA	70:00:00	
73	4267,49	36,49	41,13	12,09	110,96	001_01122008_SA	70:59:59	
74	4327,49	36,37	41,02	12,31	110,82	001_01122008_SA	71:59:59	
75	4387,50	36,13	40,89	12,23	110,35	001_01122008_SA	73:00:00	
76	4447,50	35,94	40,78	12,42	110,34	001_01122008_SA	74:00:00	
77	4507,49	35,76	40,47	12,65	110,35	001_01122008_SA	75:00:00	
78	4567,49	35,59	40,16	12,63	110,37	001_01122008_SA	76:00:00	
79	4627,49	35,41	39,86	12,67	110,39	001_01122008_SA	76:59:59	
80	4687,49	35,24	39,77	12,67	110,40	001_01122008_SA	77:59:59	

Foto 4.14 – Prova 1: variazione di T1, T2, O2 ed RH nel tempo.

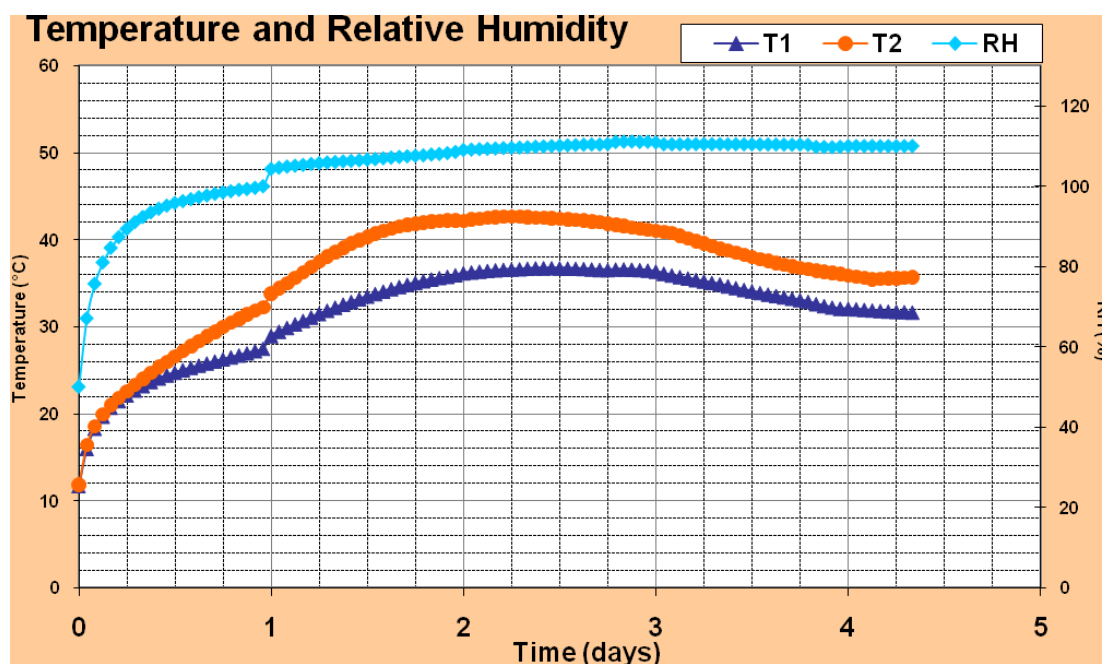


Figura 4.2 – Prova 1: andamento nel tempo della temperatura esterna T1, della temperatura interna T2 e dell'umidità.

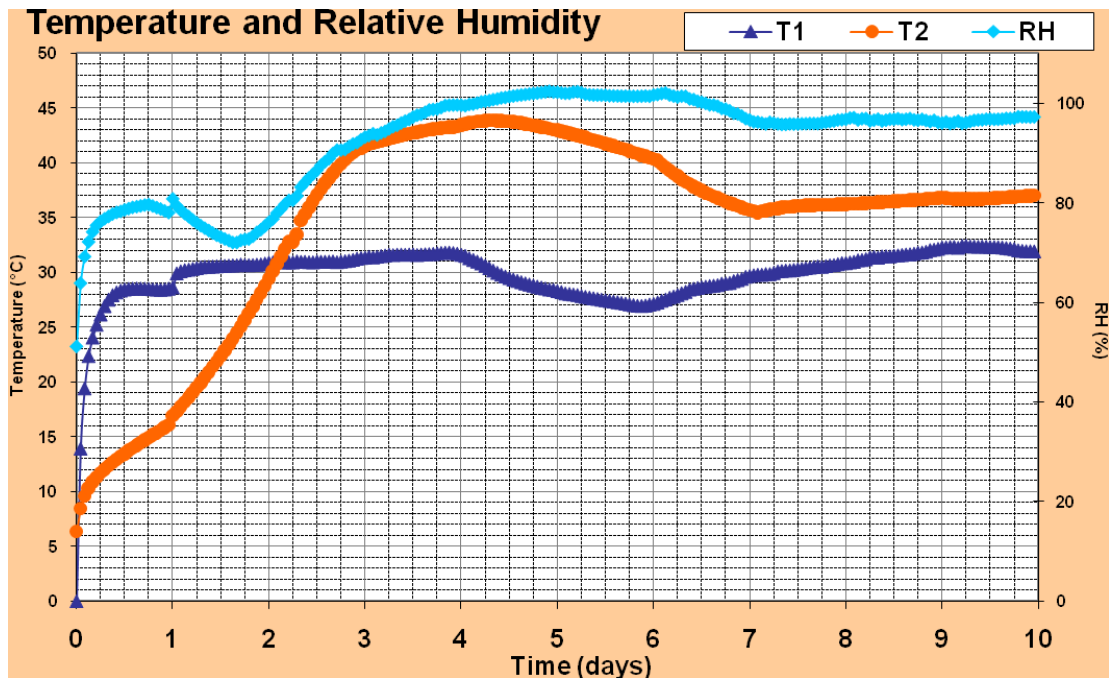


Figura 4.3 – Prova 2: andamento nel tempo della temperatura esterna T1, della temperatura interna T2 e dell'umidità.

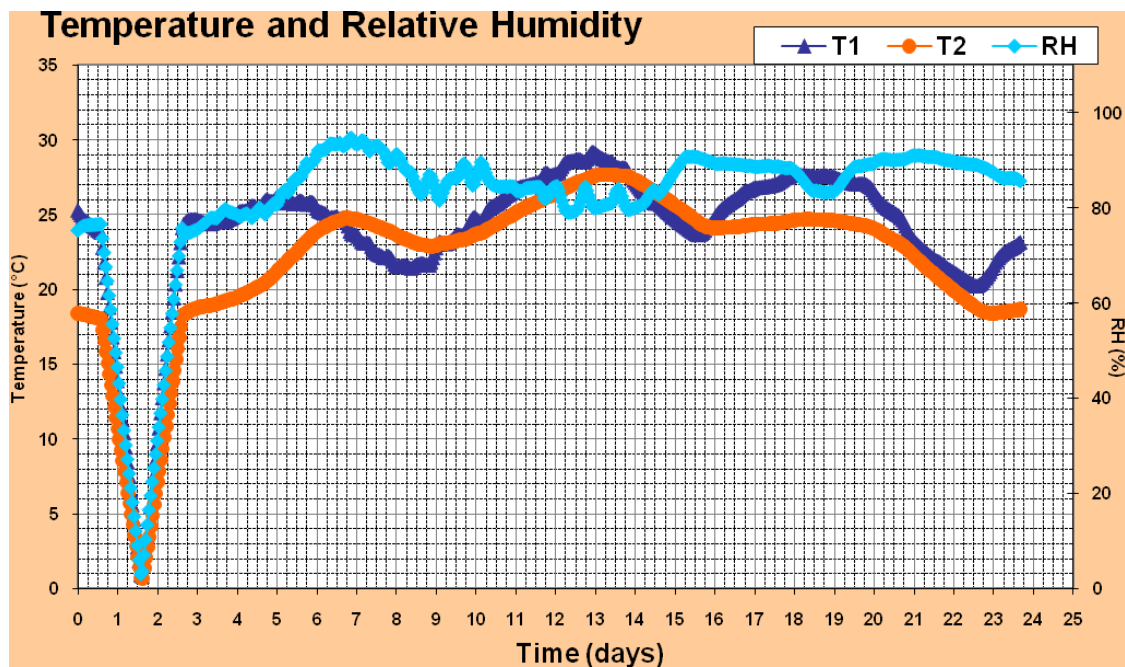


Figura 4.4 – Prova 3: andamento nel tempo della temperatura esterna T1, della temperatura interna T2 e dell'umidità. L'abbassamento improvviso tra il giorno 1 ed il giorno 2 è stato causato da mancanza di alimentazione.

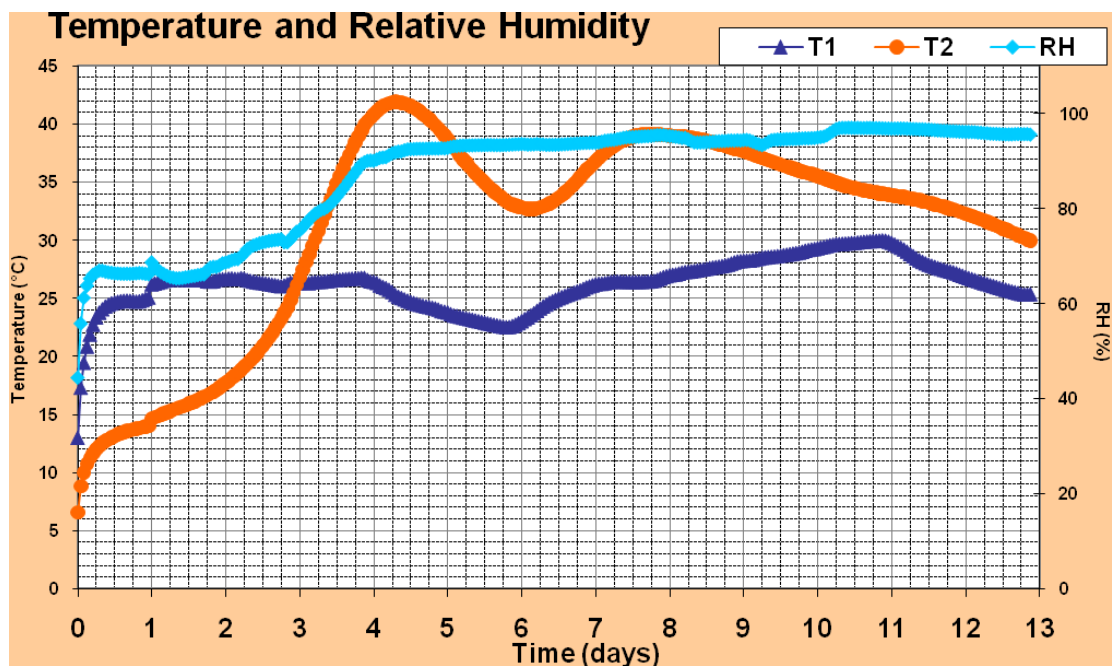


Figura 4.5 – Prova 4: andamento nel tempo della temperatura esterna T1, della temperatura interna T2 e dell'umidità.

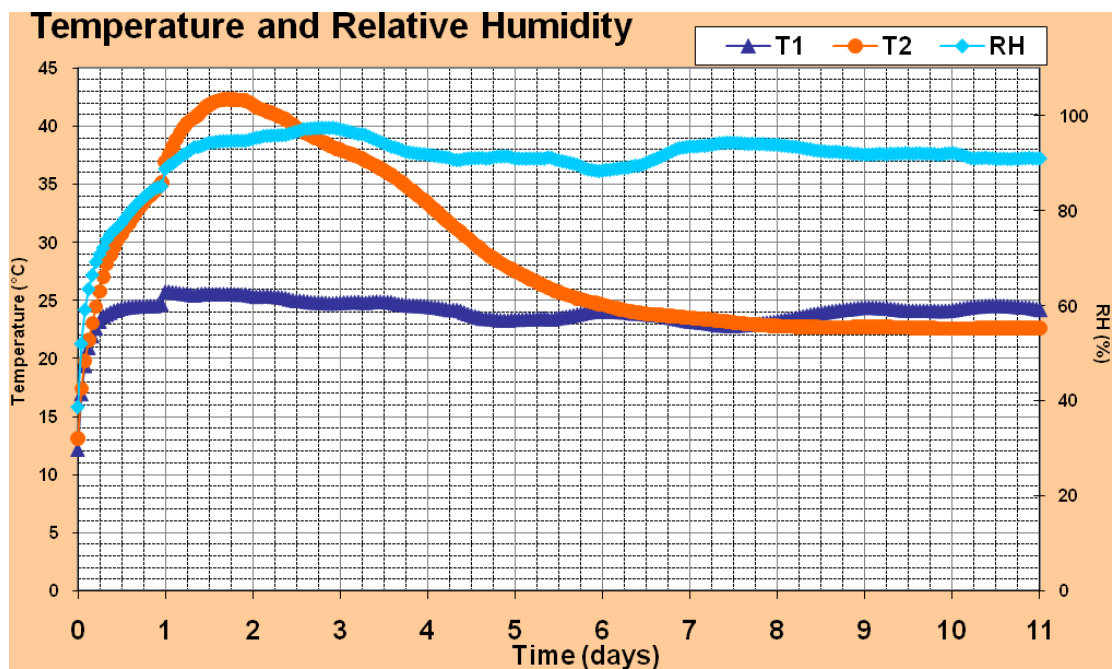


Figura 4.6 – Prova 5: andamento nel tempo della temperatura esterna T1, della temperatura interna T2 e dell'umidità.

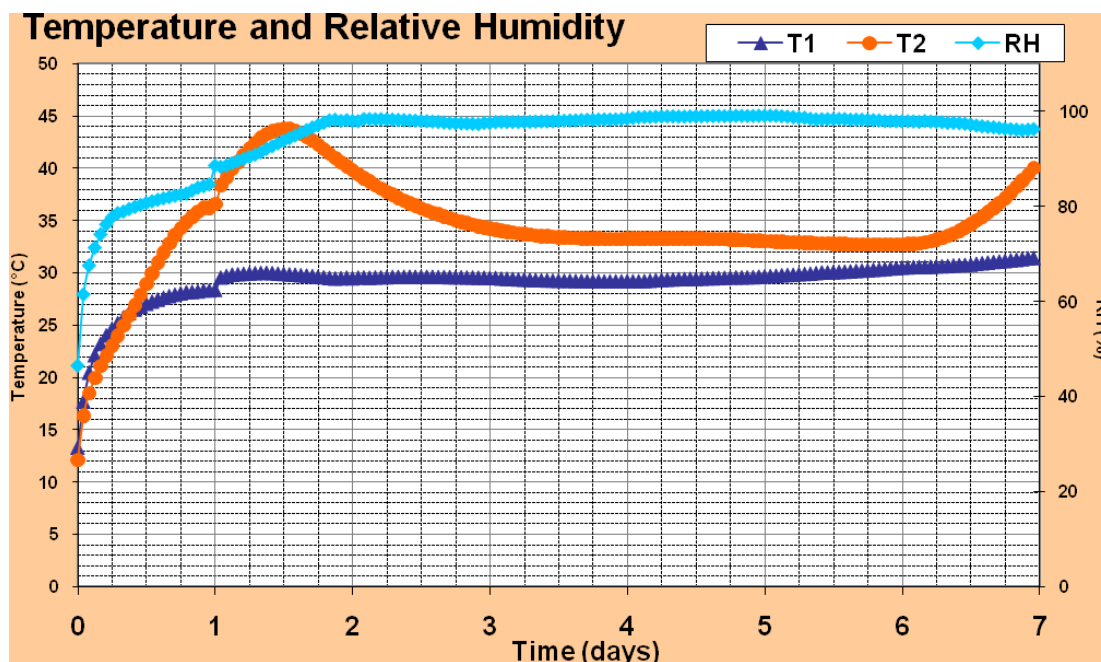


Figura 4.7 – Prova 6: andamento nel tempo della temperatura esterna T1, della temperatura interna T2 e dell'umidità.

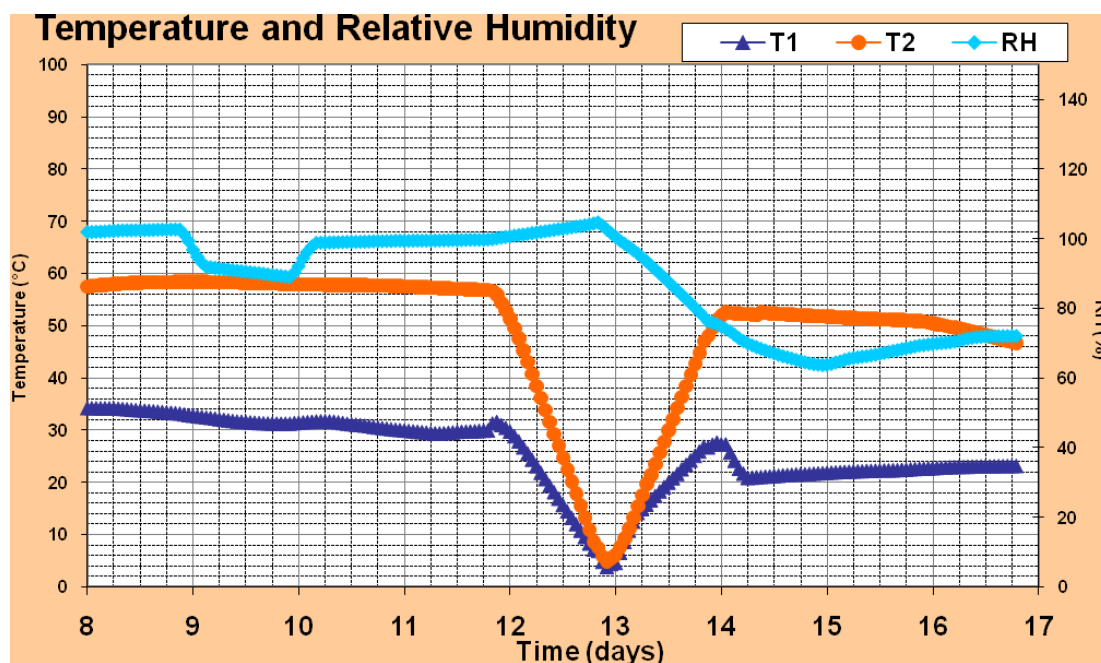


Figura 4.8 – Prova 6: continuazione (dal grafico precedente) dell'andamento nel tempo della temperatura esterna T1, della temperatura interna T2 e dell'umidità. L'abbassamento improvviso tra il giorno 12 ed il giorno 14 è stato causato da mancanza di alimentazione.

4.3 Produzione di compost in cumulo statico

Una volta individuata la miscela ottimale per l'ottenimento di un compost di qualità grazie all'impiego del biocomposter, si è passati alla fase successiva della sperimentazione che prevedeva la produzione del compost in cumulo statico anche al fine di simulare una situazione reale di produzione in azienda.

Delle due miscele individuate (prova 2 e 6) si è scelto di utilizzare quella costituita da sansa ad umidità ridotta e residui di potatura dell'olivo nel rapporto 1:1 in volume (v/v) (prova 2). Tale scelta si giustifica con il fatto che allo stato attuale tale tipologia di sansa è la più diffusa, essendo la seconda prodotta da impianti ancora poco diffusi nella realtà italiana.

Inizialmente è stata effettuata la triturazione dei residui lignocellulosici, poi la miscelazione con le sanse all'interno della betoniera ed infine la successiva sistemazione della miscela all'interno del bioreattore statico avente volume totale di circa 1 m³ (foto 4.15). Tale bioreattore è stato realizzato con profilati metallici saldati in modo da formare un cubo di 1.0 m. di lato e con pannelli in PVC sui cinque lati.



Foto 4.15 – Bioreattore statico con la miscela avente caratteristiche uguali a quella della prova 2.

Dato che tale bioreattore statico non prevede alcun tipo di rivoltamento della massa, è stato previsto un sistema di distribuzione dell'aria costituito da una serie di tubi

posti a diverse altezze all'interno del cassone. I tubi soffianti sono stati collegati ad un compressore la cui portata garantiva un intervallo di insufflazione di 5 min/ora con un flusso di 20 l/min. La portata è stata regolata in modo tale da garantire, anche nei momenti di massima attività biologica, un sufficiente apporto di ossigeno e un adeguato controllo della temperatura. Quest'ultima è stata rilevata mediante una termocoppia inserita al centro della massa in compostaggio e i dati della temperatura sono stati registrati.

Durante il processo si è provveduto ad aggiungere acqua alla massa in compostaggio, con il fine di mantenere un'umidità compresa tra il 50% e il 60%, dal momento che valori inferiori al 40% inibiscono lo sviluppo microbico, mentre se sono superiori al 60% favoriscono l'insorgere di condizioni anossiche.

Sulla miscela, prima di essere avviata al compostaggio, è stato effettuato un campionamento (campione denominato M0) corrispondente alla miscela iniziale (a zero giorni di processo), che ha permesso di definirne la composizione, in modo da acquisire le informazioni necessarie ai fini di un'opportuna regolazione del processo. Successivamente, durante la fase attiva del processo di compostaggio condotta all'interno del bioreattore, sono stati effettuati tre campionamenti:

- il primo, dopo sette giorni di processo (M1);
- il secondo, dopo diciannove giorni (M2);
- il terzo, dopo quarantasette giorni (M3).

L'analisi di questi campioni ha permesso di seguire l'evoluzione subita dalla matrice durante il processo di compostaggio.

Al termine della fase attiva la miscela stabilizzata e igienizzata è stata allontanata dal bioreattore avviandola alla fase di maturazione, condotta in cumulo posto su una platea di cemento (foto 4.16).

In questa fase è stato effettuato l'ultimo campionamento (M4) eseguito a 126 giorni dall'inizio del processo. L'analisi di quest'ultimo campione ha permesso di definire le caratteristiche chimico-fisiche finali del compost prodotto (tab. 4.2). Come già visto per il campione ottenuto nella prova condotta nel biocomposter da laboratorio, anche in questo caso i dati ottenuti confermano la rispondenza dell'ammendante a quanto stabilito dalla legislazione vigente.

Molto elevato risulta il contenuto in sostanza organica ed in acidi umici e fulvici. Positivo il fatto che la quasi totalità dell'azoto sia contenuto in forma organica, con conseguenti effetti positivi tanto dal punto di vista agronomico che ambientale.

Tabella 4.2. Caratterizzazione chimica dell'ammendante ottenuto dal cumulo statico e confronto con i valori previsti dal D.lgs. 217/06.

Parametri	Campione M4	Ammendante compostato misto (D.lgs. 217/06)
Umidità	28,3	Max 50%
pH	7,35 ± 0,02	Compreso tra 6,0 e 8,5
Conducibilità elettrica (mS cm ⁻¹)	1,55 ± 0,01	
Ceneri (% s.s.)	7,96	
SV (% ps)	92,04	
% TOC	46,07 ± 0,33	Min 25%
N totale (% s.s.)	1,76 ± 0,04	
N Ammoniacale (% s.s.)	0,08	
% TON	1,68 ± 0,04	Almeno 80% dell'N tot
C/N	26,17 ± 0,81	Max 25%
HiWEOC (%)	1,08 ± 0,01	
HoWEOC (%)	0,95 ± 0,01	
Ho:Hi	0,88 ± 0,01	
TEC%	16,5 ± 0,6	
HA%	8,32 ± 0,27	
FA%	8,17 ± 0,35	
HA + FA %	16,49	Min 7%
DH%	99,98	
HR%	35,8 ± 1,6	
Fosforo Totale (mg/ kg s.s)	2673 ± 194	
Potassio Totale (mg/ kg s.s)	7625 ± 72	
Cu (mg/ kg s.s.)	28,0 ± 0,5	Max 150 mg/kg
Zn (mg/ kg s.s.)	36,5 ± 0,8	Max 500 mg/kg
Ni (mg/ kg s.s.)	0,1	≤ 100 mg/kg
Pb (mg/ kg s.s.)	< l.s.m.	≤ 140 mg/kg
Cd (mg/ kg s.s.)	< l.s.m.	≤ 140 mg/kg
Hg (mg/ kg s.s.)	< l.s.m.	≤ 140 mg/kg



Foto 4.16 – Fase di svuotamento del bioreattore statico. Si notino i tubi per l’insufflazione dell’aria a diverse altezze.

4.4 Risultati delle prove di germinabilità

Visti i risultati delle prove di compostaggio il test di germinabilità è stato effettuato sulla miscela della prova 2 e su quella della prova 6 (foto 4.17, 4.18).

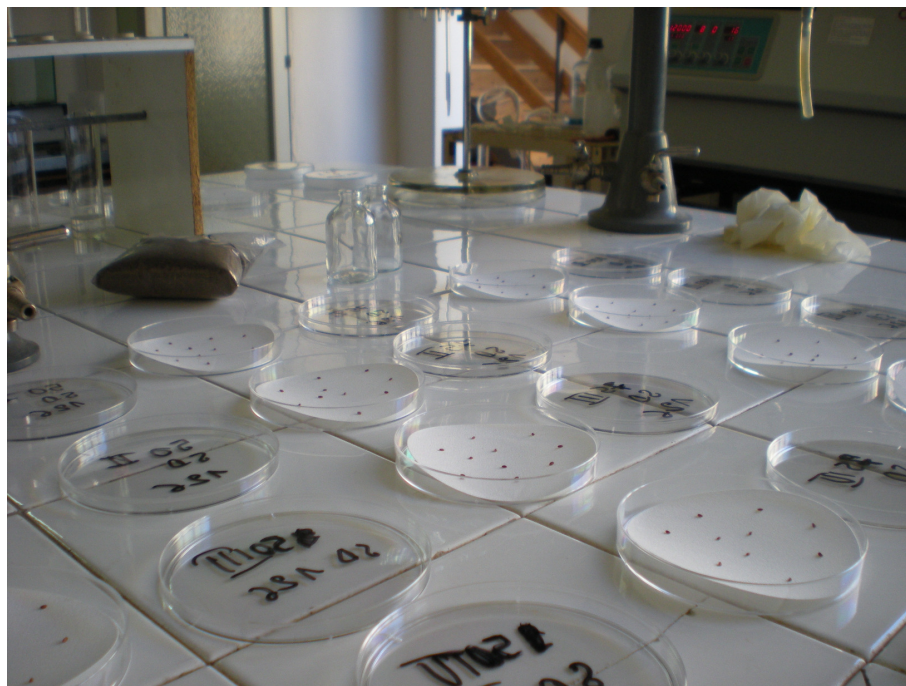


Foto 4.17 – Fase di preparazione del test di germinabilità.

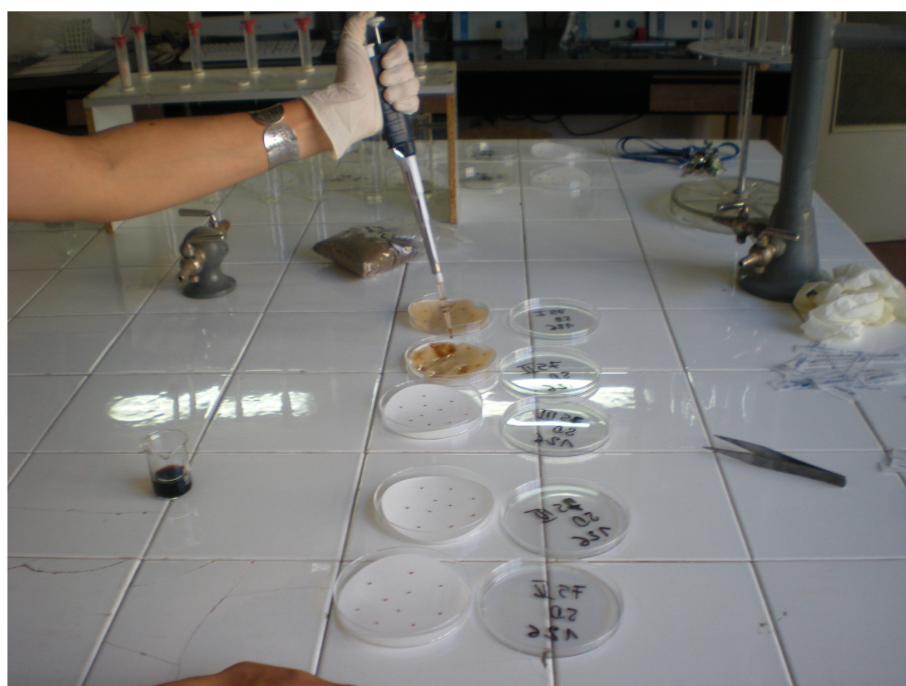


Foto 4.18 – Fase di preparazione del test di germinabilità.

Il GI (Germination Index – Indice di Germinabilità) relativo alla miscela utilizzata nella prova 2 non evidenzia variazioni apprezzabili durante il processo di compostaggio (tratto rosso, grafico 4.4). I valori sono sempre superiori all'80% e comunque maggiori del 60%, che rappresenta il valore inferiore di accettabilità di un compost.

Il GI ottenuto per la miscela utilizzata nella prova 6 mostra in fase iniziale una fitotossicità molto alta ($GI=0$) dovuta sostanzialmente alla sansa utilizzata. Viceversa al trascorrere del tempo si osserva un chiaro decremento nella fitotossicità, dimostrando pertanto l'efficienza del processo di compostaggio. Alla fine della fase attiva il GI è al 61%, valore che sale fino al 66% alla fine della fase di maturazione. Pertanto anche dalla miscela utilizzata nella prova 6 si ottiene un compost accettabile avente $GI>60\%$.

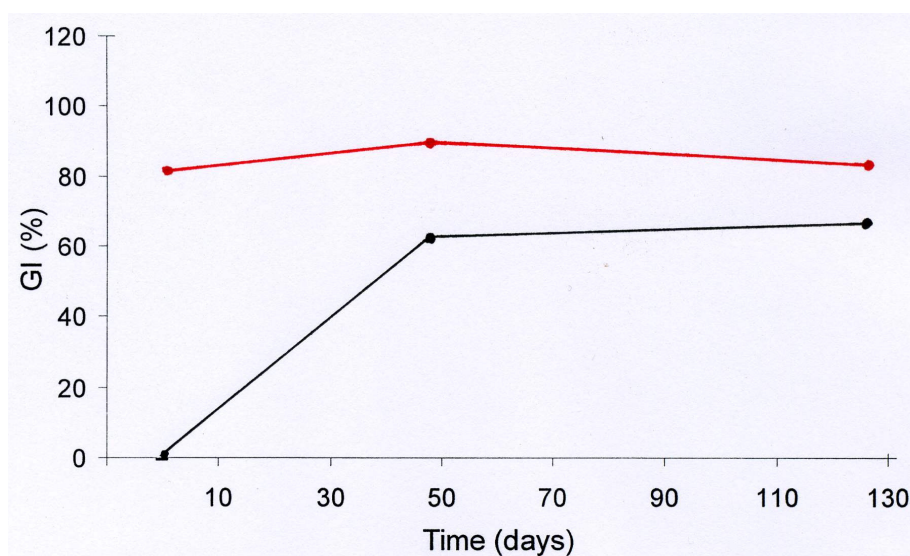


Grafico 4.4 – Andamento dell'Indice di Germinabilità nel tempo per la miscela utilizzata nella prova 2 (tratto rosso) e per la miscela utilizzata nella prova 6 (tratto nero).

Conclusioni

Il bioreattore da laboratorio ideato e realizzato costituisce una strumentazione di sicuro interesse da un punto di vista scientifico, in quanto consente il monitoraggio in continuo di importanti parametri di processo. La piattaforma software utilizzata ha una versatilità tale da poter potenziare tale attività con l'aggiunta del monitoraggio di altri parametri al momento non considerati. Ad esempio potrebbero essere monitorate le emissioni in atmosfera che si verificano nel corso del compostaggio e che pongono problemi da un punto di vista ambientale.

I risultati della sperimentazione con reflui oleari hanno dimostrato la buona attitudine al compostaggio delle sanse dei frantoi oleari, che costituisce una valida alternativa all'estrazione dell'olio di sansa o al loro smaltimento come rifiuti industriali.

In riferimento alla legislazione vigente il compost prodotto è risultato conforme al D.Lgs. 217/06.

Ottime e conformi alla legislazione vigente le concentrazioni riscontrate per gli elementi della nutrizione vegetale. In relazione a quest'ultimi, un aspetto di particolare interesse agronomico ed ambientale risulta essere che nel compost prodotto la quasi totalità dell'azoto è in forma organica, il che consente di apportare al terreno azoto a lenta cessione e non suscettibile alla lisciviazione.

I risultati forniti dal test di germinabilità dimostrano che il compostaggio delle miscele costituite da sanse e potature di olivo crea un prodotto stabile e maturo. Lo stesso risultato vale anche impiegando sanse ad elevata umidità, che richiedono tuttavia un maggior quantitativo di materiale lignocellulosico.

Il naturale proseguimento della sperimentazione effettuata è senz'altro rappresentato da prove agronomiche di spandimento del compost in oliveti. Sicuramente andranno effettuate indagini circa:

1. i fenomeni di fitotossicità del compost a carico degli olivi;
2. l'eventuale influenza sulla cascola;
3. l'effetto sull'accrescimento dei frutti (senza riduzione del loro contenuto in olio) e sulla produzione per pianta;
4. l'assenza di effetti negativi sulla qualità chimico-sensoriale dell'olio.

Inoltre i risultati positivi delle analisi chimiche effettuate sul compost prodotto in cumulo statico e la modesta entità degli investimenti richiesti per tale produzione

(acquisto di un compressore d'aria, di un biotrituratore e realizzazione di semplici contenitori parallelepipedici), lasciano intravedere la possibilità della creazione di una filiera per la produzione di compost. In particolare si potrebbe prevedere che il produttore olivicolo porti al frantoio le proprie olive per la molitura e ne ricavi olio e sansa. Quest'ultima riportata in azienda potrebbe essere utilizzata, insieme alle potature di olivo, per produrre compost da ridistribuire nell'oliveto. In tal modo i sottoprodotti della filiera olivicolo-olearia non darebbero più luogo a problematiche per il loro smaltimento, ma costituirebbero un valore aggiunto per l'olivicoltore.

Bibliografia

- A.A.V.V. 2005. Reimpiego dei Sottoprodotti Derivanti dalla Produzione di Olio e di Olive da Tavola. *TDC Olive*.
- Alianello F., Trinchera S., Dell'Orco S., Pinzari F., Benedetti A. 1998. Somministrazione al terreno delle acque di vegetazione da frantoio: effetti sulla sostanza organica e sull'attività microbica del suolo. *Agricoltura Ricerca* 173, 64-74.
- Amirante P., Di Renzo G.C. 1990, Impianti di concentrazione termica e di osmosi per la depurazione dei reflui oleari. Tecnologie per lo smaltimento e la riutilizzazione dei fanghi. In *“Proceedings of the Internazionale Symposium Olio d'oliva e olive da tavola: tecnologia e qualità”*, Pescara, Italy.
- A.N.P.A., 2001, Manuale di Metodi di analisi del compost, Ed. Pieraldo, Roma.
- Aranda E., García-Romera I., Ocampo J.A., Carbone V., Mari A., Malorni A., Sannino F., De Martino A., Capasso R. 2007. “Chemical characterization and effects on *Lepidium sativum* of the native and bioremediated components of dry olive mill residue”. *Chemosphere* 69, 229-239.
- Bernal M.P., Paredes C., Sánchez-Monedero M.A., Cegarra J., 1998, Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes, *Bioresource Technology* 63, 91–99.
- Boggia A., Porceddu P.R., 2006, La raccolta delle biomasse della potatura dell'olivo a fini energetici: un'analisi tecnica ed economica – *Estimo e Territorio* n. 12.
- Businelli M., 2003, Principi di chimica del suolo, Morlacchi editore, Perugia.
- Catalano M., Gomes T., De Felice M., De Leonardis T. 1985, Smaltimento delle acque di vegetazione dei frantoi oleari. *Inquinamento* 2, 87-90.
- Catalano M., De Felice M. 1989, Utilizzazione delle acque reflue come fertilizzante. In *Proceedings of Internazionale Symposium: Tecnologie e impianti per il trattamento dei reflui dei frantoi oleari*. Lecce, Italy. Vol. 1, pp. 251–262.
- Catalano M., Felice M. 1991, Utilization of olive mill wastewater as fertilizers. Junta de Andalucia, Sevilla (Spain). Direction General de Investigacion Extension Agrarias, 127-134.
- Canditelli M., 1995, Stato dell'arte e prospettive del compostaggio. Centro di Ricerca Trisaia, Rotondella (MT). ENEA Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente. Dipartimento Ambiente.

Chefetz B., Hatcher P.G., Hadar Y., Chen Y., 1998, Characterization of dissolved organic matter extracted from composted municipal solid waste, *Soil Science Society of American Journal* 62, 326–332.

Ciavatta C., Govi M., Vittori Antisari L. and Sequi P., 1990, Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone, *Journal of Chromatography* 509:141-146.

Cladini G., Cerretani L., Bendini A., Gallina Toschi T., 2005, Produzione e consumo di oli di oliva in Italia e Spagna, *L'Informatore Agrario*, 30, 33-38.

Cooperband L.R., A.G. Stone, M.R. Fryda and J.L. Ravet., 2003, Relating Compost Measures of Stability to Plant Growth, *Compost Science & Utilization*, 11 (2): 113-124.

Decreto Legislativo 29 aprile 2006, n.217, Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, G.U. n. 141 del 20 giugno 2006 – Supplemento Ordinario n. 152.

Decreto Legislativo del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali 6 luglio 2005, Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari, di cui all'articolo 38 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, G.U. n. 166 del 19 luglio 2005.

Delibera della Giunta Regionale 2 agosto 2006, n. 1423. Direttiva tecnica regionale: “Utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sanse umide dei frantoi oleari”. Bollettino Ufficiale della Regione Umbria n.43 del 13 settembre 2006.

Epstein E., 1997, *The Science of Composting*, CRC Press LLC, Florida, U.S.A.

Erriquens F.G., 2005, Metodi analitici per la valutazione delle modificazioni a carico della sostanza organica nel corso del processo di compostaggio, Tesi di Dottorato di Ricerca in Produttività e Sostenibilità Ambientale in Agricoltura presso l'Università degli Studi di Perugia.

Erriquens F.G., Gigliotti G., 2007, Lo stato della conoscenza sulle biomasse in Umbria. Atti del convegno. Impegno formativo della Facoltà di Agraria nel settore delle biomasse. Aula Magna della Facoltà di Agraria Perugia, 21 Febbraio, Il compostaggio di qualità: evoluzione della sostanza organica e parametri di qualità 108-119.

Genevini P. L., 1998, Compost e agricoltura, Ricerche & Risultati Valorizzazione dei progetti di ricerca 1994/1997. Fondazione Lombardia per l'Ambiente.

Gigliotti G., 2007, Lo stato della conoscenza sulle biomasse in Umbria. Atti del convegno. Impegno formativo della Facoltà di Agraria nel settore delle biomasse.

Aula Magna della Facoltà di Agraria Perugia, 21 Febbraio, Produzione ed uso di fertilizzanti da biomasse 139-146.

Gigliotti G., Kaiser K., Guggenberger G. and Haumaier L., 2002, Differences in the chemical composition of dissolved organic matter from waste material of different sources. *Biol Fertil Soils* 36:321-329.

Iannotti D.A., Grebus M.E., Toth B.L., Madden L.V., Hoitink H.A.J., 1994, Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *Journal of Environmental Quality* 23, 1177–1183.

Journal of the Woods End Research Laboratory, 2000, Interpretation of waste & compost tests. 1(4).

LabVIEW, National Instruments Corporation, 2005, Austin, Texas.

Legge 11 novembre 1996, n.574, Nuove norme in materia di utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e di scarichi dei frantoi oleari, G.U. n. 265 del 12 novembre 1996.

Mathur S.P., Owen G., Dinel H. and Scritzer M., 1993, Determination of compost biomaturity. *Biological Agriculture and Horticulture*, 10: 65-85.

Namkoong Wan, Eui-Young Hwang, Jun-Gyo Cheong, Jung-Young Choi., 1999, A comparative Evaluation of Maturity Parameters for Food Waste Composting. *Compost Science & Utilization*, 7(2): 55-62.

Paredes C., Bernal M.P., Cegarra J., Roig A., 2002, Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes, *Bioresource Technology* 85:1-8. Elsevier.

Porceddu P.R., Babucci V., 2007, Variazione dell'umidità e del potere calorifico per differenti modalità di stoccaggio delle potature – Atti del convegno nazionale della III, V e VI sezione dell'AIIA “Tecnologie innovative nelle filiere: orticola, vitivinicola e olivicola-olearia” Pisa e Volterra 5-7 settembre.

Porceddu P.R., Babucci V., Dionigi M., 2006 Confronto tecnico ed economico su diverse possibilità di raccolta delle potature di vite e olivo – Atti del Convegno “Esperienze italiane, risultati del progetto COFIN “Filiera biomassa – energia in Italia” politiche locali in atto – Ancona 20, 21 dicembre.

Porceddu P.R., Babucci V., 2006 Se la centrale di raccolta è vicina trinciare biomassa conviene – *L'Informatore Agrario* n. 43.

Porceddu P.R., Bolli P., Babucci V., 2006 Biomass from olive tree pruning to produce energy – Second International Seminar “Biotechnology and quality of olive

tree products around the Mediterranean basin”, Marsala, Mazara del Vallo 5-10 novembre.

Porceddu P.R., Babucci V., Rosati L., 2006, L’imballatura delle potature di vite per fini energetici – Giornate di studio “Innovazione delle macchine e degli impianti nel settore agro-alimentare per un’agricoltura multifunzionale nel rispetto dell’ambiente”, Anacapri 5-6 giugno.

Porceddu P.R., Babucci V., 2005, Un cantiere di raccolta delle potature di olivo per un utilizzo energetico – Convegno Nazionale AIIA 2005 “L’ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell’area mediterranea”, Catania 27-30 giugno.

Proietti P., Nasini L., Famiani F., 2007, Residui e sottoprodotti organici una risorsa da valorizzare. Atti del workshop “Dai residui vegetali zootecnici ed urbani energia per il territorio” Palazzo Trinci Foligno, 25 Ottobre 2007. Possibili usi della sansa 60-65.

Proietti P., Nasini L., Ranieri F.T., Balduccini A.M., Cassanelli A., 2005, L’utilizzo dei reflui oleari nel nuovo panorama normativo, Edizioni UNAPROL. Campagna finanziata con il contributo della Comunità Europea Reg. (CE) n. 1331/2004.

Roig A., Cayuela M.L., Sàncnez-Monedero M.A., 2005, An overview on olive mill wastes and their valorisation methods, Waste Management 26:960-969. Elsevier.

Said-Pullicino D., Erriquens F.G., Gigliotti G., 2006, Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity, Bioresource Technology 98:1822-1831.

Sàncnez-Monedero M.A., A.Roig, C. Paredes, M.P. Bernal., 2000, Nitrogen Transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Bioresource Technology, 78: 301-308.

Senesi N., Miano T.M., Brunetti G., 1996, Humic-like Substances in Organic Amendments and Effects on Native Soil Humic Substances. In A. Piccolo (ED), Humic Substances In Terrestrial Ecosystem, Elsevier Science Amsterdam Netherlands.

Servili M., Pannelli G., Guelfi P., Nottiani G., 2003, Indicazioni per il miglioramento qualitativo e la valorizzazione della produzione olivicola in Umbria, Editrice Pliniana.

Vallini G., Pera M., Valdrighi M., 1994, Biostabilizzazione ossidativa della sostanza organica: ecologia microbica e gestione biotecnologica del processo di compostaggio, Atti delle giornate europee di studio sull’ambiente: Ingegneria della trasformazione in compost, Bari, 26-27 Ottobre.

Zmora-Nahum S., Markovitch O., Tarchitzky J., Chen Y., 2005, Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity, *Soil Biology and Biochemistry* 37, 2109–2116.

Zucconi F., Pera A., Forte M., De Bertoldi M., 1981, Evaluating Toxicity of Immature Compost, *Biocycle* 22, 54-57.