

**RELAZIONE TECNICA FINALE
PROGETTO**

**“ECOMPOST-Il compostaggio aziendale
dei sottoprodotti della filiera olivicola-
olearia e vitivinicola: da problema a risorsa”**



**Misura 1.2.4 PSR UMBRIA 2007-2013
Domanda SIAN: 94751367577
Domanda SIAN rettificata: 94751901433**

INDICE

RIASSUNTO	pg. 3
ABSTRACT	pg. 4
1 INTRODUZIONE	pg. 5
1.1 I SOTTOPRODOTTI DELLE FILIERE OLIVICOLE E VITIVINICOLE E LE PROBLEMATICHE LEGATE AL LORO SMALTIMENTO	pg. 5
1.1.1 Le sanse	pg. 5
Caratterizzazione delle sanse vergini	pg. 8
Problematiche legate allo smaltimento	pg. 10
Utilizzazione agronomica delle sanse	pg. 11
Normativa di riferimento per l'utilizzazione agronomica dei reflui oleari	pg. 13
1.1.2 Le potature di olivo	pg. 20
1.1.3 I sottoprodotti della filiera viti-vinicola	pg. 21
1.2 IL COMPOSTAGGIO DEI SOTTOPRODOTTI DELLE FILIERE OLIVICOLA-OLEARIA E VITIVINICOLA	pg. 22
1.3 IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO	pg. 27
1.3.1 Fasi del compostaggio	pg. 28
1.3.2 Microbiologia del processo	pg. 30
1.3.3 Requisiti del substrato di partenza	pg. 32
1.3.4 Preparazione della miscela iniziale	pg. 34
1.3.5 I sistemi tecnologici di compostaggio	pg. 35
1.3.6 Indici di stabilità e maturità del compost	pg. 39
1.3.7 Evoluzione dei parametri chimico-fisici durante il processo di compostaggio	pg. 43
1.4 NORMATIVA SUL COMPOST	pg. 49

1.4.1 Evoluzione normativa	pg. 49
1.4.2 Allegato 2 della 75/2010	pg. 54
1.4.3 Ultimo aggiornamento dell'allegato 2 della 75/2010	pg. 58
1.5 IL PROGETTO ECOMPOST	pg. 62
1.5.1 Obiettivo del progetto	pg. 63
1.5.2 Azioni e fasi previste	pg. 64
1.5.3 Partners	pg. 65
1.5.4 Risultati attesi	pg. 66
2 SCOPO DEL PROGETTO	pg. 67
3 METODOLOGIE APPLICATE	pg. 68
3.1 LE PROVE DI COMPOSTAGGIO	pg. 68
3.1.1 I cumuli	pg. 70
3.2 METODI ANALITICI	pg. 80
4 RISULTATI	pg. 88
4.1 CUMULO A	pg. 88
4.2 CUMULO B	pg. 93
4.3 CUMULO C	pg. 97
4.4 CUMULO D	pg. 101
4.5 CUMULO E	pg. 104
4.6 CUMULO F	pg. 108
4.7 CUMULI G E H	pg. 112
5 CONCLUSIONI	pg. 117
6 BIBLIOGRAFIA	pg. 120

RIASSUNTO

Le filiere olivicola-olearia e vitivinicola rappresentano, per la Regione Umbria, un'importante risorsa economica. Tuttavia da queste derivano ingenti quantità di sottoprodotti, i quali non trovano alcuna reale utilizzazione all'interno delle aziende, che al contrario devono farsi carico dei costi e delle problematiche legate al loro smaltimento. Ciò è particolarmente rilevante per la sansa vergine a causa delle problematiche che derivano dalle sue caratteristiche chimico-fisiche ed aglie levati valori di umidità di alcune tipologie.

La necessità di valorizzare tali "scarti", guidata dalla prospettiva di uno sviluppo sostenibile, ha portato alla realizzazione del progetto Ecompost, inserito nell'ambito della Misura 1.2.4. del PSR per l'Umbria 2007/2013. Tale progetto si pone come obiettivo specifico l'ottenimento di diversi tipi di compost di qualità derivanti da sottoprodotti della filiera olivicola-olearia, viti-vinicola e zootecnica, da utilizzare come ammendanti per colture arboree e come materiale sostitutivo alla torba impiegata nel florovivaismo, implementando inoltre sistemi di compostaggio semplificati in grado di operare a livello aziendale.

Il compostaggio è una tecnologia consolidata, eco-compatibile ed economicamente sostenibile in grado di produrre ottimi ammendanti da matrici organiche di scarto, i quali, apportati al terreno, favoriscono il bilancio della sostanza organica ripristinandone la fertilità fisica, chimica e biologica. Risulta perciò una soluzione concreta ed innovativa alla valorizzazione di tali sottoprodotti in grado di sottrarli alla logica dello smaltimento ed inserendoli in circuiti virtuosi di recupero che permettano di chiudere, all'interno dell'azienda, il ciclo del carbonio organico, con benefici non solo economici ma anche, e soprattutto, ambientali.

Sono stati monitorati i parametri chimico-fisici di sei diverse prove di compostaggio realizzate a partire da substrati provenienti da tali filiere, al fine di valutare il corretto andamento del processo di ognuna e caratterizzare i compost finali da esse ottenuti con i parametri dettati dal D.lgs. 75/2010, in modo tale da verificarne la qualità sia dal punto di vista legislativo che agronomico.

ABSTRACT

The olive oil and wine represent an important economic resource for the Umbria Region. However, from these derives a huge quantity of byproducts, which do not find any effective utilization inside the enterprises, so they have to bear the costs and problems related to their disposal. This fact is extremely relevant for olive husk, because of the issues related to its chemical-physical features and its high moisture content.

The need to exploit these wastes, led by a perspective of sustainable development, brought to the realization of the “Ecompost” project. This project has as a specific purpose the obtainment of different kinds of compost derived by byproducts from olive oil and wine production, to be used as soil improvers for the cultivation of trees and as substitute material of the peat used in floriculture, implementing also simplified composting system able to operate in the enterprise field.

Composting is a consolidated technology, environmentally and economically sustainable, able to product excellent soil improvers from discarded organic matrices which favor the balance of the organic substance, restoring the physical, chemical and biological fertility. For this reason it is a concrete and innovative solution to the development of such byproducts, removing them from the problem of the disposal and including them in virtuous circles of recovery able to end, inside the enterprise, the cycle of organic carbon, with both economical and environmental benefits.

This work is focused on the monitoring of chemical and physical parameters of six different composting, which have been realized from the substrates coming from olive-mill and wine, in order to evaluate the trend of the process of each one and to distinguish the final composts obtained by them, so as to verify the quality both from Italian law and agronomic perspective.

1 INTRODUZIONE

1.1 I SOTTOPRODOTTI DELLE FILIERE OLIVICOLA-OLEARIA E VITIVINICOLA E LE PROBLEMATICHE LEGATE AL LORO SMALTIMENTO

Le filiere olivicole e vitivinicole in Umbria rappresentano un punto di forza dell'economia regionale, assumendo importanza non solo per l'aspetto economico, ma anche paesaggistico, ambientale e sociale. Infatti sono circa 30.000 gli ettari di oliveti, 12.000 gli ettari di vigneti, 270 i frantoi e 199 le aziende vitivinicole (dati ISTAT 2010).

Tuttavia da tali filiere derivano ingenti quantità di sottoprodotti, il cui smaltimento presenta crescenti difficoltà.

I sottoprodotti della filiera olivicola-olearia sono costituiti essenzialmente da residui di potatura, per quanto concerne la fase agricola, e da sanse vergini (refluo solido) ed acque di vegetazione (refluo liquido) per la fase della trasformazione. I sottoprodotti della filiera vitivinicola sono costituiti anch'essi da residui di potatura, ma anche da vinacce e raspi che derivano dai processi di trasformazione.

1.1.1 Le sanse

La sansa è il sottoprodotto solido ottenuto dall'estrazione meccanica dell'olio extra-vergine di oliva, è costituita dalla parte fibrosa del frutto e dai frammenti di nocciolo ed ha caratteristiche ed umidità differenti a seconda del processo di estrazione adottato.

La sansa vergine si rende disponibile, annualmente, nell'arco di un ristretto lasso di tempo compreso tra la metà di ottobre e quella di dicembre. Considerato il dato medio relativo alla produzione di olive raccolte annualmente in Umbria (40.291 ton, ISTAT 2011), e il coefficiente di resa della sansa vergine (45% del peso delle olive), si possono stimare quantitativi di sansa prodotta pari a circa 18.131 ton/anno.

I sistemi principalmente utilizzati per ottenere l'estrazione dell'olio extra-vergine di oliva dalle paste gramolate, possono essere divisi in sistemi discontinui (sistemi tradizionali a pressione) e sistemi continui (centrifugazione delle paste). Tali

sistemi differiscono, oltre che per la resa e per la qualità dell'olio prodotto, anche per la quantità e per la composizione dei sottoprodotti generati.

Infatti dagli impianti tradizionali a pressione, dove non è prevista l'aggiunta di acqua di processo, derivano circa 30-35 kg di sanse vergini, con un contenuto di acqua variabile tra 25 e 30%, e circa 56-58 kg di acque di vegetazione, ogni 100 kg di olive molite (tabella 1.1). Tuttavia la natura discontinua del processo (bassa capacità operativa) e le problematiche relative alla minor qualità degli oli prodotti, hanno portato al progressivo abbandono dei sistemi tradizionali a pressione, che si sono evoluti verso sistemi continui, più sostenibili dal punto di vista economico ed ambientale ed in grado di ottenere oli di maggiore qualità organolettica.

Nei sistemi continui l'estrazione dell'olio è attuata attraverso centrifugazione della pasta in un tamburo cilindrico con una estremità tronco-conica ruotante ad asse orizzontale, detto comunemente decanter. Secondo le specifiche tecniche si distinguono tre tipi fondamentali di decanter:

- a 3 fasi (tradizionale), da cui si estraggono olio, sansa ed acqua;
- a 2 fasi, da cui si estraggono olio e sansa umida, possono lavorare senza aggiunta di acqua e non producono acque di vegetazione come sottoprodotto del processo di estrazione dell'olio;
- a 3 fasi con risparmio di acqua (ultima generazione).

Il decanter tradizionale a 3 fasi separa tre frazioni: le sanse, il mosto d'olio, contenente una piccola quantità d'acqua e destinato ad ulteriore centrifugazione per l'ottenimento dell'olio extra-vergine e l'acqua di vegetazione. In questi impianti da 100 kg di olive si ottengono 55-57 kg di sanse vergini, con un contenuto di acqua del 48-54%, e circa 110 kg di acqua di vegetazione e di lavaggio (tabella 1.1). Tale sistema costituisce la tipologia più obsoleta di impianto continuo e presenta diversi svantaggi: la notevole quantità di acqua necessaria per il processo, con conseguente produzione di rilevanti quantitativi di acque di vegetazione e la perdita di un'elevata quantità di polifenoli, importantissima frazione antiossidante, che vengono dilavati e perciò allontanati dall'olio a discapito della qualità organolettica (Servili et al., 2003). L'esigenza di migliorare la qualità dell'olio e di ridurre la produzione delle acque di vegetazione ha spinto a considerare modelli più funzionali di decanter. In questa ottica sono state introdotte centrifughe a 2 fasi e a 3 fasi con risparmio di acqua.

Negli impianti continui a 2 fasi la pasta oleosa viene convogliata in un decanter che, lavorando senza aggiunta di acqua di processo (o comunque con un massimo del 10% in peso della pasta oleosa), porta alla produzione di sanse, con un'umidità variabile dal 60 al 64% (sansa umida), e mosto d'olio, sottoposto a successiva centrifugazione. Con questi impianti si arriva a produrre circa 75-80 kg di sansa umida per ogni 100 kg di olive lavorate. Il sistema consente di ridurre i problemi connessi allo smaltimento delle acque di vegetazione (Servili et al., 2003). Tuttavia le sanse prodotte, essendo molto umide, risultano difficili da movimentare e da smaltire.

Recentemente sono stati introdotti sistemi innovativi atti a ridurre 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). Questi sono rappresentati dai cosiddetti decanter “a tre fasi con risparmio di acqua”, in grado di operare con una minima aggiunta di acqua di processo (massimo il 20% in peso rispetto al peso di olive trattate). La lavorazione separa tre frazioni, sanse umide (56-60 kg/100 kg di olive con umidità del 50-52%), acqua di vegetazione (33-35 kg/100 kg di olive), e mosto d'olio (tabella 1.1). Il vantaggio di tale sistema è l'ottenimento:

- di un quantitativo inferiore di acque di vegetazione e con una minore carica inquinante;
- di oli di maggiore qualità;
- di una sansa con un minore contenuto di umidità, vicino a quello del sistema tradizionale a tre fasi, di più facile gestione ed utilizzazione.

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	0-10	56-58	30-35	25-30
Estrazione con decanter tradizionale a tre fasi	20	50	80-110	55-57	48-54
Estrazione con decanter a due fasi	20	0-10	0	75-80	60-64
Estrazione con decanter a tre fasi con risparmio di acqua	20	0-20	33-35	56-60	50-52

Tabella 1. 1: Bilancio di massa nell'estrazione meccanica dell'olio di oliva CNR Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo, sezione di Perugia.

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 (tabelle 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 fasi "con risparmio di acqua" 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 (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 1.2: caratteristiche chimico-fisiche della sansa vergine proveniente da impianto a tre fasi (Proietti 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

Tabella 1.3: caratteristiche chimico-fisiche della sansa vergine proveniente da impianto a due fasi (Roig et al., 2006).

Problematiche legate allo smaltimento

Il problema dello smaltimento dei reflui dell'industria olearia è particolarmente avvertito nei paesi del Mediterraneo, responsabili di circa il 99% della produzione mondiale annuale di olio d'oliva. Tra questi la Spagna, l'Italia, la Grecia ed il Portogallo sono i maggiori rappresentanti con circa il 75% della produzione mondiale (Roig et al., 2006).

Le sanse, così come le acque di vegetazione, sono sottoprodotti che ad oggi non trovano alcuna reale utilizzazione all'interno della filiera olivicola, che al contrario deve farsi carico dei costi e delle problematiche legate al loro smaltimento. Infatti, se fino al recente passato la sansa costituiva una, seppur minima, fonte di reddito per il frantoiano, il quale poteva indirizzarla ai sansifici che provvedevano all'estrazione, mediante l'uso di esano, dell'olio in esse ancora contenuto, ad oggi costituisce solo un onere di cui il produttore deve farsi carico.

Infatti l'evoluzione dei sistemi di estrazione dell'olio, dai discontinui (estrazione per pressione) ai continui (centrifugazione delle paste), con conseguente aumento del contenuto in acqua delle sanse, ha determinato problematiche nello smaltimento delle sanse vergini più umide, derivanti specialmente dagli impianti a due fasi. Questo tipo di sanse vengono rifiutate dai sansifici che, proprio a causa dell'elevato contenuto in acqua, richiedono un preliminare processo di essiccamento o l'uso di macchine centrifughe, rendendo perciò il processo economicamente troppo oneroso.

Inoltre si è assistito ad una sostanziale chiusura di molti sansifici, dovuta alla loro insostenibilità a livello ambientale ed alla riduzione dei consumi, e quindi del valore commerciale, dell'olio di sansa, evolutisi nella preferenza dei consumatori verso oli di maggiori qualità.

Oltre a ciò è in significativa crescita presso i frantoi, la pratica della denocciolatura della sansa vergine per l'estrazione del cosiddetto "nocciolino", utilizzabile a fini energetici grazie al suo elevato potere calorifero. Ma tale soluzione ha come principale ostacolo la difficoltà di valorizzare/smaltire la polpa di sansa denocciolata, la quale presenta la problematica, così come la sansa vergine, di non venire ritirata dai sansifici, accentuando la difficoltà del suo smaltimento.

Tale problematica, risulta ancor più rilevante per i frantoi di medio-grandi dimensioni, i quali vedevano, nel conferimento ai sansifici, l'unica possibilità di

recuperare una certa remunerazione dallo smaltimento della sansa vergine. È comunque importante sottolineare che, in uno scenario di sviluppo sostenibile, risulta ormai impensabile l'utilizzazione di sanse vergini per la produzione di olio di sansa. Tale sistema, infatti, non solo aggrava l'impatto ambientale a causa delle emissioni inquinanti dei sansifici, ma porta ad un ulteriore sottoprodotto, la sansa esausta, la quale, derivando da un'estrazione di tipo chimico, risulta incompatibile con una qualsiasi utilizzazione agronomica. Questa viene di solito utilizzata come combustibile, destinazione, tra l'altro, non consentita per le sanse vergini.

Ad oggi la pratica più frequente per lo smaltimento delle sanse vergini è lo spandimento diretto in campo della sansa tal quale.

Utilizzazione agronomica delle sanse

L'utilizzazione delle sanse come ammendante su terreni agrari sembra offrire ottime prospettive ma, ovviamente, è necessario valutare, in relazione alle caratteristiche del tipo di reflu, tutte le implicazioni sul piano colturale e sul terreno per ottimizzarne l'uso ed evitare rischi ambientali. Le sanse, infatti, hanno un pH acido, un elevato contenuto in polifenoli e in sostanze grasse ed essendo un sottoprodotto solido può risultare difficile una distribuzione uniforme delle stesse in campo, cosa che non avviene con le acque di vegetazione che possono essere utilizzate per la fertirrigazione. Inoltre le sanse provenienti da impianti a due fasi, accentuano tale problematica, a causa della formazione di grumi che possono prolungare il periodo di fitotossicità rispetto alle acque di vegetazione (Bonari et. al., 2000).

I sottoprodotti della lavorazione delle olive sono ricchi in potassio e, in minore misura, in azoto, fosforo e magnesio, possono quindi sostituire o integrare gli elementi nutritivi apportati con la concimazione minerale (Nasini et. al., 2013). Inoltre, l'elevato contenuto in sostanza organica consente il miglioramento delle proprietà fisiche e chimiche del suolo. Ciò risulta estremamente importante considerando la progressiva riduzione del contenuto di sostanza organica nei suoli sottoposti a coltivazioni intensive.

Le ricerche condotte sull'utilizzo in campo, come ammendante, delle sanse vergini tal quali, hanno evidenziato che la distribuzione di quantità moderate di reflui eseguita razionalmente, nei modi prescritti delle vigenti normative, non hanno indotto conseguenze negative, né sul terreno né sulla produzione (Proietti et

al., 2005). In particolare hanno mostrato una temporanea immobilizzazione delle forme disponibili di N, che tuttavia compaiono in quantità apprezzabili dopo 120 giorni dalla distribuzione (Bonari et. al., 2000), permettendo di considerare tali reflui come fertilizzanti a lento rilascio. Per quanto concerne il P ed il K, è stato rilevato che in ogni caso il contenuto di tali elementi nelle forme più disponibili per le piante aumenta con la dose distribuita (López-Pineiro et al., 2008).

La sansa derivante dal sistema a due fasi è spesso ricca di sostanze potenzialmente fitotossiche e batteriostatiche (come polifenoli e acidi organici), e presenta concentrazioni saline elevate che possono causare impatti negativi sulle colture e sull'ambiente nei casi in cui la sansa sia direttamente utilizzata senza aver subito stabilizzazione (Gigliotti et al., 2011). Tuttavia la potenziale fitotossicità, non è risultata rilevante nel lungo periodo (Gigliotti et al., 2011): infatti i principali effetti fitotossici sono suscettibili di verificarsi solo durante la prima settimana di applicazione (Blagodatskaya et. al, 2008). Inoltre è importante considerare che le concentrazioni di metalli pesanti presenti nelle sansi vergini sono rilevantemente più basse di quelle che si trovano in rifiuti organici usati come ammendanti (rifiuti urbani, fanghi di depurazione). Infatti le analisi effettuate non hanno mai messo in evidenza quantità determinabili di Cr, Ni, Co, Pb e Cd, suggerendo quindi un basso rischio di inquinamento del suolo o delle acque sotterranee (Gigliotti et al., 2011).

Nonostante per tali caratteristiche i reflui di frantoio possono essere considerati ottimi ammendanti, è necessario osservare anche i possibili effetti negativi che l'apporto di sostanza organica non stabilizzata provoca al terreno. Infatti la presenza di molecole facilmente attaccabili dai microrganismi (zuccheri, amminoacidi ecc) possono provocare il *priming effect*, con la conseguente mineralizzazione spinta della sostanza organica presente nel terreno (Bonciarelli & Bonciarelli, 2003).

Altre problematiche sono relative invece alla gestione di tali sottoprodotti: infatti se per problemi organizzativi, i reflui oleari non possono essere distribuiti sul terreno subito dopo la loro produzione, è necessario stocarli in bacini o vasche a perfetta tenuta. Tale operazione si rende necessaria al fine di evitare fenomeni di percolazione delle masse, con conseguenti danni a livello ambientale. Inoltre, da alcune prove eseguite sullo stoccaggio della sansa vergine, è emersa una forte riduzione dei sali solubili con conseguente perdita di valore delle sue

caratteristiche nutrizionali: il K ed il P idrosolubili si riducono a circa il 20% del contenuto iniziale (Bonari et al., 2000).

La massa così stoccata può, inoltre, andare incontro a fenomeni fermentativi, con conseguente formazione di cattivi odori.

Infine non vanno trascurati i limiti normativi a cui va incontro lo spandimento della sansa vergine tal quale: infatti, trattandosi di un sottoprodotto dell'agroindustria, l'uso delle sanse vergini in agricoltura è regolamentato da apposita legislazione, tanto nazionale quanto regionale.

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. 75 del 2010 e in riferimento alla sansa, questa viene classificata come "ammendante vegetale semplice non compostato" se risponde ai requisiti riportati in tabella (1.4).

N.	Denominazione del tipo	Modo di preparazione e componenti essenziali	Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Note
3.	Ammendante vegetale semplice non compostato	Prodotto non fermentato a base di cortecce e/o di altri materiali vegetali, come sanse, pule, bucce con esclusione di alghe e di altre piante marine.	Umidità: massimo 50% pH compreso tra 6 e 8,8 C organico sul secco: minimo 40% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale Torba: massimo 20% sul tal quale.	Umidità pH C organico sul secco Azoto organico sul secco Contenuto in torba sul tal quale Salinità Deve essere dichiarata la granulometria	È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro ≥ 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro ≥ 5 mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q.; $n^{(1)} = 5$; $c^{(2)} = 0$; $m^{(3)} = 0$; $M^{(4)} = 0$; - Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)} = 5$; $c^{(2)} = 1$; $m^{(3)} = 1000$ CFU/g; $M^{(4)} = 5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$

Tabella 1.4: Caratteristiche ammendante vegetale semplice non compostato (Allegato 2 della 75/2010).

Sono inoltre fissati i seguenti limiti relativi al contenuto di metalli pesanti (tabella 1.5):

Metalli	mg/kg s.s.
Piombo totale	140
Cadmio totale	1,5
Nichel totale	100
Zinco totale	500
Rame totale	230
Mercurio totale	1,5
Cromo esavalente	0,5

Tabella 1.5: valore massimo consentito per il contenuto di metalli pesanti per l'ammendante vegetale semplice non compostato (Allegato 2 della 75/2010).

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".

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.

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.

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 e delle sanse 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'ideale 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.

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 citata D.G.R., 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 interrato 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.

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 stessa 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 manifestino 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.

In conclusione, se i risultati ottenuti da prove agronomiche di pieno campo spingono a considerare con una certa prudenza la pratica dello smaltimento direttamente in campo delle sanse tal quali, dall'altro mettono in evidenza alcune

interessanti caratteristiche di questi reflui dal punto di vista della biofertilità, che suggeriscono ulteriori possibili prospettive di valorizzazione attraverso processi di biostabilizzazione.

1.1.2 Le potature di olivo

Da una pianta di olivo adulto, vengono asportati in media da 10 a 20 kg di ramaglia all'anno a seconda della struttura e dimensione degli alberi. In Umbria, i quantitativi risultanti dalle potature, si aggirano intorno alle 18.310 ton ss/anno (dati ISTAT 2012).

Il periodo in cui i residui si rendono disponibili va da febbraio ad aprile e gli interventi possono essere annuali, biennali o triennali, a seconda della varietà, dei parametri ambientali e del livello di specializzazione dell'impianto. Il prodotto che ne risulta è costituito sia da rami più esterni alla pianta e quindi più sottili (ramaglie), sia da tronchetti di più grande dimensione. Mentre quest'ultimi vengono recuperati come legna da ardere, le ramaglie subiscono altre destinazioni come raccattatura e bruciatura ai margini del campo, o trinciatura ed interrimento. La prima pratica è regolata dal decreto legislativo n. 152 del 2006 integrato dal decreto legge n. 91 del 24 giugno 2014, il quale rende non più illecita la combustione in loco di residui di materiale agricolo e forestale, purché questa sia effettuata in piccoli cumuli ed in quantità giornaliera non superiore a tre metri cubi per ettaro, e solo in aree, periodi ed orari specifici individuati da apposita ordinanza territoriale, al fine di non costituire rischio di incendio.

Tale attività, tuttavia, comporta elevati carichi di lavoro e non apporta alcun beneficio né in termini agronomici né ambientali.

Le procedure di trinciatura ed interrimento consentono, al contrario, di arrecare un certo quantitativo di sostanza organica al terreno. Tuttavia il materiale lignocellulosico apportato presenta un rapporto carbonio/azoto ($C/N > 40$) piuttosto elevato, dovuto ad un contenuto di N inferiore a 1,2%. I microrganismi che attaccano tale materiale, non trovando quantitativi di azoto sufficienti alla loro moltiplicazione, lo prelevano dall'ambiente circostante (soluzione circolante, complesso assorbente) che ne viene ad essere impoverito e lo risintetizzano nella loro biomassa (Bonciarelli & Bonciarelli, 2003). Un rapporto C/N ottimale si aggira intorno a 10, e può essere raggiunto con adeguati quantitativi di N di cui i residui delle potature sono sprovvisti.

1.1.3 I sottoprodotti della filiera viti-vinicola

Nel settore vitivinicolo sono presenti da un lato i residui della potatura (sarmenti), tra le biomasse di origine agricola, e dall'altro i sottoprodotti della vinificazione, tra i residui della trasformazione agro-industriale.

La potatura "a secco" della vite si esegue durante la stagione invernale, principalmente nei mesi di gennaio-febbraio. A questa si aggiunge la "potatura verde" eseguita durante la stagione estiva. In Umbria, i quantitativi risultanti dalle potature della vite, si aggirano intorno alle 9.820 ton ss/anno (dati ISTAT 2012).

I sottoprodotti della lavorazione dell'uva sono i raspi, i vinaccioli, le bucce, la feccia. I vinaccioli e le bucce vengono anche detti vinacce. La stima complessiva delle vinacce, compresi raspi e fecce, può essere effettuata adottando un coefficiente di resa del 14% del peso dell'uva lavorata (ENEA, 2009). La quantità di uva destinata a vinificazione in Umbria nel 2010 è pari a 128.065 tonnellate (ISTAT, 2010). Pertanto i sottoprodotti della trasformazione dell'uva ammontano a 17.929 ton, e sono attualmente conferiti principalmente alle distillerie.

Anche lo smaltimento di tali sottoprodotti presenta problematiche, sebbene non strettamente legate alla loro pericolosità quanto a problemi dovuti alla loro natura organica e alla produzione di grandi quantitativi concentrati in limitati periodi dell'anno.

In base alla normativa attualmente in vigore (Decreto Ministeriale n. 5396 del 27/11/2008, in attuazione dei regolamenti (CE) n. 479/2008 e (CE) n. 555/2008) i sottoprodotti derivanti dalla vinificazione sono soggetti ad una definita modalità di gestione che prevede l'obbligo della consegna, totale o parziale, in distilleria oppure dello smaltimento sotto controllo per usi alternativi. La loro detenzione è quindi vincolata da specifiche disposizioni, le quali prevedono:

- il divieto di detenzione delle vinacce negli stabilimenti enologici dal trentesimo giorno dalla fine del periodo vendemmiale;
- l'obbligo di eliminazione delle fecce entro il trentesimo giorno dallo sfecciamento del vino;
- la corretta gestione ambientale dello stoccaggio temporaneo in appositi container oppure su platee cementate, con pozzetto di raccolta del relativo percolato.

Lo spandimento diretto in campo è consentito ma le modalità di applicazione di tale metodologia di utilizzo fanno comunque riferimento alla “direttiva nitrati”.

Tuttavia tale normativa è applicabile solo a quei residui che rientrano nella categoria di “sottoprodotti della vinificazione”. Possono essere perciò esclusi da tali disposizioni i raspi, nel caso in cui questi non siano sottoposti al processo di torchiatura, ma siano separati dalla vinaccia prima o dopo il processo di vinificazione (nota MIPAAF prot. 5155 del 20 luglio 2011). Ai sensi dell’articolo 185 del decreto legislativo n.152/06, possono quindi rientrare tra le esclusioni dal campo di applicazione della normativa in materia di rifiuti, rientrando nella categoria di “materiali agricoli naturali non pericolosi” e possono essere “utilizzati in agricoltura o per la produzione di energia, mediante metodi che non danneggino l’ambiente o la salute”. Lo smaltimento più comunemente attuato è la trinciatura mediante trinciaraspi e il successivo interrimento in campo. Conseguenza negativa di tale pratica è, il già citato, squilibrio del rapporto C/N, responsabile del depauperamento della fertilità del suolo.

1.2 IL COMPOSTAGGIO DEI SOTTOPRODOTTI DELLE FILIERE OLIVICOLA-OLEARIA E VITIVINICOLA

Alla luce dei problemi economico-ambientali causati dai sottoprodotti delle filiere olivicola-olearia e vitivinicola, e in particolare delle sanse vergini, consegue la necessità di una gestione integrata delle biomasse prodotte. Il compostaggio dei sottoprodotti di tali filiere, risulta perciò essere una soluzione concreta ed innovativa, in grado di valorizzare tali “scarti”, sottraendoli alla logica dello smaltimento ed inserendoli in circuiti virtuosi di recupero che permettano di chiudere, all’interno dell’azienda, il ciclo del carbonio organico, con benefici economici ed ambientali.

Il compostaggio è una tecnologia consolidata, eco-compatibile ed economicamente sostenibile in grado di produrre ottimi ammendanti da matrici organiche di scarto, anche derivanti da reflui oleari (Paredes et al., 2005). Il positivo contributo del compost impiegato come ammendante nei suoli agrari è

ormai assodato da innumerevoli prove sperimentali e dimostrative condotte da diversi centri di studio.

Infatti, sperimentazioni effettuate sull'utilizzo agronomico del compost hanno avuto inizio già dagli anni '90, le quali hanno dimostrato come l'apporto di ammendante da rifiuti solidi urbani si è rivelato efficace nel miglioramento della struttura e della porosità del suolo. Tale compost, tuttavia, presentava un'elevata concentrazione di metalli pesanti in quanto proveniente da raccolta indifferenziata (Gigliotti et al., 1996), problematica di portata decisamente inferiore per quegli ammendanti derivati da altre tipologie di matrici organiche.

In generale l'impiego del compost quale ammendante del terreno garantisce un buon tenore di sostanza organica, la quale consente di ripristinare o conservare nel suolo la fertilità:

- fisica, migliorandone la struttura e di conseguenza la porosità, la capacità di ritenzione idrica, la circolazione dell'aria, il drenaggio, la lavorabilità e limitando gli effetti erosivi e del *run-off* con successiva perdita di suolo e desertificazione;
- chimica, attraverso il graduale rilascio di elementi nutritivi messi a disposizione delle colture e il contributo, grazie alla fissazione temporanea di carbonio, alla lotta contro il cambiamento climatico;
- biologica, apportando elementi utili non solo alla vita vegetale ma anche a quella dei microrganismi, principali attori della fertilità del suolo (Pagliai et al., 1995; Pagliai et al., 2008; Tabaglio et al., 2008).

Per quanto riguarda i reflui oleari, va considerato, che alcune esperienze di compostaggio condotte in purezza con sole sanse non hanno fornito risultati positivi. Questa matrice, infatti, presenta valori di umidità elevati con conseguenze negative sul processo di stabilizzazione biologica, dovuta ad una difficile diffusione di aria nella massa, che orienta il processo verso la fermentazione anaerobica. In tale biomassa, inoltre, si riscontra normalmente un pH acido, legato all'elevato contenuto di grassi, che subiscono processi di irrancidimento con conseguente acidificazione. Per poter degradare substrati di questo tipo seguendo un processo aerobico, si rende necessario l'apporto di matrici strutturanti quali sono i residui ligno-cellulosici che, aumentando la porosità della massa, migliorano la circolazione di aria ed acqua al suo interno

(Gigliotti et al., 2011). Risulta quindi particolarmente interessante predisporre la miscelazione delle sanse con altre matrici, quali i raspi, la paglia e i residui di potatura. A tal riguardo recenti sperimentazioni hanno dimostrato che miscele realizzate con adeguata proporzione di sansa umida (proveniente da decanter a due fasi), potature di olivo e paglia di cereali, si sono rivelate idonee ad un corretto avvio e successivo avanzamento del processo di compostaggio. Inoltre dalle analisi chimico-fisiche sul compost finale ottenuto, sono emersi risultati positivi quali: elevati contenuti in sostanza organica ed in acidi umici e fulvici, azoto presente principalmente in forma organica (positivo dal punto di vista agronomico e ambientale), una concentrazione molto bassa di metalli pesanti (risultato comunque atteso data la natura delle matrici compostate) ed un sostanziale innalzamento del pH rispetto alla miscela iniziale da attribuirsi alla mineralizzazione delle molecole più facilmente degradabili (Gigliotti et al., 2011). Il compost finale è perciò risultato idoneo sia da un punto di vista agronomico che in rispondenza dei requisiti di Legge. Essendo la miscela costituita principalmente da sansa vergine, la maggior problematica che poteva riscontrarsi, era la fitotossicità legata alle elevate concentrazioni di composti fenolici ed acidi grassi, di cui tali sottoprodotti sono particolarmente ricchi. Tuttavia, durante tutto il processo di compostaggio, si assiste ad una riduzione della concentrazione di tali composti di circa l'80% dopo 120 giorni dall'avvio del compostaggio (Altieri et al., 2011), con conseguente decremento nella fitotossicità. A conferma di ciò, il test di germinabilità che ha registrato valori superiori al 60% nel compost finale ottenuto (Gigliotti et al., 2011).

Per ciò che concerne l'utilizzo in agricoltura di compost ottenuti da sanse vergini, la sperimentazione risulta ancora carente. Tuttavia prove in pieno campo, condotte su mais, lattuga e spinacio, con ammendanti derivanti da reflui oleari (acque di vegetazione e sansa da sistema di estrazione tradizionale) hanno dimostrato produttività comparabili a quelle ottenute nei controlli con fertilizzazione minerale standard delle piante, applicando dosi di 60 t/ha e 80 t/ha (Tomati et al., 1996). Suoli ammendati con reflui oleari trasformati in compost, consentono di incrementare la produzione di grano sia in termini di semi e numero di spighe per unità di superficie che di peso unitario del seme (Brunetti et al., 2007). Ulteriori studi hanno riportato che il compost da reflui oleari presenta sostanze umiche simili a quelle presenti nel suolo: ciò indicherebbe che l'apporto costante di

compost può incrementare la quantità e la qualità della sostanza organica del suolo (Senesi et al., 2007). Prove condotte su coltivazioni di lattuga e pomodoro hanno dimostrato come i nutrienti contenuti negli ammendanti a base di reflui oleari, sono presenti in forme disponibili per le piante, capaci di apportare sostanze nutritive in modo adeguato anche a colture a ciclo breve. Hanno inoltre mostrato proprietà tipiche dei fertilizzanti a lenta cessione, evidenti soprattutto nelle prove su pomodoro che hanno beneficiato per un tempo più lungo (150 gg) rispetto alla lattuga (45 gg) dell'effetto fertilizzante (Altieri et al., 2011).

Recentemente alcune sperimentazioni condotte dai Dipartimenti di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, di Ingegneria Civile e Ambientale e di Chimica, Biologia e Biotecnologie dell'Università degli Studi di Perugia hanno messo in luce interessanti aspetti sugli effetti dell'applicazione di compost, proveniente da sansa ad elevato contenuto di umidità (75%) e residui di potature, sulla produzione di oliveti non irrigati. Infatti, in tre anni di applicazione del compost, si è assistito ad un aumento dell'attività vegetativa, come conseguenza dell'aumento del contenuto di N e di P e K disponibili (Nasini et al., 2013), e della produttività delle piante. La maggiore attività vegetativa, che si è evidenziata principalmente nel più alto numero di germogli per pianta, è interessante per il conseguente aumento del sequestro del carbonio negli alberi di ulivo (Proietti et al., 2014). Risultati positivi si sono riscontrati anche sulla qualità dell'olio finale, evidente in un aumento del contenuto di fenoli totali, importantissimi nel migliorare la *shelf-life* ed il valore salutistico dell'olio (Proietti et al., in press).

La sperimentazione ha inoltre dimostrato che l'applicazione di reflui oleari compostati e non compostati, non influenza la quantità e la biodiversità delle comunità microbiche residenti nel terreno, suggerendo che tali sottoprodotti, noti per le loro proprietà antimicrobiche, non determinano inibizione alla crescita dei microrganismi del suolo (Gigliotti et al., 2012; Proietti et al., 2015).

Grazie all'utilizzo di compost derivati da sansa, residui di potature, raspi e altri sottoprodotti, la filiera agricola può quindi essere sgravata dagli oneri relativi al loro smaltimento e beneficiare della disponibilità di un ammendante di basso costo e di grande utilità per mantenere un'adeguata fertilità nei terreni, altrimenti soggetti ad un progressivo e pericoloso impoverimento conseguente all'abbandono delle pratiche di letamazione e sovescio utilizzate in passato, ma attualmente non più sostenibili per problemi economici e logistici.

L'impiego di questi sottoprodotti compostati è proponibile anche per coltivazioni condotte secondo i criteri dell'agricoltura biologica, nelle quali la fertilizzazione con prodotti commerciali costituisce un onere economico molto elevato che va spesso a inficiare la redditività delle colture.

L'uso dei compost da reflui oleari potrebbe assumere un ruolo di primo piano anche in ambito vivaistico, non solo come ammendante per le colture in piena terra, ma anche in sostituzione, totale o parziale, della torba quale materiale per la realizzazione di substrati da invasatura. Infatti, la torba rappresenta attualmente una delle componenti più utilizzate nella realizzazione dei terricci di coltivazione delle piante in vaso. Tuttavia, ad oggi la sua estrazione, e quindi il suo impiego, è stato oggetto di riserve dettate da motivazioni ambientali legate allo sfruttamento dei siti naturali. Tali limitazioni, unite all'esaurimento di alcune torbiere e gli aumenti dei costi di trasporto, hanno anche comportato un sensibile aumento del prezzo della torba.

Da ciò, l'opportunità di sostituire la torba con altri materiali, a parità di prestazioni, sta diventando, quindi, molto interessante anche in considerazione dell'importanza del florovivaismo in Italia.

La ricerca, a tal riguardo, ha portato a conclusioni soddisfacenti nell'uso di compost contenenti reflui oleari utilizzati in sostituzione della torba: gli ammendanti sperimentali, oltre a surrogare la torba, hanno arricchito in elementi nutritivi i terricci in misura maggiore rispetto a quest'ultima che, in genere, contiene quantità irrilevanti di elementi della nutrizione vegetale (Boldrin et al., 2010). Inoltre, ha dato risultati soddisfacenti anche in termini di sviluppo e qualità commerciale delle piante raggiungendo gli standard commerciali attesi (Altieri et al., 2011).

Considerando, quindi, i benefici ambientali ottenibili sia in termini di minore rischio di inquinamento legato allo smaltimento dei reflui delle filiere olivicola-olearia e vitivinicola, sia in termini di miglioramento della fertilità dei suoli, l'utilizzo in agricoltura di tali residui organici risulta essere una pratica valida e virtuosa.

1.3 IL PROCESSO DI COMPOSTAGGIO

Il compostaggio consiste nella stabilizzazione biologica in fase solida di scarti, residui e rifiuti organici putrescibili, in condizioni aerobiche tali da garantire alla matrice in trasformazione il passaggio spontaneo attraverso una fase di autoriscaldamento, dovuto alle reazioni microbiche. Il processo trasforma il substrato di partenza in un prodotto stabile, simile all'humus, chiamato compost. Si tratta, essenzialmente, dello stesso processo di trasformazione che in natura ricorre spesso in diversi contesti quali, per esempio, la lettiera dei terreni forestali ovvero i cumuli di letame in maturazione, con la differenza che, nelle applicazioni tecnologiche, esso viene opportunamente incrementato ed accelerato (Laraia et al., 2002)

Nell'ambito delle biotecnologie ambientali, il compostaggio, senza aggettivazione alcuna, sta quindi ad indicare il processo bioossidativo aerobico ed esotermico promosso dai microorganismi naturalmente associati alle matrici sottoposte al trattamento, in conseguenza del quale il substrato organico eterogeneo di partenza subisce, in tempi ragionevolmente brevi, profonde trasformazioni nelle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche (maturazione), con perdita della putrescibilità (stabilizzazione), parallelamente ad una parziale mineralizzazione e umificazione (Vallini, 1995) (figura 1.1).

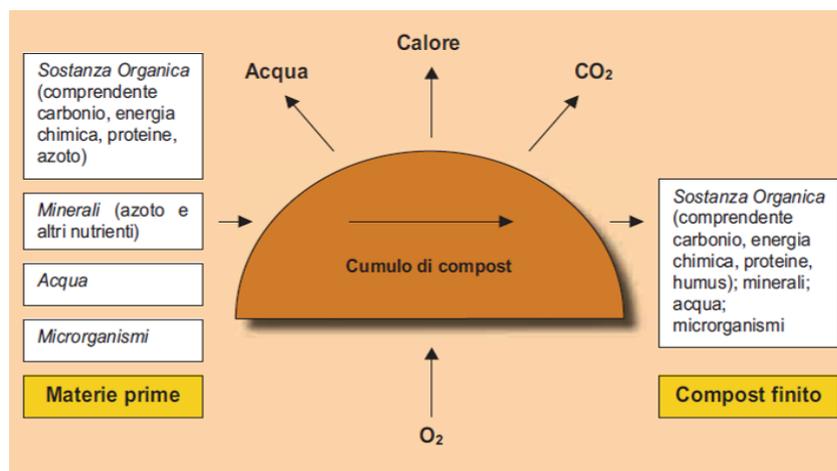


Figura 1.1: Rappresentazione schematica del processo di

È necessario sottolineare che il compostaggio è un processo:

- aerobico: necessita di ossigeno per la mineralizzazione delle componenti a maggiore fermentescibilità, con conseguente stabilizzazione della biomassa;
- esotermico: produce calore che dovrebbe essere allontanato dal sistema, onde evitare il surriscaldamento della biomassa in eccesso rispetto ai valori ottimali di range delle temperature (Centemero, 2002).

Il processo di compostaggio è oggi di grande interesse sotto diversi punti di vista:

- dal punto di vista ecologico-ambientale, perché trasforma biomasse provenienti dal ciclo urbano, da selezione di reflui agroalimentari, agricoli e zootecnici, nonché fanghi derivanti dalla depurazione di acque reflue civili, in materiali utili alla fertilizzazione dei terreni agricoli perché non più fitotossici, apporti di nutrienti e miglioratori delle caratteristiche strutturali del suolo;
- dal punto di vista igienico-sanitario, perché il materiale organico viene sanificato nel processo, grazie alle elevate temperature che si generano;
- dal punto di vista energetico, dato che il processo si autosostiene energeticamente con l'energia derivante dalla demolizione dei legami biochimici delle molecole organiche presenti (Chiumenti & Chiumenti, 2002).

1.3.1 Fasi del compostaggio

In condizioni ottimali, il compostaggio si svolge attraverso tre stadi principali:

1. una fase mesofila di latenza (che può protrarsi da poche ore ad alcuni giorni) durante la quale la matrice iniziale viene colonizzata dai microorganismi, il cui metabolismo finisce per causare il progressivo riscaldamento del substrato;
2. una fase termofila o di stabilizzazione (di durata variabile da alcuni giorni a diverse settimane) nel corso della quale si ha un'intensa attività bioossidativa;
3. una fase di raffreddamento o maturazione (di durata da poche settimane ad alcuni mesi) durante la quale intervengono le reazioni di umificazione e la biomassa perde le caratteristiche di fitotossicità.

Da un punto di vista gestionale, l'intero processo di biostabilizzazione viene però, di solito, suddiviso in due archi temporali distinti (tabella 1.6):

- Fase attiva o di bioossidazione comprendente la fase mesofila di latenza e la fase termofila.
- Fase di maturazione coincidente con la fase di raffreddamento (Centemero, 2002).

	Fase di Bioossidazione	Fase di Maturazione
Tipologia di sostanza organica degradata	Molecole semplici, prontamente biodegradabili e fermentescibili, quali zuccheri, acidi organici, aminoacidi ecc.	Molecole organiche più complesse, sostanze recalcitranti rimaste nella matrice, quali lignina, amido e cellulosa
Tipo di microrganismi coinvolti	Microrganismi principalmente termofili (batteri, funghi ecc.)	Microrganismi prevalentemente mesofili (batteri, funghi, attinomiceti, eumiceti, ecc.)
Effetti della degradazione	Produzione di H ₂ O, CO ₂ , NH ₃ , intermedi fitotossici ed elevata produzione di sostanze odorogene (acidi grassi volatili, composti solforati ecc.)	Produzione di H ₂ O, CO ₂ , NH ₃ in quantità limitata
Temperatura	Molto elevata, oltre i 60°C	Si abbassa (40-45 °C) fino a temperatura ambiente
Prodotto finale	Compost fresco	Compost maturo

Tabella 1.6: caratteristiche delle due fasi costituenti il processo di compostaggio (Giubertoni, 2009).

Il processo di compostaggio inizia non appena il substrato organico viene correttamente messo in cumulo con la fase di destrutturazione della frazione organica più facilmente degradabile (zuccheri, acidi organici, amminoacidi) ad opera dei microrganismi aerobi, con consumo di ossigeno, liberazione di CO₂ e produzione di energia.

L'effetto più evidente di questa fase è l'aumento della temperatura che, dai valori caratteristici dell'ambiente circostante, passa a 60°C e oltre, in misura tanto più repentina e persistente quanto maggiore è la fermentescibilità del substrato e la disponibilità di ossigeno atmosferico. L'aerazione del substrato è quindi una condizione fondamentale per la prosecuzione del processo microbico. La liberazione di energia sotto forma di calore comporta un'elevata richiesta di ossigeno da parte dei microrganismi che entrano in gioco per la degradazione della sostanza organica, con formazione di composti intermedi come acidi grassi

volatili a catena corta (acido acetico, propionico e butirrico), tossici per le piante ma rapidamente metabolizzati dalle popolazioni microbiche.

Il prodotto che si ottiene al termine di questa fase è il *compost fresco*, un materiale igienizzato e sufficientemente stabilizzato grazie all'azione dei batteri aerobi. Con la scomparsa dei composti più facilmente biodegradabili, le trasformazioni metaboliche di decomposizione interessano le molecole organiche più complesse e si attuano con processi più lenti, anche a seguito della morte di una buona parte della popolazione microbica dovuta a carenza di nutrimento. È questa la seconda fase, chiamata anche fase di maturazione, nel corso della quale i processi metabolici diminuiscono di intensità e accanto ai batteri sono attivi gruppi microbici costituiti da funghi e attinomiceti che degradano attivamente amido, cellulosa e lignina, composti essenziali quali precursori delle sostanze umosimili. In questa fase le temperature si abbassano a valori di 40-45°C per poi scendere progressivamente, stabilizzandosi poco al di sopra della temperatura ambiente.

Nel corso del processo, la massa viene colonizzata anche da organismi appartenenti alla microfauna, che agiscono nel compostaggio attraverso un processo di sminuzzamento e rimescolamento dei composti organici e minerali, diventando così parte integrante della buona riuscita di questo complesso processo naturale.

Il prodotto che si ottiene è il *compost maturo*, una matrice stabile di colorazione scura, con tessitura simile a quella di un terreno ben strutturato, ricca in composti umosimili e dal caratteristico odore di terriccio di bosco (Ruol et al., 2009).

1.3.2 Microbiologia del processo

I microrganismi presenti naturalmente nella matrice organica sono i veri artefici del processo di compostaggio e pertanto è estremamente rilevante la conoscenza dei diversi gruppi microbici coinvolti.

Il compostaggio è un processo dinamico che evolve attraverso fasi sequenziali nelle quali cambiano i parametri di processo; questo genera una conseguente evoluzione nella comunità microbica che, ad ogni fase, vede la prevalenza di uno o dell'altro gruppo microbico. La popolazione di microrganismi che promuove il compostaggio è molto complessa, sia in termini di gruppi fisiologici, che di entità tassonomiche nell'ambito dei singoli gruppi. I microrganismi che operano nel

processo di compostaggio possono essere classificati in relazione ai regimi di temperatura nei quali svolgono la loro attività metabolica. Si distinguono tre classi: microrganismi psicrofili (temperatura compresa tra 0°C e 30°C), mesofili (temperatura compresa tra 30°C e 45°C) e termofili (temperatura compresa tra 45°C e 75°C) (Ruol et al., 2009).

Durante il compostaggio, al variare della temperatura di processo, variano le popolazioni microbiche attive: nelle prime fasi, che comportano una rapida metabolizzazione dei composti carboniosi più semplici (monosaccaridi, lipidi e peptidi), operano microrganismi psicrofili e mesofili.

Successivamente, a causa dell'innalzamento della temperatura, conseguente ad una intensa attività metabolica, si ha una forte selezione tra le popolazioni batteriche a vantaggio delle specie termofile (Chiumenti & Chiumenti, 2002).

I maggiori raggruppamenti di microrganismi che partecipano al processo di compostaggio sono:

- batteri;
- funghi;
- alghe;
- protozoi.

Tra le diverse popolazioni di microrganismi che si alternano all'interno della matrice organica nelle diverse fasi del processo di compostaggio si ha una interazione sinergica: i prodotti metabolici di una tipologia di microrganismo possono essere usati come nutrimento di altri. Un utile esempio è quello dei microrganismi secernenti amminoacidi e vitamine, essenziali per la vita di altri ceppi microbici. Anche gli insetti e altri invertebrati sono utili alla disgregazione fisica di molte strutture organiche rendendole, così, disponibili per i batteri (Vuorinen et al., 1999).

In merito alla distribuzione dei microrganismi nel cumulo, i batteri si ritrovano un po' ovunque, mentre i funghi e gli attinomiceti si trovano prevalentemente nello strato superficiale (0,05-0,15 m dalla superficie). In termini numerici i batteri rappresentano la parte dominante degli agenti del processo, risultando di circa cento volte superiori alle altre categorie di microrganismi (Piontek, 2000).

Tra i diversi microrganismi operanti nei processi di compostaggio, inoltre, appare indispensabile attuare una distinzione tra i microrganismi aerobi che necessitano di ossigeno per il loro metabolismo e i microrganismi anaerobi che sono attivi in

ambienti privi di ossigeno. Il compostaggio è, per definizione, un processo aerobico; dovrebbe, quindi, essere caratterizzato dalla presenza di soli microrganismi aerobi. Anche in condizioni ottimizzate, tuttavia, nei cumuli operano anche popolazioni anaerobie, che producono composti gassosi come metano, acido butirrico ed altri acidi grassi volatili (VFA) dal caratteristico odore sgradevole. L'importante è che queste attività siano di entità controllata, dato che con il prevalere di processi anaerobi si avrà una produzione di compost di non elevata qualità (Sommer et al., 2000).

1.3.3 Requisiti del substrato di partenza

La corretta combinazione dei materiali di partenza è necessaria per far sviluppare un processo di compostaggio ottimale e raggiungere un buon compost maturo.

I caratteri fondamentali da controllare sono quelli elencati nella tabella 1.7:

1. Rapporto C/N: quando il valore di azoto è troppo basso rispetto al carbonio disponibile per le biosintesi, le popolazioni microbiche hanno uno sviluppo limitato ed il processo procede lentamente. L'eccessiva concentrazione di azoto invece, pur stimolando una rapida crescita dei microrganismi ed una intensa attività di degradazione, può creare seri problemi dovuti al rapido esaurimento dell'ossigeno che, a fronte di una aerazione inadeguata, provoca il rapido cambiamento delle condizioni da aerobiche ad anaerobiche. Inoltre, parte dell'azoto in eccesso viene inevitabilmente convertito in ammoniaca, contribuendo non solo ad aggravare il problema delle emissioni maleodoranti, ma anche ad accrescere le perdite di azoto per volatilizzazione, con riduzione di questo importante elemento di fertilità nel compost ottenuto (Laraia et al., 2002).
2. Umidità: al di sotto di un contenuto in acqua del substrato compreso tra il 35 ed il 40%, le reazioni microbiche di degradazione e trasformazione sono fortemente limitate. Con valori dell'umidità inferiori al 30% si ha, in pratica, l'arresto di qualsiasi attività. D'altra parte, un'umidità eccessivamente elevata, magari associata ad una insufficiente aerazione del substrato, rappresenta la causa più comune a cui imputare l'instaurarsi di condizioni anaerobiche e, di conseguenza, la formazione di emissioni maleodoranti, per

non parlare dei problemi relativi alla qualità del prodotto finale (Laraia et al., 2002).

3. Concentrazione O₂: se superiore al 10% garantisce la condizione di aerobiosi indispensabile per il metabolismo batterico aerobio, inoltre riduce i fenomeni putrefattivi, favorisce la dissipazione del calore e allontana l'eccesso di umidità sotto forma di vapore (Centemero, 2002).
4. Dimensione delle particelle: poiché l'estensione dell'area superficiale aumenta con la riduzione della pezzatura, il tasso di decomposizione aerobica si innalza in una matrice organica quanto più piccole sono le dimensioni delle particelle; particelle troppo piccole però rischiano di compromettere la porosità ed è quindi necessario trovare una situazione di compromesso. Risultati soddisfacenti si ottengono normalmente quando il diametro medio delle particelle della matrice sottoposta a compostaggio oscilla tra 0,5 e 5 cm.
5. pH: il processo di compostaggio avviene con pH estremamente variabili, ma i valori ottimali per la miscela di partenza sono compresi tra 5,5 e 9,0, considerato che i batteri preferiscono un pH vicino alla neutralità e che i funghi preferiscono pH acidi. All'inizio del processo si ha un naturale spostamento di pH verso valori acidi a seguito della formazione di CO₂ e di acidi organici; successivamente il pH sale fino ad 8-9 a causa dell'eliminazione di CO₂ con l'aerazione ed a seguito della decomposizione delle proteine con produzione di ammoniaca (Chiumenti & Chiumenti, 2002).
6. Temperatura: nel compostaggio è il parametro che meglio indica l'andamento del processo ed è anche quello di più facile monitoraggio. Oltre che per una corretta trasformazione della sostanza organica da parte dei microrganismi ai fini di renderla disponibile per gli usi agronomici, va ricordato che la fase termofila è molto importante nel processo, perché porta all'igienizzazione del substrato e all'inattivazione dei semi di erbe infestanti e dei parassiti delle piante.
7. Densità apparente: è uno dei tre parametri che definiscono la porosità libera della massa (percentuale di volume occupata dall'aria) insieme al contenuto di umidità e all'altezza del cumulo.

Parametro	Intervallo di compatibilità	Intervallo ottimale ^(a)
Rapporto C/N	20 - 40	25 - 30
Umidità	45 - 65%	57 - 63%
Concentrazione di O ₂	≥ 5%	≥ 10%
Dimensione delle particelle (Ø cm)	0,5 - 5,0	Variabile ^(b)
pH	5,5 - 9	6,5 - 8,5
Temperatura di processo (°C)	25 - 70	35 - 70
Densità apparente (kg/m ³)	≤ 750	≤ 650

Tabella 1.7: Condizioni del substrato raccomandante per una buona gestione del processo di compostaggio e, di conseguenza, per la stabilizzazione della matrice di partenza in tempi rapidi.

^(a) Condizioni riferite alle condizioni per un compostaggio rapido. Non è peraltro raro che, al di fuori di questi valori, si possa comunque attuare il processo con risultati soddisfacenti;

^(b) Dipende dallo specifico materiale di partenza impiegato, alle dimensioni delle particelle e/o dalle condizioni climatiche.

1.3.4 Preparazione della miscela iniziale

Nella preparazione della miscela iniziale da inviare al compostaggio si considerano tre componenti:

- il substrato principale, sulle caratteristiche di esso si basa la scelta dei materiali appropriati per la miscela iniziale;
- l'eventuale correttivo o additivo per il bilanciamento dei parametri edafici (nutrimento, reazione, salinità);
- l'agente di supporto (*bulking agent*) che solitamente è materiale legno-cellulosico la cui funzione principale è quella di fornire struttura e porosità alla miscela di partenza.

Una volta noti i contenuti in umidità delle matrici, le quantità delle singole parti si calcolano con la seguente formula:

$$U_{\text{mix}} = \frac{(m_1 \times u_1) + (m_2 \times u_2) + \dots + (m_n \times u_n)}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Dove:

U_{mix} = umidità da raggiungere nella miscela iniziale.

m_n = peso del materiale n (tal quale).

u_n = contenuto di umidità (%) del materiale n .

Una volta raggiunto il valore prefissato di umidità, mediante tentativi successivi con combinazioni differenti degli ingredienti, si passa al calcolo relativo al rapporto C/N con la formula:

$$R_{\text{mix}} = \frac{m_1 [C_1 \times (100 - u_1)] + m_2 [C_2 \times (100 - u_2)] + \dots + m_n [C_n \times (100 - u_n)]}{m_1 [N_1 \times (100 - u_1)] + m_2 [N_2 \times (100 - u_2)] + \dots + m_n [N_n \times (100 - u_n)]}$$

Dove:

R_{mix} = rapporto C/N della miscela iniziale da sottoporre a compostaggio.

m_n = peso del materiale n (tal quale).

u_n = contenuto di umidità (%) del materiale n .

C_n = contenuto di carbonio (%) del materiale n .

N_n = contenuto di azoto (%) del materiale n .

1.3.5 I sistemi tecnologici di compostaggio

Compostaggio in cumuli con rivoltamento della biomassa

Il compostaggio secondo questo metodo si attua disponendo la matrice di partenza in lunghe andane (windrows), normalmente a sezione triangolare o trapezoidale più o meno rastremata, le quali sono movimentate o rivoltate periodicamente.

L'altezza delle andane varia a seconda delle caratteristiche del substrato e della macchina movimentatrice e va da un minimo di 1,2 m a oltre i 3 m (figura 1.2 a).

Compostaggio in cumuli statici areati passivamente

Questo tipo di compostaggio prevede il trasporto dell'aria all'interno del substrato in trasformazione attraverso un apparato di tubi forati, immersi nel cumulo, aventi le estremità aperte che terminano all'esterno di esso. L'aria fluisce nei tubi e, per

mezzo di fori aperti per tutta la lunghezza della porzione immersa nella matrice organica, si diffonde attraverso il profilo del cumulo, grazie ai moti convettivi creati dai gas caldi, che si portano verso gli strati esterni per poi fuoriuscire alla superficie del substrato.

Compostaggio in cumuli statici con aerazione forzata

Il metodo dei cumuli statici aerati si basa sull'uso di apparati che costringono l'aria a fluire forzatamente attraverso la matrice in compostaggio. Questi apparati consentono, in generale, un maggiore controllo del processo. Il rifornimento di aria nella matrice organica in trasformazione può essere attuato in due modi: attraverso aspirazione di aria dalla superficie del cumulo (suction o vacuum induced ventilation) o per insufflazione forzata di aria nel substrato (blowing o forced pressure ventilation) (figura 1.2 b). Il sistema per aspirazione consente l'invio dell'aria esausta ad un impianto di trattamento per l'abbattimento dei cattivi odori.

Compostaggio in bioreattori

Con il termine compostaggio in bioreattore si indica la stabilizzazione della biomassa in particolari strutture di contenimento, dove tecniche di movimentazione e di aerazione forzata della matrice sono variamente combinate. La maggior parte di questi apparati assolve solo ad una prima parziale omogeneizzazione e trasformazione delle matrici organiche. La biostabilizzazione aerobica vera e propria del materiale in uscita dai reattori avviene, di solito, attraverso uno dei numerosi sistemi in cumulo.

Da un punto di vista delle applicazioni tecnologiche, le più diffuse tipologie di bioreattori sono:

- i cilindri rotanti: si tratta di grandi cilindri (3 m di diametro e 35 m di lunghezza) disposti orizzontalmente e sistemati su speciali ingranaggi che ne consentono un lento movimento rotatorio. Il substrato viene alimentato attraverso una tramoggia sistemata ad una estremità del cilindro. La matrice organica, a seguito del movimento rotatorio, viene miscelata e spinta attraverso tutta la lunghezza del cilindro, per poi venire scaricata all'estremità opposta a quella di carico (figura 1.2 c).

- I silos: sono reattori cilindrici, verticali, di solito completamente chiusi, giornalmente uno speciale apparato estrattore rimuove dal fondo del reattore la porzione di substrato parzialmente stabilizzata, mentre nuova matrice fresca viene alimentata dall'alto. L'aerazione è attuata per mezzo di un sistema di diffusori posti al fondo del silo. Una volta arrivata al culmine del reattore, l'aria esausta viene convogliata in un filtro per l'abbattimento degli odori.
- Le biocelle: prevedono un preliminare trattamento della biomassa substrato all'interno di veri e propri containers scarrabili, da sistemarsi in apposita platea cementata, dotati di un impianto di aerazione che consente l'adduzione di aria all'interno del reattore attraverso il pavimento ad intercapedine, perforato. Ogni biocella può contenere da 30 a 60 m³ di materiale, il quale viene caricato attraverso un portellone, successivamente chiuso in maniera ermetica (figura 1.2 d).
- Le trincee dinamiche areate: sono definite anche letti agitatori (agitated beds); questi sistemi combinano l'aerazione controllata del substrato con il periodico rivoltamento dello stesso. Il compostaggio delle matrici alimentate avviene in strette corsie o vasche (trincee), delimitate da pareti che corrono soltanto lungo l'asse longitudinale. Sul pavimento delle vasche, corrono, in senso longitudinale, delle canalette che ospitano il sistema di diffusione dell'aria, connesso con una serie di soffianti. Più corsie possono essere sistemate, in batteria, una adiacente all'altra e sul culmine di ogni parete è posizionata una rotaia. Una macchina rivoltatrice si muove a cavallo di ogni corsia, seguendo il binario formato dalle due pareti di contenimento adiacenti (figura 1.2 e, figura 1.2 f). Le macchine utilizzate per il ribaltamento della massa possono anche essere costituite da coclee inclinate verticali: l'inclinazione, unita al moto rotatorio delle coclee, permette al materiale di salire su di esse per poi essere lasciato cadere più avanti grazie al movimento orizzontale lungo la trincea (figura 1.3). Questo tipo di bioreattori si è rivelato particolarmente efficace nel trattamento di biomasse ad elevato contenuto di umidità.

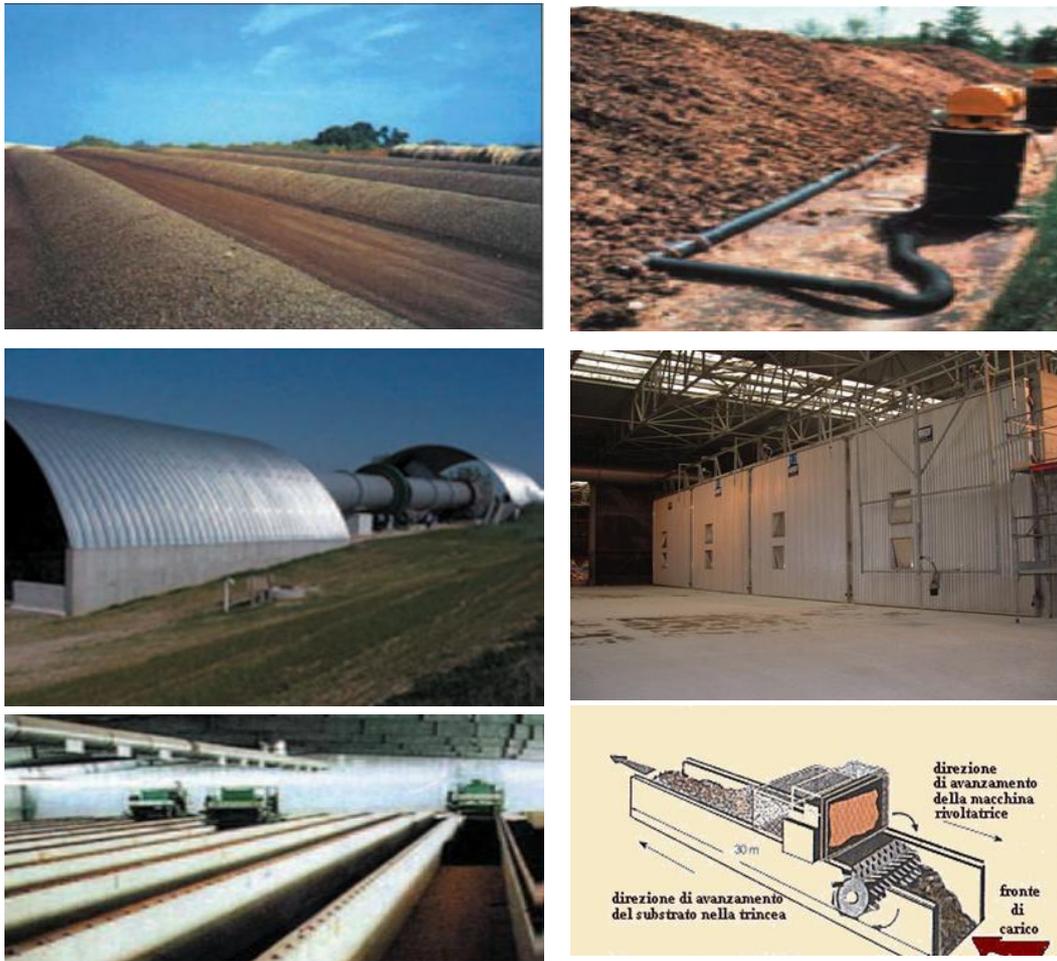


Figura 1.2: a) sistema di compostaggio in cumuli con rivoltamento della biomassa; b) dettaglio di areazione forzata; c) cilindri rotanti; d) biocelle; e) trincee dinamiche; f) schema di trincee dinamica areata.



Figura 1.3: trincee dinamica areata con macchina rivoltatrice costituita da coclee inclinate verticali

1.3.6 Indici di stabilità e maturità del compost

Una sostanza organica si definisce stabile quando tutti i processi di degradazione biologica risultano rallentati, il grado di disponibilità della sostanza organica all'ossidazione microbica definisce la "stabilità" di un compost (Cooperband et al. 2003)

L'aggiunta al terreno di sostanza organica non stabile provoca: riduzione della presenza di ossigeno, carenza di azoto causata dall'elevato rapporto C/N, presenza di acidi organici a basso peso molecolare, incremento della conducibilità elettrica, modificazione della microflora e diminuzione della germinabilità.

Nel corso del processo di compostaggio il consumo orario di ossigeno e, di conseguenza, *l'indice respirometrico* tendono a diminuire come conseguenza della diminuzione della concentrazione di composti organici facilmente degradabili. Per la misura dell'indice di respirazione esistono due tipologie di metodi, quelli statici e quelli dinamici. I primi si differenziano dai secondi per il fatto che la misura del consumo di ossigeno viene fatta in assenza di aerazione forzata della massa. L'ottenimento di condizioni ottimali di disponibilità di ossigeno, assicurate nei metodi dinamici dall'aerazione forzata, fanno oggi preferire questi ai metodi statici che tra l'altro, è stato dimostrato, sottostimano i consumi di ossigeno e quindi la stabilità biologica.

Nei metodi a respirometria dinamica l'indice di respirazione viene calcolato tramite la rilevazione del consumo di O₂ da parte dei microrganismi: il campione di compost viene sottoposto ad insufflazione di aria in sistema chiuso, fino a raggiungere condizioni ottimali necessarie per l'attivazione del processo (O₂ >10%), successivamente l'insufflazione viene bloccata e si misura l'O₂ consumato (figura 1.4). Tale sistema impiega circa una settimana per dare una risposta analitica.

RESPIROMETER 3022 - SCHEME

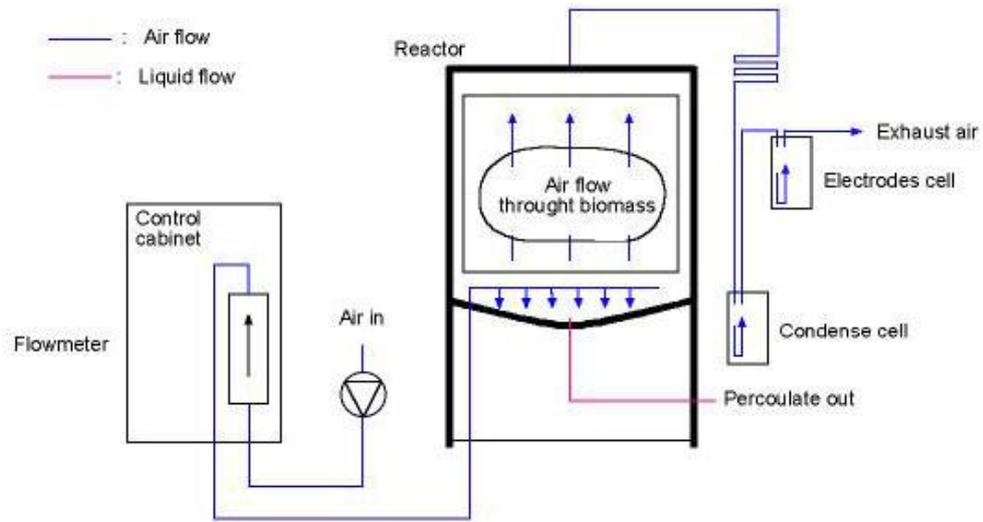


Figura 1.4: schema di respirometro per il calcolo dell'indice di respirazione (metodo dinamico).

Un metodo di determinazione dell'indice di respirazione di recente introduzione è il *SOUR* (Specific Oxygen Uptake Rate) che misura la concentrazione di O_2 disciolto in una sospensione acquosa di compost a valori ottimali di pH, temperatura e nutrienti. Il metodo prevede l'alternanza, nel corso della prova, di fasi di ossigenazione forzata e fasi di misura della concentrazione di O_2 nel mezzo liquido (figura 1.5).

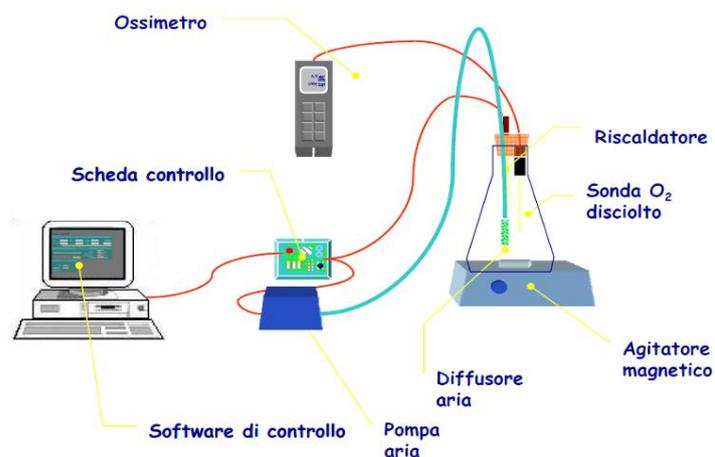


Figura 1.5: allestimento strumentale per la determinazione del SOUR

Per quanto riguarda la maturità del compost questa fa riferimento alla capacità del substrato maturo di sostenere la vita delle piante, quindi di non presentare fenomeni di fitotossicità.

Il metodo usato per la stima della maturità di un compost è *l'indice di germinazione* (GI%) valutato della germinazione e l'accrescimento radicale di semi di *Lepidium sativum* in presenza dell'estratto acquoso del compost da saggiare (Said-Pullicino et al., 2007). Si ricava dalla media dei semi germinati, per la lunghezza radicale in percento rispetto a un testimone in acqua.

$$GI\% = (G_c \times L_c) \times 100 / (G_b \times L_b)$$

Dove:

G_c è la media del numero di semi germinati nel campione.

L_c è la media delle lunghezze delle radichette dei semi germinati nel campione espressa in millimetri.

G_b rappresenta la media del numero dei semi germinati nel testimone in acqua.

L_b è la media delle lunghezze delle radichette dei semi germinati nel testimone in acqua espressa in millimetri.

Il saggio consente di valutare la presenza di sostanze fitotossiche che è correlata negativamente con la maturità del compost. Le sostanze fitotossiche sono rappresentate prevalentemente da composti labili prodotti di trasformazioni intermedie (acido acetico, acidi grassi volatili, fenoli, ecc.) legati anche all'andamento del processo di compostaggio (condizioni di anaerobiosi). Con la maturazione della matrice i prodotti intermedi subiscono processi di mineralizzazione e complessazione evolvendo verso composti più stabili e meno fitotossici. Così un compost con indice di germinazione superiore al 60%, alla diluizione del 30%, è considerato non fitotossico (Chiumenti & Chiumenti, 2002). Altro metodo usato per la definizione della maturità del compost è il *grado di umificazione*. Al progredire del processo di umificazione devono corrispondere, da una parte, la formazione e l'accumulo di sostanze umosimili (che hanno natura prevalentemente fenolica) e, dall'altra, a causa della diminuzione del materiale che viene via via consumato anche nel contemporaneo procedere dei processi di mineralizzazione, la diminuzione della frazione estraibile della sostanza organica

labile. Per la determinazione dell'indice umificazione di norma viene utilizzato il metodo Sequi et al. (figura 1.6).

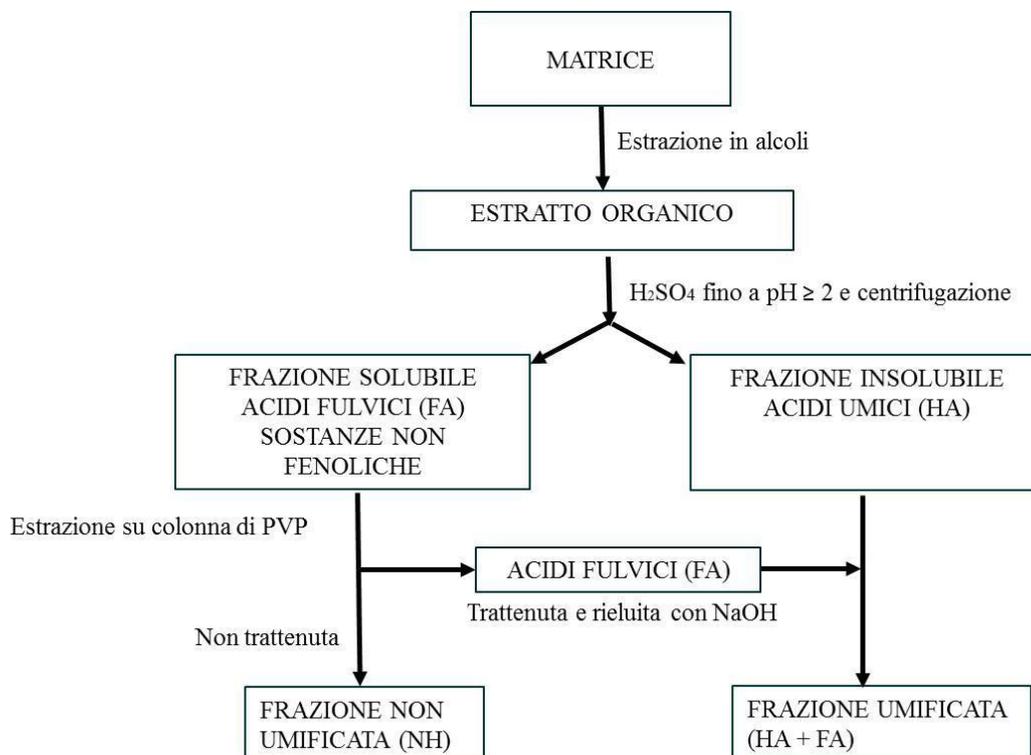


Figura 1.6: Schematizzazione del metodo Sequi: separazione della frazione non umificata (NH) da quella umificata (HA+FA).

$$HI = NH / (HA + FA)$$

Dove:

HI = indice di umificazione.

NH = frazione non umificata.

HA = acidi umici.

FA = acidi fulvici.

HA + FA = frazione umificata.

1.3.7 Evoluzione dei parametri chimico-fisici durante il processo di compostaggio

Umidità

La presenza di acqua è fondamentale durante il compostaggio, è importante perciò che l'umidità nella massa si attesti in un intervallo ottimale compreso tra 45 e 65%. Al di sotto di tali valori, infatti, si rischia di non attivare il processo, di contro con valori superiori c'è il rischio di incorrere in anossia per difficoltà nella circolazione di ossigeno. Durante il processo di compostaggio vi è normalmente una diminuzione dei livelli di umidità dovuti a perdite per evaporazione conseguenti all'attività dei microrganismi. Nel compostaggio di matrici molto umide, come è il caso delle sanse provenienti da sistemi a due fasi e a tre fasi di ultima generazione, è necessario l'apporto di adeguate matrici strutturanti al fine di raggiungere ottimali livelli di umidità per l'instaurarsi del processo.

Solidi volatili (SV)

I solidi volatili rappresentano la frazione organica che volatilizza quando il residuo a 105°C viene messo in muffola a 550°C. Essi forniscono, nel corso del processo di compostaggio, indicazioni riguardanti l'entità di degradazione della sostanza organica essendo calcolati come complemento a 100 delle ceneri. Durante il processo di compostaggio ci si aspetta, perciò, una diminuzione graduale dei solidi volatili e quindi della percentuale di sostanza organica, ed un aumento in concentrazione delle ceneri (frazione inorganica).

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

OM loss è un parametro che permette di misurare la percentuale di sostanza organica degradata dai microrganismi, e quindi persa, durante tutto il processo di compostaggio.

La perdita di OM è calcolata secondo la seguente equazione (Paredes et al. 1999):

$$\text{OM loss (\%)} = 100 - 100 [X_1(100 - X_2)] \div [X_2 (100 - X_1)]$$

Dove X_1 rappresenta il contenuto di ceneri al tempo 1 e X_2 il contenuto di ceneri al tempo 2.

Essendo calcolata a ceneri costanti, durante il monitoraggio del processo si assiste normalmente ad un aumento dei valori percentuali di OM loss.

Nel compostaggio di sanse vergini le perdite più significative di SO si sono riscontrate in particolare durante la fase di maturazione, attestandosi su circa il 48% (Gigliotti et al., 2011), valori vicini alla gamma di perdite (55 e 68%) riportate normalmente per il compostaggio di fanghi di depurazione, reflui zootecnici e sottoprodotti della lavorazione dei frantoi compostati con diversi materiali ligno-cellulosici (Garcia-Gomez et al., 2003).

pH e conducibilità elettrica specifica (CE)

Il processo di compostaggio avviene a pH estremamente variabili ma con valori ottimali della miscela iniziale compresi tra 5,5 e 8. I valori in cui deve rientrare il pH affinché il compost finale possa essere considerato idoneo dal punto di vista legislativo ed agronomico sono compresi tra 6 e 8,8. All'inizio del compostaggio si ha solitamente un naturale spostamento di pH verso valori acidi in genere a causa di condizioni anaerobiche che si instaurano nei materiali di scarto prima dell'inizio del processo di compostaggio, causando la formazione di acidi grassi a basso peso molecolare (Said-Pullicino et al., 2007). Nel compostaggio di matrici provenienti da reflui oleari si riscontrano normalmente valori molto bassi di pH, come conseguenza dell'elevata presenza di composti fenolici (Paredes et al., 1999). Tuttavia nel corso del processo i valori tendono ad innalzarsi fino ad 8-9, ciò è dovuto alla degradazione da parte dei microrganismi dei composti responsabili dell'acidità della massa. Inoltre la mineralizzazione delle proteine, amminoacidi e peptidi porta generalmente al rilascio di ammonio o ammoniaca volatile che contribuiscono ad un aumento del pH (Gigliotti et. al, 2012).

La conducibilità elettrica segnala la presenza di sali solubili in forma ionica. Durante il compostaggio il C viene perso sotto forma di CO₂, tuttavia il contenuto di sali rimane costante. Per questo motivo si assiste ad un aumento in concentrazione di sali nel compost finale dovuto alla diminuzione della matrice. La sansa umida è spesso ricca di concentrazioni saline elevate che possono causare impatti negativi sulle colture e sull'ambiente soprattutto se direttamente utilizzate come fertilizzante (Gigliotti et al., 2012), è importante quindi che livelli elevati non si riscontrino nelle matrici compostate alla fine del processo.

Carbonio organico totale (TOC)

La decrescita del carbonio totale durante il processo di compostaggio è causata dall'attività dei microrganismi nella respirazione aerobica. Questi utilizzando ossigeno molecolare (O_2) liberano la maggior parte dell'energia dal substrato carbonioso, con formazione di anidride carbonica ed acqua.

Essendo l'andamento del C organico piuttosto variabile durante il processo, il valore di TOC può essere interpretato in modo più corretto correggendo il parametro attraverso la seguente formula:

$$TOC_{\text{corretto}} (\% \text{ s.s.}) = TOC (X_1 - X_2)$$

Dove X_1 rappresenta il contenuto iniziale di ceneri e X_2 il contenuto di ceneri al tempo t_2 .

Concretamente la correzione permette di misurare la perdita di carbonio organico totale del campione a ceneri costanti, ci si aspetta quindi una sua costante diminuzione durante il processo.

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto ammoniacale ed azoto organico

Alcuni microrganismi operanti nel processo di compostaggio sono capaci di idrolizzare sostanze azotate complesse come le proteine, ottenendo così composti più semplici quali peptoni, peptidi ed aminoacidi che possono essere più facilmente metabolizzati da un maggior numero di specie microbiche.

L'incorporazione dell'azoto in nuovo materiale cellulare avviene soltanto se è disponibile una sufficiente quantità di carbonio. In condizioni di scarsa disponibilità di substrato carbonioso o assenza di ossigeno, la mineralizzazione dei composti organici contenenti azoto porta invece al rilascio finale di ammoniaca (NH_3), a seguito di deaminazione ossidativa degli aminoacidi.

Quindi, di norma, se non si instaurano condizioni di anaerobiosi e se il rapporto C/N è ottimale, la concentrazione di azoto totale durante il processo di compostaggio dovrebbe restare pressoché costante. Tuttavia un aumento dei valori di TKN nel compost finale possono essere dovuti ad una riduzione della massa in compostaggio, con conseguente aumento in concentrazione, mentre una riduzione dei valori rispetto a quelli iniziali è probabilmente da attribuirsi a perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca e, in forma inferiore, denitrificazione conseguente all'instaurarsi di condizioni anaerobiche (Paredes et al., 1999).

Per quanto riguarda l'azoto in forma organica, durante il processo di compostaggio bisogna attendersi un aumento poiché utilizzato dai microrganismi per la produzione di proteine.

La legislazione sugli ammendanti non da un limite minimo di N totale, ma pone un valore minimo di N organico rispetto all'N totale il quale deve essere $\geq 80\%$.

Rapporto carbonio/azoto

Carbonio e azoto sono naturalmente contenuti nella maggior parte delle matrici compostabili. La loro presenza è fondamentale per il processo, in quanto non sono solo unità strutturali, ma anche fonti di energia per i microrganismi.

La carenza di uno dei due elementi è un fattore limitante per l'attività microbica, nonché per il suo sviluppo. Infatti, i microrganismi eterotrofi utilizzano il carbonio come fonte di energia ma necessitano di azoto per la sintesi delle proteine.

Condizioni del substrato raccomandate per una buona gestione del processo di compostaggio comportano un rapporto C/N compreso tra 25 e 30. Normalmente il carbonio diminuisce in concentrazione per l'allontanamento sotto forma di CO₂, mentre l'azoto rimane pressoché invariato, ci si attende quindi una diminuzione del rapporto C/N durante il processo.

Grado di umificazione (DH)

Uno degli aspetti più importanti nella valutazione dei compost è sicuramente quello del grado di umificazione, al fine di valutare la qualità della sostanza organica apportata al terreno. Maggiore è la percentuale del grado di umificazione, maggiore sarà il carbonio sottoforma di sostanza organica umificata. L'aumento del grado di umificazione porta il materiale organico ad un maggior grado di stabilizzazione, infatti risultando il grado di umificazione dal rapporto tra il contenuto di carbonio organico umico e quello di carbonio organico totale estraibile, tanto il DH è maggiore, tanto maggiore sarà la stabilità raggiunta dalla sostanza organica. Solitamente nel suolo il DH è pari al 75%, nei materiali compostati in genere è inferiore, circa il 60%.

$$DH = [(HA + HF) / TEC] \times 100$$

Indice di germinabilità (GI)

L'indice di germinabilità è il parametro utilizzato per definire la maturità di un compost. Il saggio consente di valutare la presenza di sostanze fitotossiche che è correlata negativamente con la maturità del compost. Il metodo di determinazione si basa sulla fitotossicità di questo, a diluizioni crescenti, su semi di *Lepidium sativum*.

Le sostanze fitotossiche sono rappresentate prevalentemente da composti labili ossia prodotti di trasformazioni intermedie (acido acetico, altri acidi grassi volatili, fenoli, ecc.) legati anche all'andamento del processo di compostaggio (condizioni di anaerobiosi). La problematica della fitotossicità è rilevante nel compostaggio dei reflui oleari poiché particolarmente ricchi di composti fenolici. Tuttavia con la maturazione della matrice i prodotti intermedi subiscono processi di mineralizzazione e complessazione evolvendo verso composti più stabili e meno fitotossici. Così un compost con indice di germinazione superiore al 60%, è considerato non fitotossico dal punto di vista della normativa. È necessario sottolineare che tale valore risulta comunque troppo basso nel caso in cui si volesse utilizzare il compost prodotto in florovivaismo.

Fosforo e Potassio

I sottoprodotti della lavorazione delle olive sono ricchi in potassio ed in minore misura in fosforo (Proietti et al., 2005). Buoni quantitativi possono quindi ritrovarsi nel compost finale. Da sperimentazioni effettuate con compostaggio di sanse provenienti da sistemi a due fasi, si sono infatti riscontrati buoni livelli di P e K nei compost finali ottenuti (2,7 e 5,1 g/kg di P e 7,6 e 33,3 g/kg di K) (Gigliotti et al., 2011). La normativa tuttavia non impone l'obbligo di esplicitare i quantitativi di K e P ma consente di dichiararne i titoli. Nel corso del processo di compostaggio i due parametri tendono a rimanere costanti, un'eventuale crescita corrisponde in realtà ad un aumento in concentrazione, dovuto alla diminuzione del volume totale della massa.

Metalli pesanti

Il D.lgs. 75/2010 pone limitazioni al contenuto di metalli pesanti presenti in qualsiasi tipo di ammendante che si intende commercializzare; infatti compost contenenti elevati valori di metalli pesanti possono portare gravi problemi a livello ambientale se apportati al terreno.

Gli elementi più comunemente coinvolti nei fenomeni di inquinamento sono Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn e Mo. Alcuni (Co, Cu, Mo, Mn, Ni, Zn) risultano essenziali per molti organismi viventi, ma diventano tossici quando le loro concentrazioni superano delle soglie variabili da elemento ad elemento e da organismo ad organismo. Altri invece, quali Cd, Cr VI, Hg, Pb, Sn non risultano a tutt'oggi essenziali per gli organismi viventi. L'origine dei metalli pesanti che alterano la qualità dell'ambiente è riconducibile a varie fonti, tra cui antropiche, civili, industriali nonché agrarie. Molti prodotti impiegati in agricoltura contengono infatti metalli pesanti (concimi, agrofarmaci ecc.). Inoltre i liquami provenienti da allevamenti zootecnici, soprattutto suinicoli, contengono notevoli quantità di Zn e Cu, dato che tali metalli somministrati nella dieta alimentare come antiparassitari sono assorbiti dagli animali solo al 5%, per cui la maggior parte si ritrova accumulata nella feci (Businelli, 2009).

Ciò nonostante le sanse umide risultano sostanzialmente prive di metalli pesanti (Gigliotti et al., 2011), il problema può presentarsi se insieme a queste vengono compostate altre matrici organiche che possono contenere agenti inquinanti (come ad esempio pollina e letame).

1.4 NORMATIVA SUL COMPOST

1.4.1 Evoluzione normativa

Il settore del compostaggio fa riferimento a due principali argomenti di intervento: la gestione dei rifiuti e la commercializzazione e l'utilizzo dei fertilizzanti.

Lo smaltimento dei rifiuti in Italia è stato regolato organicamente dal DPR 915 del 10 settembre 1982, “attuazione delle direttive (Cee) n. 75/442 relativa ai rifiuti, n. 76/403 relativa allo smaltimento dei policlorodifenili e dei policlorotriphenili e n. 78/319 relativa ai rifiuti tossici e nocivi” (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.343 del 15/12/1982), nel quale sono affermati:

- i principi generali da osservare;
- la classificazione dei rifiuti;
- le competenze attribuite allo Stato (indirizzo e coordinamento), alle Regioni (pianificazione, rilascio autorizzazioni, catasto rifiuti ed emanazione di norme specifiche), alle Province (controllo) ed ai Comuni (smaltimento dei rifiuti solidi urbani);
- i criteri generali di regolamentazione dell'attività di smaltimento dei rifiuti;
- le disposizioni fiscali, finanziarie e sanzionatorie.

Nelle “Disposizioni per la prima applicazione dell'articolo 4 del DPR 915/82, concernente lo smaltimento dei rifiuti” (Deliberazione 27/07/84) venivano definiti:

- processo di compostaggio;
- caratteristiche agronomiche richieste;
- limiti di accettabilità per la tutela ambientale;
- possibili utilizzazioni;
- concentrazioni limite dei metalli nei terreni e i limiti di quantità di metalli addizionabili annualmente con la somministrazione del compost;
- metodi di campionamento e analisi.

Anche la Legge n. 748/1984 sulle “Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti” prevedeva quali ammendanti organici naturali “composti maturi da residui urbani”. In questa legge erano elencati molto schematicamente il modo di preparazione, titoli minimi in elementi e/o sostanze utili, indici granulometrici, elementi e sostanze utili il cui titolo doveva essere dichiarato. La stessa legge

lasciava inoltre intravedere la possibilità di preparare alcuni concimi organominerali utilizzando materiali di risulta da soli o in miscela, previa integrazione con concimi minerali (Bonadonna et al., 2002). Dalla seconda metà degli anni Ottanta, quindi, l'attività del compostaggio è stata regolamentata contestualmente da due norme, una ambientale che poneva dei limiti sul contenuto di metalli pesanti nel prodotto finito, l'altra agronomica in cui poteva essere inserito il compost, ma che non prevedeva limiti, e ciò ha contribuito a generare uno stato di confusione nel settore.

Il Decreto Legislativo del 5 febbraio 1997 n. 22, noto anche come decreto Ronchi, così come modificato dalla L.93/2001, ha provveduto a recepire le direttive comunitarie 91/156/CE sui rifiuti, 91/689/Ce sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e rifiuti da imballaggio, e all'art.56 abroga il DPR 915/82 e L.475/88 (tranne articoli 7, 8 e 9 quinquies).

Il principio fondamentale cui si è ispirato il D.lgs.22/97, è stato nel considerare la discarica come il luogo ultimo di smaltimento dei rifiuti residui dell'attività di riciclaggio e recupero energetico, infatti l'articolo 3 del decreto Ronchi afferma:

“1. Le autorità competenti adottano, ciascuna nell'ambito delle proprie attribuzioni, iniziative dirette a favorire, in via prioritaria, la prevenzione e la riduzione della produzione e della pericolosità dei rifiuti mediante:

- a) lo sviluppo di tecnologie pulite, in particolare quelle che consentono un maggiore risparmio di risorse naturali;
- b) la promozione di strumenti economici, ecobilanci, sistemi di ecoaudit, analisi del ciclo di vita dei prodotti, azioni di informazione e di sensibilizzazione dei consumatori, nonché lo sviluppo del sistema di marchio ecologico ai fini della corretta valutazione dell'impatto di uno specifico prodotto sull'ambiente durante l'intero ciclo di vita del prodotto medesimo;
- c) la messa a punto tecnica e l'immissione sul mercato di prodotti concepiti in modo da non contribuire o da contribuire il meno possibile, per la loro fabbricazione, il loro uso od il loro smaltimento, ad incrementare la quantità, il volume e la pericolosità dei rifiuti ed i rischi di inquinamento;
- d) lo sviluppo di tecniche appropriate per l'eliminazione di sostanze pericolose contenute nei rifiuti destinati ad essere recuperati o smaltiti;
- e) la determinazione di condizioni di appalto che valorizzino le capacità e le competenze tecniche in materia di prevenzione della produzione di rifiuti;

f) la promozione di accordi e contratti di programma finalizzati alla prevenzione ed alla riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti.”

Inoltre in questo decreto la produzione del compost, inteso come “prodotto ottenuto dal compostaggio della frazione organica dei rifiuti urbani nel rispetto di apposite norme tecniche finalizzate a definirne contenuti e usi compatibili con la tutela ambientale e sanitaria e in particolare a definirne i gradi di qualità” era inserita tra le operazioni di recupero nell’allegato C punto R3 – Riciclo/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche) (Muccignatto, 2007).

Ricordiamo che nella situazione nazionale degli anni ’90 il recupero mediante produzione ed utilizzo in agricoltura del compost rivestiva un particolare significato ai fini del ripristino di un adeguato tenore di sostanza organica dei suoli per il mantenimento della fertilità e la limitazione dei fenomeni di erosione e desertificazione, assai accentuati in alcune aree del Paese (Centemero, 2002).

Quasi contemporaneamente al D.lgs.22/97 sono state apportate modifiche significative alla legge 748/84 sui fertilizzanti, con il D.M. 27/03/1998 “Modificazione allegato 1C della L. 19 ottobre 1984, recante nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti” ed è stata esclusa dall’allegato la possibilità di ottenere compost da rifiuto indifferenziato, mentre sono state introdotte le seguenti tre classi di ammendante proveniente da processi di compostaggio di matrici selezionate (tabella 1.7):

- Ammendante compostato verde (ACV): prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllata di residui organici costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri scarti di origine vegetale, con esclusione di alghe e altre piante marine.
- Ammendante compostato misto (ACM): prodotto ottenuto attraverso un processo di trasformazione e stabilizzazione controllata di residui organici costituiti dalla frazione organica dei RSU, proveniente da raccolta differenziata, da scarti di origine animale compresi i liquami zootecnici, da residui di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile non trattati, da residui analoghi, nonché dalle matrici previste per l’ammendante compostato verde.

- Ammendante torboso composto: prodotto ottenuto da miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto (Muccignatto, 2007).

Parametri	Unità di misura	Ammendante compostato verde	Ammendante compostato misto	Ammendante torboso compostato
Umidità	%	≤ 50	≤ 50	-
pH	-	6 – 8,5	6 – 8,5	-
C organico	% s.s.	≥ 30	≥ 25	≥ 30
Azoto organico	% NTK	≥ 80	≥ 80	≥ 80
Ac. Umici e fulvici	% s.s.	≥ 2,5	≥ 7	≥ 7
C/N	-	≤ 50	≤ 25	≤ 50
Cd tot	mg/kg s.s	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5
Cr VI	mg/kg s.s	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Hg tot	mg/kg s.s	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5
Ni tot	mg/kg s.s	≤ 50	≤ 50	≤ 50
Pb tot	mg/kg s.s	≤ 140	≤ 140	≤ 140
Cu tot	mg/kg s.s	≤ 150	≤ 150	≤ 150
Zn tot	mg/kg s.s	≤ 500	≤ 500	≤ 500
Plastica ≤ 3,33 mm	% s.s	≤ 0,45	≤ 0,45	≤ 0,45
Plastica > 3.33 mm	% s.s	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Inerti ≤ 3,33 mm	% s.s	≤ 0,9	≤ 0,9	≤ 0,9
Inerti > 3.33 mm	% s.s	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Plastica+Inerti>10mm	%	Assenti	Assenti	Assenti
Salmonelle	In 25 g	Assenti	Assenti	Assenti
Enterobacteriacee	UFC/g	≤ 1,0 x 100	≤ 1,0 x 100	≤ 1,0 x 100
Streptococchi fetali	MPN/g	≤ 1,0 x 1000	≤ 1,0 x 1000	≤ 1,0 x 1000
Nematodi	MPN/50g	Assenti	Assenti	Assenti
Trematodi	MPN/50g	Assenti	Assenti	Assenti
Cestoidi	MPN/50g	Assenti	Assenti	Assenti
Semi infestanti	N	Assenti	Assenti	Assenti

Tabella 1.7: Normativa italiana in materia di compost. Caratteristiche di ammendanti organici naturali a base di compost secondo l'allegato C della 748/84 (DM 27/03/1998)(Centemero M., 2002).

Il Decreto Legislativo n. 152 del 03 aprile 2006, aggiornato dal D.lgs. n. 4 del 16 gennaio 2008, e modificato dal D.lgs. 205/2010, rappresenta un primo tentativo, di corpus Juris in materia ambientale, dopo anni di legislazione caratterizzata da una vasta gamma di provvedimenti normativi non sempre coordinati e omogenei.

Il decreto, non ambisce a definire disposizioni di principio applicabili trasversalmente a tutti i settori oggetto della tutela ambientale, ma delinea unicamente quelli richiesti dalla legge delega che ne costituiscono i titoli in cui lo stesso decreto è suddiviso (Centemero, 2005).

Il D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 (cosiddetto Testo Unico Ambientale -T.U.A.-), è stato emanato in attuazione di un'ampia delega in materia ambientale (recata dall'art.1 della L. 15 dicembre 2004, n. 308) ed ha operato un generale riordino della normativa, esso è suddiviso in sei parti:

- Parte prima: Disposizioni comuni e principi generali.
- Parte seconda: Procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC).
- Parte terza: Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche.
- Parte quarta: Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati.
- Parte quinta: Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera.
- Parte sesta: Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente.

Un intervento legislativo al T.U.A., è rappresentato dal D.lgs. 3 dicembre 2010, n. 205 che recepisce la direttiva-quadro sui rifiuti (2008/98/CE), entrato in vigore il 25 dicembre 2010. Il decreto introduce novità rilevanti nella materia dei rifiuti, modificando in modo sostanziale la Parte Quarta del Testo Unico Ambientale (D.lgs. n. 152/2006), ed in particolare mira a:

- a) rafforzare i principi di precauzione e prevenzione nella gestione dei rifiuti (privilegiando la migliore opzione);
- b) massimizzare il riciclaggio/recupero (con un riciclo di "alta qualità" entro il 2015 laddove la raccolta differenziata dovrà riguardare almeno carta, metalli, plastica e vetro, e "ove possibile" il legno);
- c) garantire che tutte le operazioni di gestione dei rifiuti, a partire dalla raccolta, avvengano nel rispetto di rigorosi standard ambientali.

Nell'articolo 183 del D.lgs. del 3 Dicembre 2010 n. 205 si definisce come recupero: "qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti

di svolgere un ruolo utile, sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto o nell'economia in generale. L'allegato C della parte IV del presente decreto riporta un elenco non esaustivo di operazioni di recupero". Suddetto allegato contiene anche l'operazione di compostaggio alla voce R3 "riciclaggio/recupero delle sostanze organiche non utilizzate come solventi (comprese le operazioni di compostaggio e altre trasformazioni biologiche)".

Inoltre nel medesimo articolo si definisce il compost di qualità come: "prodotto, ottenuto dal compostaggio di rifiuti organici raccolti separatamente, che rispetti i requisiti e le caratteristiche stabilite dall'allegato 2 del decreto legislativo 29 Aprile 2010, n.75, e successive modificazioni".

1.4.2 Allegato 2 della 75/2010

L'allegato 2 del D.lgs. 75/2010 riporta tutte le tipologie di ammendanti commercializzabili in Italia. Nell'allegato sono riassunte le caratteristiche che un ammendante deve possedere, le matrici ammesse per la sua produzione e i limiti per definirne la qualità agronomica ed ambientale.

Premessa

- Sono ammesse, in aggiunta alla denominazione del tipo, le denominazioni commerciali entrate nell'uso.
- La sostanza organica viene determinata moltiplicando il contenuto in carbonio organico (C) per 2,0.
- Negli ammendanti fluidi nei quali oltre alla dichiarazione del titolo in peso/peso venga aggiunta la dichiarazione in peso/volume, questa dichiarazione dovrà essere preceduta dalle parole «equivalente a».
- Per gli ammendanti di cui al capitolo 2 del presente allegato, ove non diversamente previsto, i tenori massimi consentiti in metalli pesanti espressi in mg/kg e riferiti alla sostanza secca sono i seguenti (tabella 1.8):

Metalli	Ammendanti
Piombo totale	140
Cadmio totale	1,5
Nichel totale	100
Zinco totale	500
Rame totale	230
Mercurio totale	1,5
Cromo esavalente	0,5

Tabella 1.8: Valori massimi consentiti negli ammendanti di metalli pesanti (allegato 2 della 75/2010).

Ammendanti

Si riporta di seguito solo una parte di tabella riguardante gli ammendanti compostati (tabelle 1.9, 1.10 e 1.11).

N.	Denominazione del tipo	Modo di preparazione e componenti essenziali	Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Note
4	Ammendante compostato verde	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti di manutenzione del verde ornamentale, altri materiali vegetali come sanse vergini (disoleate o meno) od esauste, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale.	Umidità: massimo 50% Ph compreso tra 6 e 8,5 C organico sul secco: minimo 20% C umico e fulvico sul secco: 2,5% Azoto organico sul secco: almeno l' 80% dell'azoto totale C/N massimo 50	Umidità pH C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità Na totale sul secco	E' consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione del diametro di ≥ 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: -Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q. $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=0$; $m^{(3)}=0$; $M^{(4)}=0$; - Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=1$; $m^{(3)}=1000$ CFU/g; $M^{(4)}=5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$. Sono ammesse alghe e piante marine, come la Posidonia spiaggiata, previa separazione della frazione organica della

					eventuale presenza di sabbia, tra le matrici che compongono gli scarti compostabili, in proporzione non superiore al 20% (P:P) della miscela iniziale. -Tallio: meno di 2 mg kg ⁻¹ sul secco (solo per ammendanti con alghe).
--	--	--	--	--	---

Tabella 1.9: Caratteristiche ammendante compostato verde (Allegato 2 della 75/2010).

N.	Denominazione del tipo	Modo di preparazione e componenti essenziali	Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Note
5	Ammendante compostato misto	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica degli RSU provenienti da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazioni del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché dalle matrici previste per ammendante compostato verde.	Umidità: massimo 50% Ph compreso tra 6 e 8,5 C organico sul secco: minimo 20% C umico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno l'80% dell'azoto totale C/N massimo 25	Umidità pH C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità	Per "fanghi" da cui alla presente colonna e alla colonna n.3 si intendono quelli definiti dal decreto legislativo 27 Gennaio 1992, n.99, di attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione del fanghi di depurazione in agricoltura. I fanghi, tranne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (P/P) della miscela iniziale. E' consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione del diametro di ≥ 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro ≥ 5 mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: -Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q. $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=0$; $m^{(3)}=0$; $M^{(4)}=0$;

					<p>- Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=1$; $m^{(3)}=1000$ CFU/g; $M^{(4)}=5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$. -Tallio: meno di 2 mg kg^{-1} sul secco (solo per ammendanti con alghe).</p>
--	--	--	--	--	--

Tabella 1.10: Caratteristiche ammendante compostato misto (Allegato 2 della 75/2010).

	Denominazione del tipo	Modo di preparazione e componenti essenziali	Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Note
6	Ammendante torboso compostato	Prodotto ottenuto per miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto	<p>C organico sul secco: minimo 25% C umico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno l' 80% dell'azoto totale C/N massimo 50 Torba: minimo 50%</p>	<p>C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Torba Salinità</p>	<p>E' consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione del diametro di ≥ 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro ≥ 5 mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: -Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q. $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=0$; $m^{(3)}=0$; $M^{(4)}=0$; - Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)}=5$; $c^{(2)}=1$; $m^{(3)}=1000$ CFU/g; $M^{(4)}=5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$. -Tallio: meno di 2 mg kg^{-1} sul secco (solo per ammendanti con alghe).</p>

Tabella 1.11: Caratteristiche ammendante torboso compostato (Allegato 2 della 75/2010).

⁽¹⁾ n= numero di campioni da esaminare;

- (2) c= numero di campioni la cui carica batterica può essere compresa tra m e M; il campione è ancora considerato accettabile se la carica batterica degli altri campioni è uguale o inferiore a m.
- (3) m= valore di soglia per quanto riguarda il numero di batteri; il risultato è considerato soddisfacente se tutti i campioni hanno un numero di batteri inferiore o uguale a m;
- (4) M= valore massimo per quanto riguarda il numero di batteri; il risultato è considerato insoddisfacente se uno o più campioni hanno numero di batteri uguale o inferiore a M.

1.4.3 Ultimo aggiornamento dell'allegato 2 della 75/2010

L'ultimo aggiornamento alle 75/2010 è il DM Politiche agricole del 10 luglio 2013 "aggiornamento degli allegati del decreto legislativo 29 aprile 2010, n. 75, concernente il riordino e la revisione della disciplina in materia di fertilizzanti".

Tale aggiornamento, all'articolo 1 afferma che: "gli allegati, 2, 4, 6 e 7 del decreto legislativo 29 aprile 2010, n. 75 «Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della legge 7 luglio 2009, n. 88», sono modificati come indicato nell'allegato al presente decreto".

L'allegato 2 Ammendanti, è così di seguito modificato:

- a) al punto 2. Ammendati, sono sostituiti i seguenti prodotti 5 e 6 (tabella 1.12):

N.	Denominazione del tipo	Modo di preparazione e componenti essenziali	Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione. Altri requisiti richiesti	Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato. Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Note
5.	Ammendante compostato misto	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti dalla frazione organica dei rifiuti urbani proveniente da raccolta differenziata, dal digestato da	Umidità: massimo 50% pH compreso tra 6 e 8,8 C organico sul secco: minimo 20% C umico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul	Umidità pH C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità	È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro ≥ 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro ≥ 5 mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g

		trattamento anaerobico (con esclusione di quello proveniente dal trattamento di rifiuto indifferenziato), da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriali e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato verde.	secco: almeno 80% dell'azoto totale C/N massimo 25.		di campione t.q.; n ⁽¹⁾ = 5; c ⁽²⁾ = 0; m ⁽³⁾ = 0; M ⁽⁴⁾ = 0; - Escherichia coli in 1 g di campione t.q.; n ⁽¹⁾ = 5; c ⁽²⁾ = 1; m ⁽³⁾ = 1000 CFU/g; M ⁽⁴⁾ = 5000 CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere ≥ 60% - Tallio: meno di 2 mg kg ⁻¹ sul secco (solo per Ammendanti con alghe).
6.	Ammendante torboso composto	Prodotto ottenuto per miscela di torba con ammendante compostato verde e/o ammendante compostato misto e/o ammendante compostato con fanghi	C organico sul secco: minimo 25% C umico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale C/N massimo 50. Torba: minimo 50%	C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Torba Salinità	È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro ≥ 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro ≥ 5 mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q.; n ⁽¹⁾ = 5; c ⁽²⁾ = 0; m ⁽³⁾ = 0; M ⁽⁴⁾ = 0; - Escherichia coli: in 1 g di campione t.q.; n ⁽¹⁾ = 5; c ⁽²⁾ = 1; m ⁽³⁾ = 1000 CFU/g; M ⁽⁴⁾ = 5000 CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere ≥ 60% - Tallio: meno di 2 mg kg ⁻¹ sul secco (solo per Ammendanti con alghe).

Tabella 1.12: caratteristiche dell'ammendante compostato misto e dell'ammendante torboso compostato (DM 10/07/2013).

b) al punto 2. Ammendati, è aggiunto il seguente prodotto 13 (tabella 1.13):

N.	Denominazione del tipo	Modo di preparazione e componenti essenziali	Titolo minimo in elementi e/o sostanze utili. Criteri concernenti la valutazione . Altri requisiti richiesti	Elementi oppure sostanze utili il cui titolo deve essere dichiarato Caratteristiche diverse da dichiarare. Altri requisiti richiesti	Note
13.	Ammendante compostato con fanghi	Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di reflui e fanghi nonché dalle matrici previste per l'ammendante compostato misto	Umidità: massimo 50% pH compreso tra 6 e 8,8 C organico sul secco: minimo 20% C umico e fulvico sul secco: minimo 7% Azoto organico sul secco: almeno 80% dell'azoto totale C/N massimo 25.	Umidità pH C organico sul secco C umico e fulvico sul secco Azoto organico sul secco C/N Salinità	Per "fanghi" di cui alla presente colonna e alla colonna n. 3 si intendono quelli di cui al decreto legislativo 27 gennaio 1992, n. 99 e successive modifiche e integrazioni. I fanghi, tranne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (p/p sostanza secca) della miscela iniziale. I fanghi utilizzati per la produzione di dell'ammendante compostato con fanghi, nelle more della revisione del D.lgs 99/1992, devono rispettare i seguenti limiti: Pcb < 0,8 mg/kg s.s. È consentito dichiarare i titoli in altre forme di azoto, fosforo totale e potassio totale. Il tenore dei materiali plastici vetro e metalli (frazione di diametro \geq 2 mm) non può superare lo 0,5% s.s. Inerti litoidi (frazione di diametro \geq 5 mm) non può superare il 5% s.s. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: - Salmonella: assenza in 25 g di campione t.q.; n ⁽¹⁾ = 5; c ⁽²⁾ = 0;

					$m^{(3)} = 0$; $M^{(4)} = 0$; - Escherichia coli: in 1 g di campione t.q.; $n^{(1)} = 5$; $c^{(2)} = 1$; $m^{(3)} = 1000$ CFU/g; $M^{(4)} = 5000$ CFU/g; Indice di germinazione (diluizione al 30%) deve essere $\geq 60\%$ - Tallio: meno di 2 mg kg^{-1} sul secco (solo per ammendanti con alghe).
--	--	--	--	--	---

Tabella 1.13: caratteristiche dell'ammendante compostato misto e dell'ammendante torboso compostato (DM 10/07/2013).

- ⁽¹⁾ n= numero di campioni da esaminare;
- ⁽²⁾ c= numero di campioni la cui carica batterica può essere compresa tra m e M; il campione è ancora considerato accettabile se la carica batterica degli altri campioni è uguale o inferiore a m.
- ⁽³⁾ m= valore di soglia per quanto riguarda il numero di batteri; il risultato è considerato soddisfacente se tutti i campioni hanno un numero di batteri inferiore o uguale a m;
- ⁽⁴⁾ M= valore massimo per quanto riguarda il numero di batteri; il risultato è considerato insoddisfacente se uno o più campioni hanno numero di batteri uguale o inferiore a M.

1.5 IL PROGETTO ECOMPOST

Nell'ambito della Misura 1.2.4. "Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e in quello forestale" del Piano di Sviluppo Rurale per l'Umbria 2007/2013 - Asse 1, è inserito il progetto "Il compostaggio aziendale dei sottoprodotti della filiera olivicola-olearia e vitivinicola: da problema a risorsa" acronimo ECOMPOST.

Tale progetto nasce dall'esigenza di trovare idonee strategie di valorizzazione, a livello locale, dei sottoprodotti della filiera olivicola-olearia e vitivinicola, attraverso il principio del riutilizzo, anziché dello smaltimento, delle risorse intrinseche di tali sottoprodotti, reinserendoli così nel ciclo produttivo aziendale. Il progetto si propone di sviluppare un modello competitivo a cui puntare per evolvere l'agricoltura tradizionale verso modelli di crescita sostenibile non solo dal punto di vista economico, ma anche e soprattutto ambientale.

A tal fine sono state individuate metodologie di compostaggio, applicabili nelle singole aziende, in grado di trasformare i sottoprodotti in una risorsa capace di generare reddito e ridurre l'impatto ambientale dei processi produttivi.

Infatti, il compostaggio di sottoprodotti organici aziendali è una pratica attualmente raramente eseguita e ciò è dovuto principalmente:

- alla carenza di conoscenze sui requisiti della miscela iniziale necessaria ad innescare in maniera idonea il processo;
- alla difficoltà di attuare il processo sia per l'eccessiva lunghezza dello stesso (con conseguente necessità di ampi spazi a disposizione), sia per il mantenimento delle condizioni necessarie per la sua evoluzione;
- alla difficoltà di ottenimento di un compost che soddisfi le esigenze agronomiche in termini di caratteristiche chimico-fisico-biologiche ma anche legislative;
- alla mancanza di informazioni sulle modalità e potenzialità di uso dei compost per l'ammendamento e la realizzazione di substrati vivaistici.

Il progetto, inoltre, presuppone una forte condivisione di una strategia comune tra le aziende agrarie e di trasformazione, le imprese vivaistiche, i centri di ricerca e divulgazione coinvolti, e le esigenze delle politiche agricole e ambientali del territorio regionale.

1.5.1 Obiettivo del progetto

Obiettivo del progetto è l'ottenimento di diversi tipi di compost di qualità derivanti da sottoprodotti della filiera olivicolo-olearia, vitivinicola e zootecnica quali sanse, residui di potatura, raspi, paglia, letame, per i quali lo smaltimento convenzionale incontra difficoltà crescenti, ed il trasferimento di conoscenze, protocolli e tecnologie innovativi per il compostaggio di tali sottoprodotti a livello aziendale, in modo da poter essere direttamente utilizzati in azienda in sostituzione di concimi/ammendanti convenzionali, e come materiale sostitutivo, in tutto o in parte, alla torba impiegata nelle aziende florovivaistiche per la preparazione di substrati da invasatura.

Il progetto intende così:

- realizzare economie nel sistema di smaltimento e contribuire alla riduzione delle quantità di rifiuti organici da avviare allo smaltimento convenzionale in modo tale da ridurre i rischi ambientali connessi ad esso ed alleggerire di conseguenza anche la pressione sui centri di stoccaggio e trattamento;
- sensibilizzare gli operatori coinvolti sul valore che i sottoprodotti possono acquisire in una logica di riciclo/riutilizzo, introducendo nelle aziende tecnologie e metodologie di compostaggio di nuova concezione (*bio-container*), che si prestino alla necessità di delocalizzare i processi ed attivare sul posto tutti gli interventi più funzionali ad ottenere un'alta qualità dei prodotti ottenuti;
- raggiungere un alto grado di trasferibilità dei risultati e una riproducibilità del modello proposto in altre realtà locali e nazionali;
- focalizzare i punti critici, le difficoltà operative nella gestione del compost e la conformità di processo e di prodotto con le leggi cogenti;
- verificare l'efficacia dei compost ottenuti, in relazione alle esigenze delle diverse produzioni arboree e vivaistiche, al fine di ottenere i migliori risultati in termini agronomici, ambientali ed economici.

Questo modello si qualifica dunque per un alto rapporto costi/benefici, includendo in quest'ultimi anche quelli ambientali in considerazione della riduzione di emissioni di CO₂ (combustione di potature, gas di scarico dei mezzi di trasporto) e stoccaggio del carbonio (mediante l'incremento della sostanza organica nel

terreno a seguito di apporto di sansa, raspi, residui di potatura, ecc. compostati) che non appartengono direttamente alla tematica progettuale, ma che fanno pur sempre parte dei comportamenti che il protocollo di Kyoto intende tenere sotto controllo

1.5.2 Azioni e fasi previste

- Fase 1. Individuazione e caratterizzazione delle matrici (sottoprodotti): caratterizzazione chimica, fisica e microbiologia delle matrici (sansa provenienti da sistemi a due fasi e a tre fasi a risparmio di acqua, raspi, residui di potatura degli ulivi, paglia, letame e pollina) da sottoporre a compostaggio e previste dalla legislazione vigente al fine dell'ottenimento di compost di qualità. Nonché definizione dei processi
- Fase 2. Fornitura, acquisizione, trasporto, stoccaggio e trinciatura delle matrici da cui ottenere il compost, da parte delle aziende partner.
- Fase 3. Approntamento delle strutture per ospitare i cumuli e formazione dei cumuli.
- Fase 4. Progettazione e costruzione prototipi aziendali del biocomposter
- Fase 5. Monitoraggio dei processi di compostaggio e conformità dei compost ottenuti: campionamenti periodici e rilevamento delle temperature, al fine di seguire l'evoluzione subita dalla matrice durante il processo di compostaggio. Analisi dei campioni in base ai Metodi Ufficiali di Analisi per gli Ammendanti (ANPA, 2004), al fine di studiare il progredire del processo e rilevare la conformità normativa dei compost al termine della fase di maturazione.
- Fase 6. Trinciatura e vagliatura del compost ottenuto al termine delle fasi di compostaggio e maturazione, dei compost ottenuti.
- Fase 7. Impiego dei compost come ammendante in pieno campo in oliveti, vigneti, frutteti, pioppeti, in parziale sostituzione ai fertilizzanti comunemente utilizzati, valutando gli effetti sull'attività vegeto-produttiva delle piante, sulla qualità del prodotto e sulle caratteristiche chimico-microbiologiche del terreno.

- Fase 8. Impiego dei compost come substrati per invasatura in vivaio: realizzazione substrati e invasatura delle piante, monitoraggio degli effetti dei diversi compost sulle diverse colture testate (rilievi agronomici e sull'attività vegetativa).
- Fase 9. Validazione dei protocolli sperimentali utilizzati, diffusione e trasferimento dei risultati compost ottenuti
- Fase 10. Coordinamento progetto

1.5.3 Partners

- Società agricola il Colle sulla Flaminia s.s. - Responsabile del progetto: Katuscia Magarini (Capofila Del Progetto);
- DSA3– Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università degli Studi di Perugia - Responsabile del progetto: Prof. Primo Proietti, con il supporto del Laboratorio di Chimica delle Biomasse di Uso Agrario del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale – Responsabile Prof. Giovanni Gigliotti;
- Umbraflor s.r.l. azienda vivaistica - Responsabile: Sandro Vitali
- Cantine Giorgio Lungarotti s.r.l. – Responsabile: Dott.ssa Chiara Lungarotti;
- Lungarotti Chiara Azienda Agraria – Responsabile: Dott.ssa Chiara Lungarotti;
- Azienda Agricola Petesse Maria Angela – Responsabile: Petesse Maria Angela;
- Azienda Agricola Fattoria del Monte Puro soc. Agr. s.s. – Responsabile: Maria Giulia Appolloni;
- Azienda Agricola Appolloni Novella – Responsabile: Novella Appolloni;
- Azienda Agricola Benedetti Agostino – Responsabile: Agostino Benedetti;
- 3A-PTA – Responsabile Dott. Agr. Andrea Sisti;
- Azienda Agraria Appolloni Paolo – Responsabile: Paolo Appolloni.

1.5.4 Risultati attesi

I risultati attesi possono essere così riassunti:

- sensibilizzazione degli imprenditori coinvolti sull'importanza economica e ambientale del reimpiego dei sottoprodotti aziendali in una logica di riciclo secondo tecniche di compostaggio innovative;
- ottenimento di compost "di qualità" (anche biologici) a buon mercato e ad elevato valore fertilizzante per l'ammendamento di oliveti, vigneti, frutteti, ecc., al fine di ridurre l'apporto di concimi chimici e quindi di aumentare la compatibilità ambientale delle colture;
- incremento della quantità di carbonio stoccato nel terreno mediante il progressivo aumento del tenore in sostanza organica;
- realizzazione di manuali con le linee guida per la messa a punto, il funzionamento di un processo di compostaggio di sottoprodotti con sistema in cumulo o in biocomposter, per la produzione di un compost di qualità, anche di tipo biologico, praticabile, flessibile, sostenibile e trasferibile;
- verifica della possibilità di certificazioni sui compost ottenuti (ecolabel, mezzo tecnico idoneo alla coltivazione biologica, ecc.);
- sottrazione dai canali di smaltimento convenzionali, costosi e ad elevato impatto ambientale, di quantitativi progressivamente crescenti di sottoprodotti;
- promuovere la diffusione della pratica del compostaggio aziendale, nel settore agricolo e agroindustriale, attivando una struttura di fornitura di *know how*, assistenza e formazione direttamente in azienda nel compostaggio di alcune matrici organiche ed effettuando in loco i relativi controlli e prelievi;
- fornire elementi per migliorare la sostenibilità economica della coltivazione dell'olivo e di altre colture, con conseguenti positive ricadute non solo ambientali e paesaggistiche, ma anche occupazionali.

2 SCOPO DEL PROGETTO

Il compostaggio dei sottoprodotti derivanti dalle filiere olivicola-olearia e vitivinicola risulta essere una soluzione concreta ed innovativa alla problematica del loro smaltimento, la quale sta diventando sempre più rilevante a causa della sua insostenibilità a livello economico ed ambientale.

L'uso dei compost ottenuti da sanse, raspi e altri sottoprodotti assume un ruolo importante nella filiera agricola, che non solo risulta sgravata dagli oneri relativi al loro smaltimento, ma si vede beneficiata di un ammendante a basso costo in grado di apportare considerevoli effetti positivi sia al terreno, con l'aumento della fertilità e la riduzione dei fenomeni erosivi, che all'ambiente in generale grazie alla fissazione della CO₂ atmosferica.

Da ciò nasce il progetto Ecompost (inserito nella Misura 1.2.4. "Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e in quello forestale" del Piano di Sviluppo Rurale per l'Umbria 2007/2013) il cui obiettivo specifico è l'ottenimento di diversi tipi di compost di qualità derivanti da sottoprodotti della filiera olivicolo-olearia, viti-vinicola e zootecnica, da utilizzare come ammendanti per colture arboree, in sostituzione di fertilizzanti chimici, e come materiale sostitutivo (in tutto o in parte) alla torba impiegata nelle aziende florovivaistiche per la preparazione di substrati da invasatura. Peculiarità del progetto è di operare a livello aziendale, implementando sistemi di compostaggio semplificati, ma efficienti, di facile realizzazione ed economici, onde consentire il riuso delle biomasse nei siti dove sono state prodotte.

L'obiettivo del monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle diverse prove di compostaggio è quello di valutare il corretto andamento del processo, nonché caratterizzare i compost finali da esso ottenuti secondo i parametri dettati dall'ultimo aggiornamento dell'allegato 2 della 75/2010, in modo di verificare la sua qualità sia dal punto di vista legislativo che agronomico. Al fine di rendere scientificamente più completo il lavoro di valutazione dei processi di compostaggio e della qualità dei compost ottenuti, viene inoltre proposto il confronto tra le prove previste dal progetto Ecompost e due cumuli ottenuti dal compostaggio di rifiuti organici civili (digestato e rifiuti organici provenienti da raccolta differenziata).

3 METODOLOGIE APPLICATE

3.1 LE PROVE DI COMPOSTAGGIO

Il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali (DSAAA), in base a quanto stabilito nelle fasi di attuazione del progetto Ecompost, ha realizzato sei prove di compostaggio: una presso l'azienda vivaistica Umbraflor (Spello PG), due presso l'azienda agricola Appolloni Paolo (Verchiano PG), due presso l'azienda Petesse Maria Angela ed una presso il DSAAA (Deruta PG). Le prove sono state attuate sia all'aperto che in strutture chiuse, hanno avuto inizio nel mese di Marzo 2014 e si sono protratte fino al mese di Settembre 2014. Le miscele avviate al compostaggio sono costituite da diverse combinazioni di sottoprodotti derivanti dalle filiere olivicola-olearia, viti-vinicola e zootecnica. Presso il Laboratorio di Chimica delle Biomasse di Uso Agrario del DICA tali matrici sono state caratterizzate dal punto di vista chimico-fisico, al fine di individuare le più opportune proporzioni per la formazione delle miscele da avviare al compostaggio. Questa definizione risulta essere necessaria per ottenere una miscela iniziale compatibile con i principali parametri di processo e di conseguenza per la riuscita del compostaggio, nonché per l'ottenimento di un compost finale compatibile con i parametri dettati dalla 75/2010.

I parametri analizzati sulle miscele iniziali sono i seguenti:

- Solidi totali (ST);
- Carbonio organico totale (TOC);
- Azoto totale Kjeldahl (TKN);
- C/N;
- Densità apparente.

Le matrici iniziali utilizzate sono:

- sansa denocciolata da sistema di estrazione continuo a tre fasi di ultima generazione (a risparmio di acqua);
- paté Pieralisi: particolare tipo di sansa proveniente da decanter della serie Leopard del gruppo Pieralisi, il quale può essere assimilato ad un estrattore centrifugo a due fasi, ma a differenza di questo produce una particolare sansa costituita dalla polpa e dall'acqua di vegetazione dell'oliva, senza

tracce di nocciolino. Tale sottoprodotto ha un'umidità molto elevata, pari a circa il 75%;

- residui di potatura degli olivi,
- foglie di olivo, derivanti dalla fase di defogliatura delle olive successiva alla raccolta e precedente alla fase di lavaggio e lavorazione;
- raspi di uva;
- paglia;
- letame equino;
- pollina: deiezioni degli allevamenti avicoli, particolarmente ricco di N e utilizzato prevalentemente in agricoltura biologica.

I risultati dell'analisi chimico-fisica sono riportati in tabella 3.1:

Parametri	Sansa tre fasi	Paté Pieralisi	Residui potatura	Foglie di olivo	Raspi	Paglia	Letame	Pollina
Umidità (%)	60,86	75,69	34,64	52,01	52,81	10,60	75,00	43,11
ST (%)	39,14	24,31	65,36	47,99	46,19	89,40	25,00	56,89
TOC (%)	16,83	26,45	35,90	34,09	21,89	45,70	43,22	43,96
TKN (%)	0,76	1,80	1,43	0,90	2,24	0,52	1,76	5,03
C/N	22,14	14,69	34,47	37,88	9,77	87,88	24,56	8,74
d (kg/m ³)	588	1063	201	145	276	50	430	324

Tabella 3.1: caratterizzazione delle matrici utilizzate nella prova di compostaggio.

In base a tale caratterizzazione sono state realizzate in totale quattro miscele, per due di queste è stata prevista sia una prova di compostaggio all'aperto che una in sistema chiuso.

Per la conduzione del processo di compostaggio al chiuso sono stati realizzati tre prototipi di composter aziendali: i biocontainer sperimentali. Si tratta di bioreattori chiusi, statici a sviluppo orizzontale e con aerazione forzata. In questi sistemi, il processo è condotto in spazi confinati, con il vantaggio di:

- maggiore efficienza nel controllo, nella gestione e nella possibilità di monitoraggio dei fattori che regolano il processo di compostaggio;
- migliore controllo delle condizioni meteoriche, quali le precipitazioni, che possono influenzare negativamente il processo;
- migliore abbattimento degli effluenti odorigeni.

I sistemi sono dotati di un generatore elettrico, di un soffiatore per insufflazione dell'aria a pressione, di un impianto di distribuzione dell'aria (tubazioni in acciaio

inox opportunamente forate), per arieggiare la biomassa all'interno dei biocontainer.

Il sistema di distribuzione dell'aria è costituito da una serie di canalette poste a varie altezze e inserite ai lati opposti del biocontainer. I tubi soffianti sono collegati al compressore/soffiatore la cui portata garantisce, anche nei momenti di massima attività biologica, una sufficiente disponibilità di ossigeno ed un adeguato controllo della temperatura. Quest'ultima è rilevata mediante una termocoppia inserita al centro della massa in compostaggio.

I biocontainer sperimentali hanno le dimensioni rispettivamente di 11 m³, 6,70 m³ e 2 m³, i primi due sono in acciaio verniciato, sono aperti nella parte superiore e muniti di portellone posteriore per carico e scarico, sono amovibili, non coibentati e coperti da telone in poliestere, il terzo, di più piccole dimensioni, è chiuso anche sul lato superiore.

3.1.1 I cumuli

Come già accennato in precedenza, la caratterizzazione chimico-fisica delle matrici iniziali si rende necessaria al fine di attuare un efficiente processo di compostaggio e ottenere un compost finale idoneo sia dal punto di vista agronomico che legislativo.

Nella preparazione delle miscele organiche da avviare al compostaggio, vengono, di solito, considerate tre componenti:

- il substrato principale, che in questo caso è costituito dalla sansa vergine denocciolata ed il patè Pieralisi;
- il correttivo per il bilanciamento dei parametri edafici (es. nutrienti, reazione, salinità) rappresentato da pollina e letame;
- l'agente di supporto (*bulking agent*) corrispondente a paglia, residui di potatura, raspi e foglie di olivo.

In base ai valori di densità apparente, umidità e rapporto C/N, ottenuti dalla caratterizzazione chimico-fisica delle matrici iniziali, è stato possibile definire i precisi quantitativi di ogni singola matrice da inserire nel processo.

Vengono di seguito descritte nel dettaglio (tabella 3.2) le sei prove di compostaggio previste dal progetto Ecompost, ognuna delle quali è stata nominata con una lettera identificativa.

Viene inoltre riportata la descrizione di due cumuli, ottenuti dal compostaggio di rifiuti organici (digestato e rifiuti organici provenienti da raccolta differenziata), in quanto utili ad operare il confronto con la sperimentazione eseguita.

Nome cumulo	Tipo di cumulo	Localizzazione	Materiali compostati	Tipo di caratterizzazione
A	Cassone chiuso	Deruta	Patè Pieralisi + paglia + residui potatura	Inizio-fine
B	All'aperto	Spello	Sansa tradizionale + raspi	Inizio-fine
C	All'aperto	Foligno	Sansa tradizionale + foglie olivo + letame	Inizio-fine
D	Cassone chiuso	Foligno	Sansa tradizionale + foglie olivo + letame	Inizio-fine
E	All'aperto	Foligno	Sansa tradizionale + residui potatura + pollina	Monitoraggio del processo
F	Cassone chiuso	Foligno	Sansa tradizionale + residui potatura + pollina	Monitoraggio del processo
G	All'aperto	SIA	RSU + digestato + cippato	Monitoraggio del processo
H	Cassone chiuso	DICA	RSU + digestato + cippato	Monitoraggio del processo

Tabella 3.2: dettaglio dei cumuli posti in compostaggio

Cumulo A

Il cumulo A, realizzato presso il DSAAA, è costituito da un rapporto di sansa (patè Pieralisi), residui di potatura dell'olivo e paglia pari a 70:22:8 peso/peso. Il maggior apporto di *bulking agents* rispetto agli altri cumuli è reso necessario dall'elevato valore di umidità che presenta questo particolare tipo di sansa.

I materiali strutturanti delle miscele (paglia e potature) sono stati triturati con un tritatore e miscelati con il patè con l'ausilio di una betoniera (foto 3.1).

La miscela ottenuta è stata avviata al compostaggio nel biocontainer chiuso anche sul lato superiore, ha un volume di circa 2 m³ ed è stata sottoposta ad aereazione forzata dal basso e laterale.

Il compostaggio ha avuto inizio il 17 Marzo 2014 e si è protratto fino al 9 Settembre 2014.



Foto 3.1: betoniera utilizzata per la miscelazione delle matrici nella preparazione del cumulo A.

Cumulo B

Tale cumulo è stato realizzato presso l'azienda Umbraflor (Spello); la miscela è costituita da sansa denocciolata da sistema a tre fasi di nuova generazione (a risparmio di acqua) e raspi d'uva, con un rapporto sansa:raspi 100:8 p/p (circa 10.000 kg di sansa e 800 kg di raspi). Il cumulo all'aperto, predisposto su una piattaforma scoperta, aveva le dimensioni di 5 metri in lunghezza, 3 metri in larghezza alla base, per un volume totale di 5 m³. La preparazione delle matrici è avvenuta con l'ausilio di una pala gommata (foto 3.2) ed il compostaggio ha avuto inizio il 17 Marzo 2014 e si è protratto fino al 9 Settembre 2014.



Foto 3.2: preparazione del cumulo presso l'Azienda Umbraflor.

Cumulo C

Il compostaggio del cumulo C è avvenuto all'aperto presso l'azienda Appolloni Paolo, nella frazione di Verchiano (Foligno PG). La massa ha subito aerazione passiva ed è costituita da una miscela di sansa denocciolata da sistema a tre fasi di nuova generazione (a risparmio di acqua), foglie d'olivo e letame con rapporto 60:10:30 p/p. Stessa miscela è utilizzata nella realizzazione del cumulo D attuato, invece, in sistema chiuso.

La miscelazione è avvenuta tramite carro spandiletame con spandimento laterale anteriore (foto 3.3), il quale si è dimostrato ottimale al fine di ottenere un' omogenea distribuzione delle matrici.

Il cumulo è predisposto su una superficie complessiva di 300 m² per un volume totale di circa 7/8 m³ all'inizio del processo. Il compostaggio ha avuto inizio il 20 Maggio 2014 e si è protratto fino al 9 Settembre 2014.



Foto 3.3: preparazione del cumulo presso l'Azienda Appolloni Paolo.

Cumulo D

La miscela del cumulo D è la stessa utilizzata per la realizzazione del cumulo C, ma in questo caso la prova di compostaggio è avvenuta in biocontainer chiuso con apertura sul lato superiore. Il cumulo è stato compostato nell'azienda Appolloni Paolo. La massa ha subito aereazione forzata dal basso (foto 3.4) ed aveva, all'inizio del processo, un volume totale di circa 10 m³. Il compostaggio ha avuto inizio il 20 Maggio 2014 e si è protratto fino al 9 Settembre 2014.



Foto 3.4: biocontainer e particolare della predisposizione delle tubazioni per la distribuzione dell'aria.

Cumulo E

Il cumulo E è costituito da una miscela di sansa denocciolata da sistema a tre fasi di nuova generazione (a risparmio di acqua), residui di potatura e pollina con rapporto 60:20:20 p/p. Il compostaggio è avvenuto presso l'azienda agricola Petesse Maria Angela, nella frazione di Colle Scandolaro (Foligno PG). Il cumulo è stato compostato all'aperto, ha subito aerazione passiva ed aveva all'inizio del processo, un volume di circa $7/8 \text{ m}^3$. La miscelazione è avvenuta tramite carro spandiletame, lo stesso utilizzato per la creazione dei cumuli C e D (foto 3.5). Il compostaggio è iniziato il 17 Marzo 2014 e si è protratto fino al 9 Settembre 2014. La stessa miscela del cumulo E è stata utilizzata per la formazione del cumulo F.



Foto 3.5: particolari della predisposizione del cumulo presso l'Azienda Petesse.

Cumulo F

La miscela del cumulo F è la stessa utilizzata per la realizzazione del cumulo E, ma in questo caso la prova di compostaggio è avvenuta in biocontainer chiuso (foto 6.6 a) con apertura sul lato superiore. La massa ha subito aereazione forzata dal basso (foto 6.6 b) ed aveva, all'inizio del processo, un volume totale di circa 6 m³. Il compostaggio ha avuto inizio il 20 Maggio 2014 e si è protratto fino al 9 Settembre 2014.



a)



b)

Foto 3.6: biocontainer presso l'Azienda Petesse (a) e particolare della predisposizione delle tubazioni per la distribuzione dell'aria (b).

Cumuli G e H

Le miscele iniziali dei cumuli G ed H sono costituite da:

- frazione organica dei residui solidi urbani (FORSU): materiale organico derivante dalla raccolta differenziata (altrimenti detto umido), formato da residui di cibo o preparazioni alimentari e frazioni assimilabili. La FORSU costituisce dal 30 al 40% in peso dei rifiuti solidi urbani;
- digestato anaerobico: in questo caso rappresentato dalla frazione solida;
- cippato: legno ridotto in scaglie con dimensioni variabili da alcuni millimetri a qualche centimetro, comunemente utilizzato come combustibile o in questo caso come *bulking agent*.

Il compostaggio di FORSU e digestato risulta molto importante, in quanto permette la loro stabilizzazione biologica, riduce la carica patogena con particolare riferimento ai fanghi di depurazione, nonché trova utilizzazione alternativa a composti che altrimenti sarebbero destinati alla discarica riducendo di conseguenza i rischi ambientali.

Tuttavia emergono alcune problematiche nel compostaggio di questo particolare tipo di matrici, dovute principalmente al contenuto di metalli pesanti. Infatti per quanto riguarda i digestati, se derivanti dalla digestione di reflui zootecnici (in particolare suinicoli), risultano contenere elevate concentrazioni di rame e zinco poiché derivanti dalla somministrazione di integratori alimentari. Anche la frazione organica di RSU può contenere metalli pesanti soprattutto se proveniente da una raccolta differenziata poco “attenta”. È importante quindi al fine dell’ottenimento di un compost di qualità organizzare in maniera accurata la raccolta dei RSU e fare in modo che le matrici siano compostate in maniera tale da ridurre, almeno entro i limiti legislativi, la quantità di metalli presenti nel compost finale.

I cumuli G e H sono stati realizzati utilizzando circa il 50% di rifiuti solidi urbani (RSU), 10% di digestato e 40% di cippato di legna. La miscelazione è stata attuata tramite carro miscelatore, la stessa miscela è stata utilizzata per un cumulo in compostaggio all’aperto (cumulo G, foto 3.7) ed uno in cassone chiuso con aereazione forzata dal basso (cumulo H, foto 3.8). Il cumulo G di dimensioni 4 x 5 x 1,5 m, aveva un volume di circa 20 m³. Il cumulo H aveva un volume di 0,2 m³.



Foto 3.7: Cumulo all'aperto con matrici costituite da rifiuti organici



Foto 3.8: Biocomposter utilizzato per il compostaggio di matrici provenienti da rifiuti organici

In seguito sono stati effettuati campionamenti periodici per permettere di seguire l'evoluzione subita dalle miscele durante il processo di compostaggio.

I campionamenti sono stati effettuati raccogliendo lo stesso quantitativo di materiale da tre posizioni diverse a profondità prestabilite, in maniera da ottenere altrettanti sotto-campioni che, dopo miscelazione, hanno costituito il campione da analizzare.

Una volta in laboratorio i campioni sono stati divisi in due sub-campioni: una porzione è stata congelata, mentre l'altra è stata essiccata in stufa a 105°C per 24h, macinata, setacciata a 2 mm, e quindi conservata in contenitori a tenuta ermetica e a temperatura ambiente. A seconda delle determinazioni analitiche, le analisi sono state effettuate in parte sul materiale surgelato, in parte sul materiale essiccato e macinato.

Per i campioni delle miscele prelevate durante il processo di compostaggio e quelli corrispondenti al compost maturo, oltre ai parametri individuati per le matrici iniziali, sono stati determinati anche:

- Carbonio organico estraibile in soluzioni alcaline (TEC);
- Grado di umificazione (DH);
- Indice di germinabilità (IG);
- Solidi volatili;
- pH;
- Conducibilità elettrica specifica;
- Azoto ammoniacale;
- Azoto organico/TKN;
- Piombo totale;
- Cadmio totale;
- Nichel totale;
- Mercurio totale;
- Cromo VI;
- Zinco totale;
- Rame totale;
- Potassio totale;
- Fosforo totale.

Le analisi svolte corrispondono a quelle definite dall'ultimo aggiornamento dalle 75/2010, ovvero il Decreto Ministeriale delle Politiche agricole del 10 luglio 2013 “aggiornamento degli allegati del decreto legislativo 29 aprile 2010, n. 75, concernente il riordino e la revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”.

3.2 METODI ANALITICI

Se non diversamente indicato, tutte le determinazioni analitiche sono effettuate in base ai Metodi Ufficiali di Analisi per gli Ammendanti e descritti nel “Manuale di analisi del compost” ANPA – Agenzia Nazionale Protezione Ambiente- 2004.

Solidi totali (ST)

La determinazione della sostanza secca (ST%) e dell'umidità sono importanti nello studio del processo di compostaggio, in quanto le proporzioni relative delle due componenti, influenzano l'attività biologica responsabile della degradazione della sostanza organica e le condizioni di aerobiosi necessarie perché la stessa abbia luogo.

I solidi totali rappresentano la frazione solida del campione che residua dopo allontanamento dell'acqua in stufa a 105°C per 24 h. I solidi totali vengono determinati per differenza tra il peso del campione prima e dopo l'essiccamento.

Il contenuto di sostanza secca è dato dalla seguente formula:

$$\text{s. s. (\%)} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

Dove:

A è il peso in grammi del contenitore più il campione dopo essiccamento.

B è la tara del contenitore.

C sono i grammi del campione fresco prelevato.

L'umidità percentuale si ricava come complemento a 100 del valore della sostanza secca.

Solidi volatili (SV)

La procedura applicata è di tipo gravimetrico ed è basata sulla volatilizzazione della sostanza organica. La metodica prevede che un'aliquota di campione di circa

10 g, precedentemente essiccata in stufa a 105°C e macinata, venga sottoposta ad incenerimento alla temperatura di 550°C per 24 ore.

$$SV (\%s. s.) = \frac{A - B}{A - T} \times 100$$

Dove:

A è il peso in grammi della capsula più il campione essiccato a 105°C prima dell'incenerimento.

B è il peso della capsula più il campione dopo l'incenerimento.

T è la tara del contenitore.

Il complemento a 100 del valore SV (%s.s.) rappresenta le ceneri (%s.s.).

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

OM loss è un parametro che permette di misurare la percentuale di sostanza organica degradata dai microrganismi, e quindi persa, durante tutto il processo di compostaggio.

La perdita di OM è calcolata secondo la seguente equazione (Paredes et al. 1999):

$$OM \text{ loss } (\%) = 100 - 100 [X_1(100 - X_2)] \div [X_2 (100 - X_1)]$$

Dove X_1 rappresenta il contenuto di ceneri al tempo 1 e X_2 il contenuto di ceneri al tempo 2.

pH

La determinazione del pH è stata effettuata tramite pHmetro sull'estratto acquoso del materiale secco (rapporto d'estrazione solido:liquido pari a 1:5 w/v).

Conducibilità elettrica

La determinazione della conducibilità elettrica (CE) è stata effettuata tramite conducimetro sull'estratto acquoso del materiale fresco (rapporto d'estrazione solido:liquido pari a 1:5 w/v).

Carbonio organico totale (TOC)

E' stato valutato attraverso il metodo di ossidazione ad umido con bicromato di potassio (metodo Walkley-Black). Il carbonio organico viene ossidato ad anidride carbonica, in condizioni standardizzate, con soluzione di potassio bicromato $K_2Cr_2O_7$ 1 N in presenza di acido solforico H_2SO_4 concentrato. La velocità della reazione viene favorita dall'innalzamento della temperatura conseguente alla brusca diluizione dell'acido. Dopo un tempo stabilito, la reazione viene interrotta per aggiunta di un opportuno volume di H_2O e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito viene determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$). Il punto finale della titolazione viene accertato con l'aggiunta di difenilammina, indicatore di ossidoriduzione.

Il calcolo della percentuale di carbonio organico totale viene effettuata secondo la seguente formula:

$$\% \text{ TOC} = \frac{(A - B) \times 0,5 \times 3}{P \times 10 \times 0,77}$$

Dove:

A sono i mL consumati per la titolazione del bianco

B sono i mL consumati per la titolazione del campione

0,5 è la N del ferro (II) solfato

3 è il peso equivalente di C

P è il peso del campione (g)

0,77 è il fattore di correzione.

Essendo l'andamento del C organico piuttosto variabile durante il processo, il valore di TOC può essere interpretato in modo più corretto correggendo il parametro attraverso la seguente formula:

$$TOC_{\text{corretto}} (\% \text{ s.s.}) = TOC (X_1 - X_2)$$

Dove X_1 rappresenta il contenuto iniziale di ceneri e X_2 il contenuto di ceneri al tempo t_2 .

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto ammoniacale, azoto organico

Il principio su cui si basa il metodo Kjeldahl è quello di sfruttare la mineralizzazione completa del campione con attacco acido con acido solforico concentrato in presenza di un catalizzatore e ad alta temperatura. Il residuo mineralizzato viene sottoposto a distillazione in corrente di vapore (foto 3.9) previa alcalinizzazione. In questo modo tutto l'azoto mineralizzato a ione ammonio si sposta, dopo condensazione, come ammoniaca in una beuta contenente una quantità nota di acido solforico 0,1N con il quale reagisce. Titolando con NaOH 0,1N l'eccesso di acido solforico, si può ricavare la quantità di azoto presente inizialmente nel campione.

Il calcolo per la determinazione dell'azoto viene effettuato con la seguente formula:

$$\% \text{ TKN} = \frac{(A - B) \times 0,1 \times 14 \times 2}{P \times 10}$$

Dove:

A sono i mL consumati per la titolazione del bianco

B sono i mL consumati per la titolazione del campione

0,1 è la N di NaOH

14 è il peso equivalente di N

2 è il fattore di diluizione

P è il peso del campione (g).

L'azoto ammoniacale viene invece determinato su un estratto acquoso del campione e successiva distillazione secondo Kjeldahl. Dalla differenza tra azoto totale ed azoto ammoniacale si ricava l'azoto organico.

Avendo a disposizione i dati di carbonio organico totale ed azoto totale, si può calcolare il rapporto C/N.



Foto 3.9: distillatore semiautomatico Kjeldahl

Grado di umificazione (DH)

A questo gruppo di analisi sono riconducibili quei procedimenti analitici volti alla determinazione del carbonio organico estraibile in soluzioni alcaline (TEC), al frazionamento e quantificazione del carbonio umificato (HA + FA) nella biomassa ed alla determinazione del grado di umificazione (DH%).

Il procedimento (Ciavatta et al.,1990) che è stato impiegato in questo lavoro è quello del frazionamento chimico del carbonio organico presente nel materiale; per la determinazione del TEC è stata effettuata un'estrazione a caldo ed in agitazione, per 24 h, di una quota in massa di campione alla quale è stata aggiunta una soluzione di NaOH 0,1N e $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1M. Dopo centrifugazione il surnatante è stato recuperato e utilizzato per determinare il TEC tramite analizzatore elementare (TOC-5050, Shimadzu Corp., Tokyo, Japan). Dal surnatante, tramite aggiunta di H_2SO_4 , è stata fatta precipitare la frazione umica (HA). Servendosi di una colonna cromatografica (resina PVP), dal surnatante è stato possibile separare la frazione non umica (NH, che non interagisce con la fase stazionaria) da quella fulvica (FA, che rimane legata alla fase stazionaria). Determinando la

concentrazione di carbonio organico della frazione NH, per differenza dal TEC, è stata determinata la componente HA+FA.

Di seguito è riportato uno schema (figura 3.1) che sintetizza la procedura di frazionamento chimico della sostanza organica.

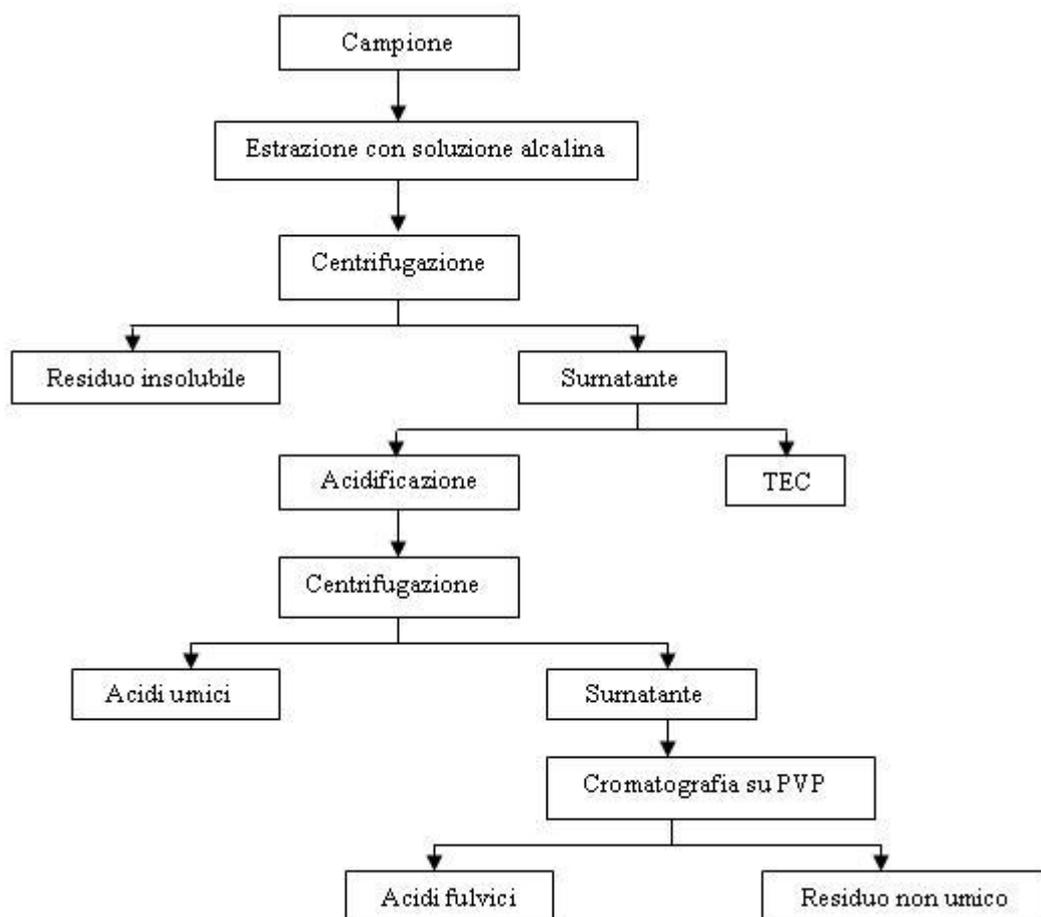


Figura 3.1: schema della procedura di frazionamento chimico della sostanza

In sintesi dall'estrazione e la purificazione della sostanza organica si ottengono quattro diverse frazioni:

1. TEC (Carbonio Estratto Totale): rappresenta il carbonio organico contenuto nell'estratto iniziale prima del frazionamento.
2. HA (Carbonio degli acidi umici): è il carbonio organico contenuto nella frazione solubile in alcali ma insolubile in acidi.
3. FA (Carbonio degli acidi fulvici): rappresenta la frazione organica solubile sia in alcali che in acidi, ottenuta per adsorbimento su resina PVP.

4. NH (carbonio non umico): rappresenta la frazione organica solubile in alcali e in acidi ma non trattenuta dalla resina in PVP; normalmente è identificata come frazione organica estratta ma non umificata.

Utilizzando le frazioni sopra elencate si ottiene il grado di umificazione:

$$\text{Grado di umificazione (DH \%s.s.)} = [(HA + FA) / \text{TEC}] \times 100$$

Il grado di umificazione (DH) è un parametro quali-quantitativo ed è direttamente correlato alla quantità di sostanze umiche estratte e teoricamente può oscillare tra 0 e 100.

Indice di germinabilità (GI)

La determinazione dell'indice di germinabilità, o indice di germinazione (GI%), è stata condotta per valutare la maturità del compost.

La determinazione di questo parametro si basa su di un test di fitotossicità (Zucconi et al., 1981 come modificata da Said-Pullicino et al., 2007), che prevede la valutazione dell'effetto di un estratto acquoso di compost sulla germinazione di semi di *Lepidium sativum*, una specie impiegata per i brevi tempi di germinazione. Di ogni campione è stato ottenuto l'estratto acquoso aggiungendo a 20 grammi di questo una quantità di acqua demineralizzata fino all'85% di umidità. L'estratto acquoso, debitamente centrifugato e filtrato, è stato poi utilizzato per ottenere una diluizione al 30% che è stata testata in piastre Petri su dieci semi, con cinque repliche (figura 3.2 a).

Le piastre sono state poi poste ad incubare 48 h a 25°C, alla fine della prova sono stati registrati il numero dei semi germinati e la lunghezza della radichetta (figura 3.2 b); i due valori sono stati combinati a formulare l'indice di germinabilità (figura 3.2 c).

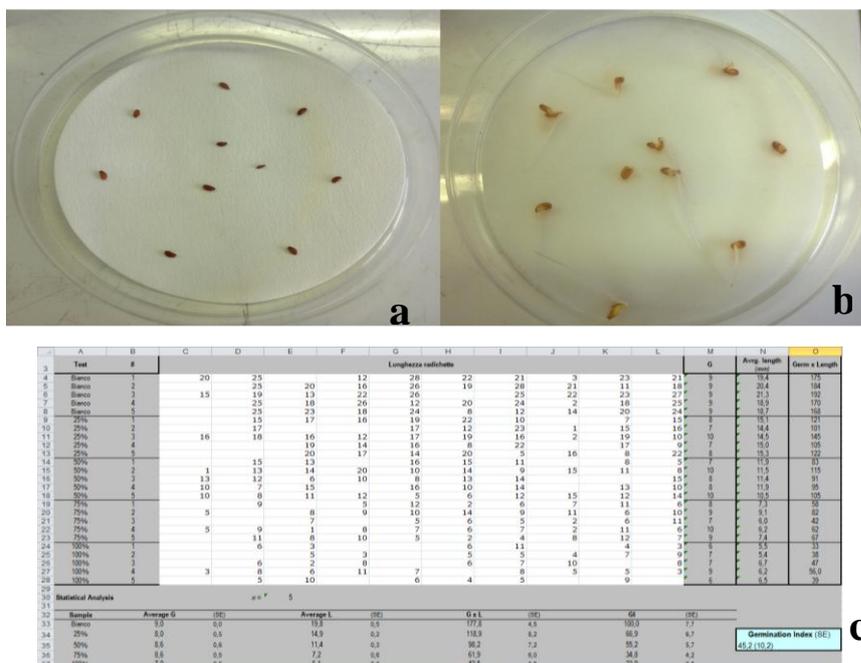


Figura 3.2: a) piastra Petri con 10 semi di *Lepidium sativum*. b) piastra Petri con semi germinati. c) schermata del programma excel per determinare il GI%.

Fosforo totale

Il fosforo totale (P%) è stato determinato tramite metodo spettrofotometrico nel campo del visibile previa mineralizzazione dei campioni con H_2SO_4 e $HClO_4$. Dalla reazione tra un'aliquota del mineralizzato con una soluzione molibdica in presenza di acido ascorbico si forma un complesso fosfomolibdico che assorbe la radiazione elettromagnetica alla lunghezza d'onda di 650 nm.

Determinazione dei metalli

La determinazione dei metalli presenti nelle biomasse analizzate è preceduta da una digestione dei campioni in HNO_3 e perossido di idrogeno, secondo la procedura US EPA 3050B.

Sui campioni così digeriti sono stati determinati, nichel (Ni), rame (Cu), zinco (Zn), piombo (Pb), cadmio (Cd), e cromo (Cr), tramite spettrofotometria in assorbimento atomico (Shimadzu AA-6800). Potassio (K) e mercurio (Hg) sono stati invece determinati rispettivamente mediante spettroscopia di emissione di fiamma e spettroscopia atomica con generatore di idruri.

4 RISULTATI

Vengono di seguito descritti i risultati scaturiti dall'analisi chimico-fisica delle sei prove di compostaggio previste dal progetto Ecompost.

Per ogni cumulo è riportata una tabella di riepilogo dei relativi risultati ottenuti, la quale include, inoltre, i limiti che gli ammendanti compostati devono possedere in vista di un'eventuale commercializzazione ai sensi del D.lgs. 75/2010.

Per le prime quattro prove (cumuli A, B, C e D) è stata prevista la caratterizzazione di inizio e fine processo, mentre per i cumuli E ed F è stato effettuato il monitoraggio dell'intero processo.

Viene inoltre riportata la caratterizzazione dei cumuli G ed H ottenuti dal compostaggio di RSU e digestato, al fine di operare un confronto qualitativo tra quest'ultimi ed i cumuli ottenuti dal compostaggio di sottoprodotti delle filiere olivicola-olearia e vitivinicola.

4.1 CUMULO A

In tabella 4.1 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	Patè Pieralisi + residui potatura + paglia
Rapporto matrici iniziali	70:22:8 p/p
Tipo di cumulo	Cassone chiuso
Tipo di caratterizzazione	Inizio-fine
Localizzazione	Deruta
Data inizio	17-mar-14
Data fine	09-set-14

Tabella 4.1: identificazione del cumulo

Tutti i risultati analitici ad inizio e fine processo ottenuti per il cumulo A sono riportati in tabella 4.2.

Parametro	Unità di misura	Inizio 17/03/2014	Dev. STD	Fine 09/09/2014	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	65,73	0,17	57,92	3,20	< 50
ST	%	34,27	-	42,08	-	
Ceneri	%	7,75	0,20	11,34	0,06	
SV	%	92,25	-	88,66	-	
OM Loss	%	n.a.*	-	34,32	-	
pH	unità di pH	5,20	0,01	6,50	0,05	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	4,49	0,13	10,37	0,06	
TOC	% s.s.	47,66	6,24	40,23	0,96	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	27,49	-	
TNK	% s.s.	0,86	0,11	2,17	0,08	
C/N		55,42	-	18,63	-	< 25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,12	0,04	0,03	0,00	
N-organico	% s.s.	0,74	-	2,14	-	
N-organico/TNK	%	86,04	-	98,62	-	80 (min)
TEC	% s.s.	23,87	0,99	23,38	0,89	
HA+FA	% s.s.	16,43	-	18,51	-	7 (min)
DH	%	68,84	-	80,05	-	
P totale	% s.s.	0,54	0,00	0,65	0,20	
K totale	% s.s.	1,29	0,01	2,44	0,16	
Cu totale	mg/kg	15,76	0,28	64,52	0,00	< 230
Zn totale	mg/kg	200,00	26,87	211,00	41,01	< 500
Pb totale	mg/kg	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 140
Ni totale	mg/kg	8,53	2,28	11,87	0,69	< 100
Cd totale	mg/kg	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 1,5
Cr totale	mg/kg	38,98	8,12	97,14	14,37	
Hg totale	mg/kg	0,20	0,03	0,21	0,01	< 1,5
IG	%	nd	-	78,70	2,10	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	< 0,5

Tabella 4.2: parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo A.

* n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato

Umidità

La problematica principale del compostaggio del cumulo A era l'elevata percentuale di acqua di vegetazione che presentava il substrato principale che in questo caso è rappresentato dal paté Pieralisi. Tuttavia l'adeguato apporto di materiali strutturanti, quali paglia e residui di potatura, ha permesso di raggiungere un livello ottimale di umidità all'inizio del processo di compostaggio pari al 65,73%, per arrivare ad attestarsi intorno al 57% nel compost maturo. Nonostante il compostaggio al chiuso abbia evitato l'interferenza nel processo di fenomeni atmosferici, quali le precipitazioni, e l'aerazione forzata abbia favorito l'evaporazione dell'acqua in eccesso, il limite è ancora superiore a quello stabilito dalla 75/2010.

Solidi volatili (SV)

I solidi volatili, che rappresentano la frazione organica del campione, forniscono indicazioni riguardanti l'entità di degradazione della sostanza organica essendo calcolati come complemento a 100 delle ceneri. La percentuale di solidi volatili all'inizio del compostaggio del cumulo A si attesta sul 92,25%, tale valore decresce durante il processo, con andamento atteso, fino all'88,66%.

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

Alla fine del processo di compostaggio del cumulo A, l'OM loss è pari al 34,32%. Tale valore risulta tuttavia inferiore a quelli riportati nel compostaggio di sanse provenienti da sistema a due fasi, paglia e residui di potatura, i quali si attestano sul 47,1 e 48% (Gigliotti et al. 2011). La minor perdita può essere dovuta sia alla presenza di composti organici relativamente stabili probabilmente rappresentati da lipidi, polifenoli e pectina (Gigliotti et al. 2011), sia all'instaurarsi di condizioni non ottimali allo svolgimento del processo.

pH e conducibilità elettrica specifica (CE)

Il cumulo A è quello che mostrava valori iniziali di pH (5,20) più bassi rispetto alle altre prove di compostaggio. Tali valori possono essere attribuiti oltre alla natura acida della matrice utilizzata (paté Pieralisi), anche dal fatto che l'umidità elevata che questa presenta può aver comportato l'instaurarsi di processi anaerobici già nella fase di stoccaggio, ovvero prima della miscelazione con le

altre matrici iniziali, per cui i bassi livelli di pH si sono ritrovati anche all'inizio del compostaggio. Tuttavia nel corso del processo il valore tende ad innalzarsi fino 6,5, rientrando nei parametri imposti dalla 75/10.

I sali solubili stimati grazie alla misura della conducibilità elettrica specifica si attestano su 4,49 mS/cm all'inizio del processo per poi passare a 10,37 mS/cm. Seppure l'aumento del parametro della CE è atteso durante lo svolgimento del processo, risulta comunque un valore superiore rispetto alle altre prove di compostaggio. Ciò è probabilmente da attribuirsi al maggior contenuto di sali solubili che presenta la sansa proveniente dal decanter Perialisi rispetto alla sansa da sistema a tre fasi, mostrando un contenuto più elevato di acque di vegetazione (Gigliotti et al., 2011).

La salinità, in particolare nel caso delle coltivazioni in contenitore, è un fattore limitante se superiore a certi limiti (1,5-2,0 mS/cm). Pertanto un compost con tali valori di CE ha limitate possibilità di impiego in quelle attività florovivaistiche che prevedono la coltivazione in vaso (Centemero et al., 2003).

Carbonio organico totale (TOC)

Il TOC, nel cumulo A, si attesta intorno al 47,66% nella miscela ad inizio processo, ed al 40,23% nel compost finito. In base alla 75/2010 il TOC deve corrispondere ad un minimo del 25% al fine della commercializzazione, il valore risultante dall'analisi vi rientra quindi abbondantemente. La diminuzione del TOC nel corso del processo, conferma la perdita di materia organica, già messa in evidenza dall'andamento dei SV e dal valore di OM loss.

La variazione della percentuale di TOC si evidenzia meglio con il parametro del $TOC_{corretto}$ il quale si attesta sul 27,49% alla fine del processo di compostaggio.

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto organico, azoto ammoniacale e rapporto C/N

Il contenuto di azoto totale nel compost ottenuto dal cumulo A aumenta passando da un valore iniziale di 0,86 ad un valore finale di 2,17%, così come il contenuto di N organico rispetto a quello totale il quale passa dall'86,04% al 98,62%. La legislazione non stabilisce limiti all'N totale, ma pone un limite minimo di N organico rispetto all'N totale ($\geq 80\%$), valore che risulta perfettamente rispettato. Il

contenuto in N totale del compost in esame rende il materiale piuttosto interessante anche dal punto di vista dell'apporto di tale nutriente al suolo.

Nonostante il rapporto C/N si attesti, all'inizio della prova, su un valore di 55,42, il quale potrebbe risultare non adeguato all'instaurarsi di un corretto processo di compostaggio, decresce durante la prova raggiungendo il valore di 18,63, rientrando perfettamente nei limiti imposti dal D.lgs. 75/10.

Grado di umificazione (DH)

I risultati ottenuti dal compostaggio del cumulo A permettono di osservare come il carbonio totale estraibile (TEC) resti pressappoco costante nel corso del processo, come risultato di un equilibrio dinamico tra C mineralizzato e sostanze umosimili di neosintesi. Il grado di umificazione (DH) durante il processo aumenta dal 68,84 fino all'80%, valore che corrisponde ad un'ottima qualità della sostanza organica, considerando che il grado di umificazione riscontrato nel compostaggio di matrici organiche è di circa il 60%. Per la valutazione della qualità della SO, la 75/2010 prevede, tuttavia, la determinazione della somma tra acidi umici e fulvici, la quale deve essere superiore al 7%, valore che risulta rispettato dal compost finale (18,51%).

Indice di germinabilità (GI)

L'indice di germinabilità permette di definire la maturità di un compost e la conseguente assenza di sostanze fitotossiche, rappresentate nelle sanse umide prevalentemente da composti fenolici.

Dal momento che la legislazione vigente sulla commercializzazione dei fertilizzanti prevede la determinazione dell'IG unicamente sul campione di compost finale diluito al 30%, verranno riportati esclusivamente i risultati di queste analisi.

Il compost finale risultante dal compostaggio del cumulo A mostra un indice di germinabilità pari al 78,70%. Il risultato ottenuto consente di affermare che il compost prodotto rientra nei parametri di legge ($GI > 60\%$) e che le sostanze potenzialmente fitotossiche presenti nelle matrici iniziali sono state metabolizzate nel corso del processo.

Fosforo, potassio e metalli pesanti

Se non vi sono perdite dovute a lisciviazione, P e K tendono a rimanere costanti nel corso del processo di compostaggio, un'eventuale crescita corrisponde in realtà ad un aumento in concentrazione conseguente alla riduzione della massa.

P e K nel cumulo A seguono questo andamento. Il compost finale ottenuto mostra un contenuto di K molto superiore rispetto agli altri compost (2,44% s.s.), ed un contenuto di P pari a 0,65%. Nonostante il basso quantitativo di P è necessario considerare che l'apporto di fosforo in forma organica procura una fertilizzazione migliore rispetto a qualsiasi concimazione minerale, in particolare in suoli calcarei come quelli italiani in quanto il P organico non va incontro ai noti fenomeni di insolubilizzazione.

Per quanto riguarda il contenuto di metalli pesanti, considerando le matrici iniziali utilizzate (paté Pieralisi, residui di potatura e paglia), non si attendeva la presenza di elevate concentrazioni. Infatti nel compost finale ottenuto non si sono riscontrati quantitativi anomali dei metalli analizzati, tanto che rientrano tutti perfettamente nei limiti legislativi.

In conclusione il compost ottenuto dal trattamento di sansa paté e residui lignocellulosici in biocontainer con insufflazione di aria, mostra ottime caratteristiche agronomiche ed ambientali. L'eccesso di umidità rispetto a quanto stabilito dalla legislazione vigente può essere eliminato prolungando il tempo di maturazione, o prevedendo un rivoltamento della massa in maturazione, operazione che favorisce in tutti i casi la perdita di umidità.

4.2 CUMULO B

In tabella 4.3 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	Sansa da sistema a tre fasi + raspi
Rapporto matrici iniziali	100:8 p/p
Tipo di cumulo	All'aperto
Tipo di caratterizzazione	Inizio-fine
Localizzazione	Spello
Data inizio	17-mar-14
Data fine	09-set-14

Tabella 4.3: identificazione del cumulo.

Tutti i risultati analitici ad inizio e fine processo ottenuti per il cumulo B sono riportati in tabella 4.4.

Parametro	Unità di misura	Inizio 17/03/2014	Dev. STD	Fine 09/09/2014	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	56,16	3,37	28,30	1,60	< 50
ST	%	43,84	-	71,70	-	
Ceneri	%	13,57	3,46	30,07	2,65	
SV	%	86,43	-	69,93	-	
OM Loss	%	n.a.*	-	63,49	-	
pH	unità di pH	6,56	0,03	8,10	0,07	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	1,18	0,11	3,29	0,24	
TOC	% s.s.	47,32	8,13	47,30	1,30	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	21,35	-	
TNK	% s.s.	0,98	0,12	2,90	0,50	
C/N		48,29	-	16,31	-	< 25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,05	0,02	0,20	0,08	
N-organico	% s.s.	0,93	-	2,70	-	
N-organico/TNK	%	94,90	-	93,10	-	80 (min)
TEC	% s.s.	13,29	0,73	20,46	0,32	
DH	%	66,98	-	69,40	-	
HA+FA	% s.s.	8,90	-	14,20	-	7 (min)
P totale	% s.s.	0,83	0,01	0,51	0,05	
K totale	% s.s.	0,91	0,02	0,33	0,02	
Cu totale	mg/kg	35,72	3,00	57,10	0,50	< 230
Zn totale	mg/kg	72,50	17,68	69,00	1,00	< 500
Pb totale	mg/kg	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 140
Ni totale	mg/kg	13,61	0,35	12,60	1,10	< 100
Cd totale	mg/kg	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 1,5
Cr totale	mg/kg	53,74	3,51	61,18	6,30	
Hg totale	mg/kg	0,20	0,00			< 1,5
IG	%	nd	-	88,32	2,40	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	< 0,5

Tabella 4.4: parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo B.

* n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato

Umidità

L'umidità rilevata nel cumulo B all'inizio del processo è pari al 56,16% e raggiunge il 28,30% nel compost finale, valore che rientra perfettamente nel limite legislativo. La perdita di umidità risulta essere la più alta tra tutte le prove di compostaggio effettuate. Infatti, nonostante il processo si sia svolto in cumulo all'aperto e quindi più soggetto ad eventi meteorici, si è assistito ad una diminuzione pari al 27,86%. La causa più probabile può essere attribuita al materiale strutturante utilizzato nella miscela, che in questo caso è rappresentato da raspi provenienti dalla filiera viti-vinicola. Questi, favorendo una minore densità apparente nella massa, hanno portato un'ottimale circolazione di ossigeno e di conseguenza maggiori perdite di acqua per evaporazione rispetto alle altre prove.

Solidi volatili (SV)

Nel compostaggio del cumulo B i SV risultano seguire l'andamento atteso dal processo, si riducono infatti passando dall'86,43% al 69,93%.

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

L'OM loss alla fine del processo di compostaggio del cumulo B è pari al 63,49%, valore che si avvicina a quelli riportati in letteratura per il compostaggio di fanghi di depurazione e liquami zootecnici (55 e 68%) (Garcia-Gomez et al., 2003), ma risulta più alto rispetto ai valori riportati per il compostaggio di sanse umide (47,1 e 48%) (Gigliotti et al. 2011).

pH e conducibilità elettrica specifica (CE)

Il valore di pH iniziale del cumulo B si attestava su valori ottimali per l'instaurarsi del processo di compostaggio (6,56), per poi arrivare ad 8,10, valore che rientra perfettamente nei limiti legislativi nonché agronomici.

Il parametro della CE riporta un andamento atteso durante lo svolgimento del processo, passando da 1,18 mS/cm a 3,29 mS/cm.

Carbonio organico totale (TOC)

Il carbonio totale durante il processo di compostaggio dovrebbe subire una decrescita a causa dell'attività dei microrganismi nella respirazione aerobica.

Tuttavia i valori di TOC, nel cumulo B, non seguono questo andamento poiché si attestano intorno al 47,32% nella miscela iniziale, ed al 47,30% nel compost finito. La perdita di C organico può quindi essere meglio apprezzata con il parametro del TOC_{corretto} il quale si attesta sul 21,35% nel campione finale. La percentuale di TOC sulla sostanza secca rientra ampiamente nel limite legislativo (min 25%).

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto organico, azoto ammoniacale e rapporto C/N

Il cumulo B presentava un iniziale rapporto C/N pari a 48,29, ma nel corso del processo subisce una riduzione fino al valore di 16,31. L'N totale subisce un aumento in concentrazione passando da un valore di 0,98 a 2,90%. Nonostante ciò si evidenzia nel compost finito una minor percentuale di N organico rispetto all'N totale (94,90% e 93,10% rispettivamente all'inizio ed alla fine del processo).

Pur non potendo confermare l'effettiva stabilità del compost tramite metodi respirometrici non applicati nella presente sperimentazione, il rapporto C/N e la percentuale di N organico riscontrati alla fine del processo, confermano un adeguato svolgimento del processo, nonché la conformità legislativa.

Grado di umificazione (DH)

La percentuale di TEC aumenta durante il compostaggio del cumulo B, parallelamente alla componente di acidi umici e fulvici (HA+FA) che passa da 8,90 a 14,20%, rientrando nei limiti di legge (>7%). Anche il grado di umificazione (DH) subisce un incremento dal 66,98 al 69,40%, presentando tuttavia un valore inferiore rispetto a quello riscontrato nelle altre prove di compostaggio.

Indice di germinabilità (GI)

L'indice di germinabilità del compost proveniente dal cumulo B è pari a 88,32%, risulta perciò aver raggiunto un buon grado di maturità ed aver perso ogni fitotossicità, rientrando perfettamente nei parametri legislativi.

Fosforo, potassio e metalli pesanti

Potassio e fosforo durante il processo dovrebbero tendenzialmente rimanere costanti, ma nel corso del compostaggio del cumulo B si è assistito ad una riduzione di entrambi. Ciò può essere attribuito principalmente a perdite per lisciviazione. Infatti essendo il cumulo costituito all'aperto, può aver subito durante il processo l'influenza delle condizioni meteoriche, le quali hanno portato al dilavamento delle forme solubili di P e K.

Considerando le matrici iniziali utilizzate per il compostaggio del cumulo B (sansa umida e raspi), non si attendeva la presenza di elevate concentrazioni di metalli pesanti, che infatti rientrano tutti perfettamente nei limiti dettati dal decreto 75/2010.

In conclusione, i parametri del compost finale ottenuto dal cumulo B rientrano perfettamente in quelli di legge, dimostrando un'ottima evoluzione del processo, nonostante la prova si sia svolta all'aperto e sotto l'influenza delle condizioni meteoriche. Il compost inoltre presenta dal punto di vista agronomico, caratteristiche finali che ne confermano un'eccellente possibilità di utilizzazione come ammendante.

4.3 CUMULO C

In tabella 4.6 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	Sansa da sistema a tre fasi + foglie di olivo + letame
Rapporto matrici iniziali	60:10:30 p/p
Tipo di cumulo	All'aperto
Tipo di caratterizzazione	Inizio-fine
Localizzazione	Foligno
Data inizio	20-mag-14
Data fine	09-set-14

Tabella 4.6: identificazione del cumulo

Tutti i risultati analitici ad inizio e fine processo ottenuti per il cumulo C sono riportati in tabella 4.7.

Parametro	Unità di misura	Inizio 20/05/2014	Dev. STD	Fine 09/09/2014	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	62,71	0,59	69,33	0,99	< 50
ST	%	37,29	-	30,67	-	
Ceneri	%	12,61	0,00	17,19	0,01	
SV	%	87,39	-	82,81	-	
OM Loss	%	n.a.*	-	30,49		
pH	unità di pH	6,09	0,04	8,17	0,04	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	3,51	0,13	3,67	0,21	
TOC	% s.s.	37,89	2,62	41,36	3,64	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	30,34	-	
TNK	% s.s.	1,34	0,16	1,38	0,12	
C/N		28,27	-	29,97	-	< 25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,11	0,03	0,22	0,04	
N-organico	% s.s.	1,23	-	1,16	-	
N-organico/TNK	%	91,79	-	84,05	-	80 (min)
TEC	% s.s.	21,48	0,601	13,14	0,904	
DH	%	78,79	-	76,18	-	
HA+FA	% s.s.	16,92	-	10,01	-	7 (min)
P totale	% s.s.	0,84	0,00	0,92	0,16	
K totale	% s.s.	0,81	0,01	1,03	0,12	
Cu totale	mg/kg	43,40	3,25	33,70	5,57	< 230
Zn totale	mg/kg	268,50	24,75	204,50	9,19	< 500
Pb totale	mg/kg	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 140
Ni totale	mg/kg	10,64	1,05	12,36	0,00	< 100
Cd totale	mg/kg	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 1,5
Cr totale	mg/kg	20,20	6,65	46,17	6,18	
Hg totale	mg/kg	0,21	0,00	0,22	0,00	1,5
IG	%	nd	-	83,80	2,20	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	0,5

Tabella 4.7: Parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo C.

* n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato

Umidità

Nel compostaggio del cumulo C, è subito evidente la problematica dell'umidità della massa; infatti questa aumenta durante il processo invece che diminuire, passando dal 62,71 al 69,33%. Rispetto agli altri cumuli compostati all'aperto, è

l'unico a presentare un incremento di umidità così elevato, il che può far supporre sia ad una minore evaporazione conseguenza di una densità apparente troppo elevata, sia all'influenza delle precipitazioni al momento del prelievo del campione, molto copiose nel mese di settembre 2014.

Solidi volatili (SV)

I solidi volatili durante il compostaggio decrescono seguendo l'andamento atteso dal processo, passando da 87,39 nel campione iniziale a 82,81% nel compost finale.

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

Il cumulo C ed il cumulo A, sono le uniche prove di compostaggio in cui la perdita di SO risulta molto più attenuata (circa 30%) rispetto a quella registrata nel compostaggio delle altre prove sperimentali (circa 60%). Questa tendenza, tuttavia, non si riscontra nel cumulo D, costituito dalla stessa miscela iniziale del cumulo C, in cui si evidenzia invece una perdita maggiore di SO pari a circa il 60%. La causa di ciò può essere quindi attribuita a condizioni non ottimali nello svolgimento del processo (ad esempio eccesso di acqua, scarsa aereazione, o bassa temperatura), dovute probabilmente alla diversa tipologia di compostaggio adottata per le due prove (all'aperto e nel biocontainer).

pH e conducibilità elettrica specifica (CE)

I valori di pH e di CE crescono durante il compostaggio, come è normalmente atteso dal progredire del processo, fino a raggiungere nel compost finale i valori di 8,17 per il pH e 3,67 mS/cm per la CE. Il valore di pH rientra nei limiti stabiliti dalla legge.

Carbonio organico totale (TOC)

Il C organico, nel cumulo C, si attesta intorno al 37,89% nella miscela appena compostata, ed al 41,36% nel compost finito. L'aumento del valore di TOC alla fine del processo è inusuale, in quanto dovrebbe in realtà subire una riduzione causata dall'attività dei microrganismi che porta alla mineralizzazione e quindi alla perdita di C sotto forma di anidride carbonica. Per verificare l'effettiva perdita

di C organico possiamo sfruttare il parametro del TOC_{corretto} il quale riporta in effetti un valore di 30,34%.

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto organico, azoto ammoniacale e rapporto C/N

Nonostante la percentuale di TKN resti pressoché costante durante il compostaggio del cumulo C (da 1,34% passa ad 1,38% alla fine del processo), si verifica una riduzione della percentuale di N organico sull'N totale, da 94,11% all'inizio del processo a 84,05% nel compost finale. Tale diminuzione può essere attribuita ad un accumulo di azoto ammoniacale conseguente a fenomeni di mineralizzazione, senza evidentemente perdite sotto forma di ammoniaca. In effetti il pH inizialmente sub-acido e contemporanee temperature non eccessivamente elevate possono aver favorito l'accumulo di ione ammonio senza perdite gassose.

La conferma si ha nell'aumento percentuale dell'N ammoniacale rispetto al TKN, che passa da un valore di circa l'8% nel campione iniziale a circa il 15% nel compost finale, e nell'incremento del parametro del C/N, il quale raggiunge alla fine del compostaggio il valore di 29,97 escludendo tale ammendante dalla commercializzazione e dal possibile impiego agronomico.

Grado di umificazione (DH)

La percentuale di TEC diminuisce durante il compostaggio del cumulo C, così come la componente di acidi umici e fulvici (HA+FA) la quale passa da un valore di 16,92 a 10,01%, rimanendo tuttavia nei limiti imposti dalla 75/10 (>7%). Parallelamente anche il grado di umificazione, risultando dal rapporto tra il contenuto di carbonio organico umico e quello di carbonio organico totale estraibile, diminuisce invece che aumentare passando dal 78,79% al 76,18% alla fine del compostaggio. Anche questo valore conferma un non ottimale svolgimento del processo di compostaggio.

Indice di germinabilità (GI)

Il compost finale ottenuto dal compostaggio del cumulo C, nonostante le problematiche riscontrate nell'evoluzione del processo, ha un indice di

germinabilità pari all'83,80%, il che esclude la presenza di fitotossicità e permette l'idoneità alla commercializzazione almeno per quanto riguarda questo parametro.

Fosforo, potassio e metalli pesanti

Il cumulo C presenta una percentuale di P e K pari rispettivamente a 0,92 e 1,03%.

Per quanto riguarda il contenuto di metalli pesanti, questi risultano rientrare perfettamente nei limiti del D.lgs. 75/10, nonostante la miscela costituente il cumulo C fosse formata per il 30% da letame equino e poteva quindi presentare un'elevata quantità di Zn e Cu.

In conclusione è possibile affermare che il compost ottenuto dal compostaggio del cumulo C (sansa, foglie di olivo e letame), oltre a presentare alcuni parametri non conformi con quelli stabiliti dalla 75/10, presenta uno scarso valore agronomico, che si manifesta principalmente nell'eccessivo contenuto di umidità e nell'elevato rapporto C/N. Quest'ultimo in particolare riveste un ruolo fondamentale per la fertilità del suolo: infatti apportando al terreno un materiale compostato con un rapporto C/N troppo elevato, si possono avere squilibri a livello di popolazione microbica presente, la quale non trovando quantitativi di azoto sufficienti alla sua moltiplicazione, li preleva dalla soluzione del suolo che di conseguenza viene ad esserne impoverita.

4.4 CUMULO D

In tabella 4.8 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	Sansa da sistema a tre fasi + foglie di olivo + letame
Rapporto matrici iniziali	60:10:30 p/p
Tipo di cumulo	Chiuso
Tipo di caratterizzazione	Inizio-fine
Localizzazione	Foligno
Data inizio	20-mag-14
Data fine	09-set-14

Tabella 4.8: identificazione del cumulo

Tutti i risultati analitici ad inizio e fine processo ottenuti per il cumulo D sono riportati in tabella 4.9.

Parametro	Unità di misura	Inizio 20/05/2014	Dev. STD	Fine 09/09/2014	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	62,71	0,59	57,48	1,20	< 50
ST	%	37,29	-	42,52	-	
Ceneri	%	12,61	0,00	27,90	2,53	
SV	%	87,39	-	72,10	-	
OM Loss	%	n.a.*	-	62,71	-	
pH	unità di pH	6,09	0,04	6,88	0,05	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	3,51	0,13	2,20	0,08	
TOC	% s.s.	37,89	2,62	41,92	10,80	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	18,95	-	
TNK	% s.s.	1,34	0,16	1,17	0,13	
C/N		28,27	-	35,83	-	< 25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,11	0,03	0,22	0,04	
N-organico	% s.s.	1,23	-	0,95	-	
N-organico/TNK	%	91,79	-	81,20	-	80 (min)
TEC	% s.s.	21,48	0,601	16,52	0,54	
DH	%	78,79	-	77,98	-	
HA+FA	% s.s.	16,92	-	12,88	-	7 (min)
P totale	% s.s.	0,84	0,00	0,85	0,11	
K totale	% s.s.	0,81	0,01	0,71	0,00	
Cu totale	mg/kg	43,40	3,25	38,99	1,63	< 230
Zn totale	mg/kg	268,50	24,75	202,00	31,11	< 500
Pb totale	mg/kg	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 140
Ni totale	mg/kg	10,64	1,05	9,40	2,09	< 100
Cd totale	mg/kg	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 1,5
Cr totale	mg/kg	20,20	6,65	34,59	1,80	
Hg totale	mg/kg	0,21	0,00	0,23	0,01	< 1,5
IG	%	nd	-	82,10	2,30	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	0,5

Tabella 4.9: Parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo D.

* n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato

Umidità

L'umidità rilevata nel cumulo D all'inizio del processo è pari al 62,71% e raggiunge il 57,48% alla fine del compostaggio. Sebbene la prova si sia svolta in biocontainer con insufflazione di aria, l'umidità non decade in maniera ottimale né tantomeno raggiunge il limite del 50% previsto dalla 75/10.

Solidi volatili (SV)

La miscela impiegata per la creazione del cumulo D è la stessa utilizzata nella creazione del cumulo C, infatti i solidi volatili nei campioni iniziali delle due prove sono pari ad 87,39%, tuttavia il cumulo D mostra un maggior decremento dei SV attestandosi sul 72,10% nel compost finale, rispetto all'82,81% del cumulo C.

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

L'OM loss alla fine del processo di compostaggio del cumulo D è pari a 62,71%. Valori simili si registrano anche nel compostaggio dei cumuli B ed E.

pH e conducibilità elettrica specifica (CE)

I valori di pH e di CE nel compost finale si attestano rispettivamente su 6,88 e 2,20 mS/cm, ma il pH finale, pur rientrando nei limiti legislativi, non sembra aver subito un rilevante incremento rispetto a quello iniziale di 6,09, come invece si verifica nelle altre prove di compostaggio. Andamento anomalo è evidente anche per il parametro della CE che non registra un aumento in concentrazione di sali solubili ma bensì un decremento. Tali valori potrebbero essere conseguenza dell'interferenza nel corso del processo di eventi meteorici: infatti nonostante la prova si sia svolta in biocontainer protetto da telo in poliestere, non si esclude l'influenza nel processo di fenomeni piovosi.

Carbonio organico totale (TOC)

Il C organico, nel cumulo D segue lo stesso andamento verificato nel cumulo C: è pari al 37,89% nella miscela appena compostata, e raggiunge il 41,92% nel compost finito. Il TOC_{corretto} si attesta su 18,95%.

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto organico, azoto ammoniacale e rapporto C/N

Le problematiche riscontrate nel compostaggio del cumulo C si ritrovano anche nel cumulo D, essendo costituiti dalla stessa miscela iniziale. Tuttavia a differenza del precedente, nel cumulo D si verifica, alla fine del processo, una maggior perdita di N organico, ed un maggior rapporto C/N (35,83), molto al di sopra del limite imposto dalla 75/10.

Grado di umificazione (DH)

Così come nel cumulo C, anche nel compostaggio del cumulo D, il grado di umificazione diminuisce invece che aumentare, passando da un valore di 78,79% a 77,98%. Anche la percentuale di HA+FA subisce un decremento durante il compostaggio, fino ad attestarsi sul valore di 12,88%, comunque superiore al livello minimo del 7% previsto dalla legislazione.

Indice di germinabilità (GI)

Il compost finale ottenuto dal compostaggio del cumulo D, nonostante le problematiche riscontrate nell'evoluzione del processo, ha un indice di germinabilità pari all'82,10%, il che esclude la presenza di fitotossicità e permette l' idoneità alla commercializzazione almeno per quanto riguarda questo parametro.

Fosforo, potassio e metalli pesanti

Il cumulo D presenta una percentuale di P e K pari rispettivamente a 0,85 e 0,71%, mentre il contenuto di metalli pesanti risulta rientrare perfettamente nei limiti del D.lgs. 75/10, nonostante la miscela fosse formata per il 30% da letame.

Si può affermare, concludendo, che il compost ottenuto dal compostaggio del cumulo D in biocontainer con aerazione forzata, presenta valori di umidità e di rapporto C/N tali da escluderne la conformità con la 75/10 e di conseguenza una possibile commercializzazione. In questo caso neanche l'insufflazione di aria alla massa in compostaggio è riuscita ad attenuare le caratteristiche negative che presenta il compost finale.

4.5 CUMULO E

In tabella 4.10 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	Sansa da sistema a tre fasi + residui di potatura+ pollina
Rapporto matrici iniziali	60:20:20 p/p
Tipo di cumulo	Aperto
Tipo di caratterizzazione	Monitoraggio del processo
Localizzazione	Foligno
Data inizio	17-mar-14
Data fine	09-set-14

Tabella 4.10: identificazione del cumulo

Tutti i risultati analitici ottenuti per il cumulo E sono riportati in tabella 4.11.

Parametro	Unità di misura	Inizio 17/03/2014	Dev. STD	I 11/04/2014	Dev. STD	II 28/05/2014	Dev. STD	III 27/07/2014	Dev. STD	Fine 09/09/2014	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	62,93	0,69	56,81	0,56	58,86	0,18	53,65	0,27	52,62	3,78	≤50
ST	%	37,07	-	43,19	-	41,14	-	46,35	-	47,38	-	
Ceneri	%	5,11	1,17	11,68	0,18	13,16	1,57	20,32	0,37	14,00	1,41	
SV	%	94,89	-	88,32	-	86,84	-	79,68	-	86,00	-	
OM Loss	%	0,00	n.a.*	59,28	-	64,46	-	78,88	-	66,92	-	
pH	unità di pH	5,64	0,33	5,73	0,00	6,08	0,01	7,33	0,10	6,63	0,06	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	2,30	0,42	4,64	0,09	3,69	0,08	5,57	1,17	4,46	0,00	
TOC	% s.s.	46,93	2,12	38,67	0,96	57,47	3,30	36,60	11,27	42,31	8,04	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	16,92	-	22,32	-	9,20	-	15,44	-	
TNK	% s.s.	1,95	0,12	3,62	0,20	3,31	0,16	4,18	0,11	3,22	0,16	
C/N		24,07	-	10,68	-	17,36	-	8,76	-	13,14	-	25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,49	0,06	0,97	0,10	0,46	0,12	0,24	0,06	0,36	0,04	
N-organico	% s.s.	1,46	-	2,65	-	2,85	-	3,94	-	2,86	-	
N-organico/TNK	%	73,74	-	73,20	-	86,10	-	94,26	-	88,82	-	80 (min)
TEC	% s.s.	15,68	0,409	23,27	0,298	15,83	0,546	13,14	0,834	18,37	1,036	
DH	%	68,30	-	76,48	-	75,55	-	72,62	-	82,13	-	
HA+FA	% s.s.	10,71	-	17,80	-	11,96	-	9,54	-	15,09	-	7 (min)
P totale	% s.s.	1,02	0,29	1,19	0,26	0,99	0,30	1,23	0,00	1,07	0,00	
K totale	% s.s.	0,60	0,08	0,94	0,08	0,86	0,01	1,01	0,03	0,87	0,00	
Cu totale	mg/kg	29,58	4,07	49,54	0,82	49,92	1,36	72,77	2,45	47,72	3,39	≤230
Zn totale	mg/kg	173,00	4,24	188,50	4,95	198,50	0,71	285,50	2,12	184,50	0,70	≤500
Pb totale	mg/kg	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 1,00**	-	≤140
Ni totale	mg/kg	8,66	1,75	11,13	1,74	8,17	0,35	11,26	2,97	10,89	1,40	≤100
Cd totale	mg/kg	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 0,20**	-	≤1,5
Cr totale	mg/kg	14,06	4,61	12,63	0,38	14,20	0,00	11,84	0,00	40,10	7,18	
Hg totale	mg/kg	0,21	0,02	0,20	0,00	0,20	0,01	0,21	0,03	0,23	0,02	≤1,5
IG	%	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-	61,40	1,10	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	0,5

Tabella 4.11: Parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo E. * n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato

Umidità

La percentuale di umidità nel cumulo E decresce durante lo svolgimento del processo, passando dal 62,93% al 52,62%. Tuttavia, essendo la prova svolta all'aperto e quindi più soggetta alle condizioni atmosferiche, l'umidità del compost finale risulta ancora leggermente superiore al limite previsto dal D.lgs. 75/10.

Solidi volatili (SV)

Il contenuto di solidi volatili nel cumulo E decresce in maniera costante, passando da un valore di 94,89% a quello di 79,68% nel quarto campione, tuttavia nel compost finale si verifica un aumento di SV che si attestano sull'86%, probabilmente dovuto ad una disformità del materiale con conseguente errore di campionamento.

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

Alla fine del compostaggio si assiste ad una significativa perdita di SO (66,92%). La miscela del cumulo E, costituita per il 20% da pollina, mostra un decremento del parametro OM loss in linea con i valori riportati nel compostaggio di reflui zootecnici e materiali ligno-cellulosici (55 e 68%) (Garcia-Gomez et al., 2003).

pH e conducibilità elettrica specifica (CE)

Nel cumulo E il processo è iniziato con un pH di 5,64, ha subito poi un incremento fino a valori di 7,33, ma in seguito si è lievemente riabbassato per attestarsi a valori intorno a 6,63. Il parametro della CE aumenta ma con andamento non costante, passando dal valore iniziale di 2,30 a quello finale di 4,46 mS/cm. L'evoluzione dei parametri di pH e CE fanno supporre, anche in questo caso, all'interferenza nel processo di eventi piovosi, molto consistenti in tutto il periodo estivo 2014.

Carbonio organico totale (TOC)

L'andamento del TOC, nel cumulo E, si attesta intorno al 46,93% nella miscela appena compostata, per poi subire un decremento fino al valore di 42,31% nel compost finito. In base alla 75/2010 il TOC deve corrispondere ad un minimo del

25% al fine della commercializzazione, il valore risultante dall'analisi vi rientra quindi abbondantemente. Ciò nonostante, la variazione della percentuale di TOC evidenziata con il parametro del TOC_{corretto}, assume un andamento anomalo che non mostra una sua costante diminuzione durante il processo. Tuttavia non potendo giustificare adeguatamente tale trend, si può probabilmente affermare la presenza di un errore di campionamento coerente con quello riscontrato nell'analisi dei SV.

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto organico, azoto ammoniacale e rapporto C/N

La percentuale di TKN durante il processo mostra un andamento discontinuo: infatti dopo un progressivo aumento, decresce nel compost finale fino ad attestarsi sul valore di 3,22%. Tale trend si riscontra anche per la percentuale di N organico rispetto al totale dell'N, la quale aumenta in modo significativo passando da 73,74% a 94,96%, per poi decrescere fino a 88,82% nel compost finale, valore comunque superiore al limite legislativo (>80%). Nel penultimo campione si riscontra un aumento percentuale dell'N ammoniacale rispetto al TKN, il quale passa da un valore del 5% all'11% nel compost finale, e l'incremento del parametro del C/N che torna a crescere dopo un iniziale decremento. Nonostante ciò il valore finale di C/N (13,14) ammette il compost finale alla commercializzazione e può essere considerato ottimale da un punto di vista agronomico.

Grado di umificazione (DH)

I risultati ottenuti dal compostaggio del cumulo E permettono di osservare come il carbonio totale estraibile (TEC) resti pressappoco costante all'inizio ed alla fine del processo, mentre il grado di umificazione (DH) aumenta dal 68,30 fino all'82,13%, insieme al C umico e fulvico (15,09%), dimostrando un'ottima qualità della SO.

Indice di germinabilità (GI)

L'indice di germinabilità del cumulo E è pari al 61,4%, tale valore, pur rientrando nei parametri della 75/10, risulta essere il più basso tra quelli riscontrati nelle altre prove di compostaggio. Ciò può rafforzare l'ipotesi di un andamento irregolare

del processo dovuto all'influenza delle precipitazioni, che ha comportato la persistenza di componenti fitotossiche ancora non del tutto degradate.

Fosforo, potassio e metalli pesanti

Fosforo, potassio e metalli pesanti seguono l'andamento atteso dal processo di compostaggio, aumentando in concentrazione nel compost finale rispetto a quello iniziale. Dalle oscillazioni subite da questi parametri durante il processo, si può confermare come le precipitazioni abbiano influenzato la concentrazione di tali elementi nella massa in compostaggio. Il contenuto di metalli pesanti risulta rientrare perfettamente nei limiti del D.lgs. 75/10, nonostante la miscela fosse formata per il 20% da pollina e poteva quindi presentare un'elevata quantità di Zn e Cu.

In conclusione il compost finale ottenuto dal trattamento di sansa, residui di potature e pollina, compostato in cumulo all'aperto, dimostra parametri conformi a quanto stabilito dalla 75/10, tranne per quanto riguarda il livello di umidità che sfiora il limite legislativo, problema tuttavia facilmente risolvibile prolungando il tempo di maturazione o prevedendo un rivoltamento della massa in maturazione.

4.6 CUMULO F

In tabella 4.12 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	Sansa da sistema a tre fasi + residui di potatura + pollina
Rapporto matrici iniziali	60:20:20 p/p
Tipo di cumulo	Chiuso
Tipo di caratterizzazione	Monitoraggio del processo
Localizzazione	Foligno
Data inizio	20-mag-14
Data fine	09-set-14

Tabella 4.12: identificazione del cumulo

Tutti i risultati analitici ottenuti per il cumulo F sono riportati in tabella 4.13.

Parametro	Unità di misura	Inizio 20/05/2014	Dev. STD	I 28/05/2014	Dev. STD	II 24/07/2014	Dev. STD	Fine 09/09/2014	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	65,27	1,27	55,26	1,49	58,19	0,30	56,18	2,17	≤50
ST	%	34,73	-	44,74	-	41,81	-	43,83	-	
Ceneri	%	12,74	0,00	13,23	2,15	17,56	1,18	23,97	0,88	
SV	%	87,26	-	86,77	-	82,44	-	76,03	-	
OM Loss	%	n.a.*	-	4,24	-	31,46	-	53,69	-	
pH	unità di pH	6,26	0,08	6,21	0,00	6,60	0,01	7,02	0,01	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	2,42	0,08	2,80	0,14	2,40	0,12	2,48	0,01	
TOC	% s.s.	45,21	2,12	39,64	1,24	42,21	13,69	28,73	3,44	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	38,17	-	30,62	-	15,27	-	
TNK	% s.s.	1,49	0,16	1,30	0,08	1,30	0,16	1,34	0,00	
C/N		30,34	-	30,49	-	32,47	-	21,44	-	25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,51	0,23	0,40	0,08	0,06	0,00	0,04	0,02	
N-organico	% s.s.	0,98	-	0,90	-	1,24	-	1,30	-	
N-organico/TNK	%	65,77	-	69,23	-	95,38	-	97,01	-	80 (min)
TEC	% s.s.	20,22	0,604	15,83	0,263	15	0,283	13,71	0,355	
DH	%	79,69	-	73,53	-	78,36	-	76,29	-	
HA+FA	% s.s.	16,11	-	11,64	-	11,75	-	10,46	-	7 (min)
P totale	% s.s.	0,45	0,00	1,10	0,18	0,21	0,01	0,33	0,03	
K totale	% s.s.	0,75	0,00	0,87	0,02	0,83	0,00	0,81	0,01	
Cu totale	mg/kg	25,16	2,18	44,13	0,33	20,65	2,59	26,89	4,06	≤230
Zn totale	mg/kg	226,00	9,90	675,00	60,81	243,50	4,95	176,50	0,70	≤500
Pb totale	mg/kg	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 1,00**	-	< 1,00**	-	≤140
Ni totale	mg/kg	11,38	0,71	11,62	1,75	11,87	0,69	16,83	1,40	≤100
Cd totale	mg/kg	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 0,20**	-	< 0,20**	-	≤1,5
Cr totale	mg/kg	60,23	3,72	43,00	9,48	92,77	7,79	96,54	0,00	
Hg totale	mg/kg	0,20	0,00	0,20	0,01	0,21	0,04	0,21	0,02	≤1,5
IG	%	nd	-	nd	-	nd	-	84,90	1,50	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	0,5

Tabella 4.13: Parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo F. * n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato

Umidità

L'umidità rilevata nel cumulo F all'inizio del processo è pari al 65,27% e raggiunge il 56,18% alla fine del compostaggio. Sebbene la prova si sia svolta in biocontainer protetto da telo in poliestere, non si esclude l'interferenza nel processo di fenomeni piovosi, dal momento che l'umidità non decade in maniera ottimale ne tantomeno raggiunge il limite del 50% dettato dalla 75/10. Tale limite può comunque essere facilmente raggiunto prolungando il tempo di maturazione del compost.

Solidi volatili (SV)

Nel cumulo F si verifica una diminuzione costante ed ottimale della percentuale di SV durante tutto il processo, passando da 87,26% nel campione iniziale a 76,03% in quello finale.

Degradazione della sostanza organica (OM loss)

Durante il compostaggio si assiste ad una significativa perdita di SO: infatti il parametro dell'OM loss aumenta costantemente ed in maniera ottimale fino al valore di 53,69% nel campione finale, che consegue ad un decremento in SV e TOC. Tali perdite risultano superiori a quelle registrate per il compostaggio di sanse provenienti da sistema a due fasi, paglia e residui di potatura (47,1 e 48%) (Gigliotti et al. 2011), ma vicine a quelle riscontrate normalmente per il compostaggio di fanghi di depurazione e reflui zootecnici (55 e 68%) (Garcia-Gomez et al., 2003).

pH e conducibilità elettrica specifica (CE)

Il valore di pH cresce costantemente durante tutto il processo di compostaggio, passando da 6,26 nel campione iniziale a 7,02 in quello finale, rientrando perfettamente nei parametri legislativi. Il valore di CE si attesta invece su 2,48 mS/cm nel compost finale.

Carbonio organico totale (TOC)

L'andamento del TOC segue una decrescita costante, infatti passa dal 45,21% nelle matrici appena compostate al 28,73% nel compost finito, rientrando nei

limiti imposti dalla 75/10 ($\geq 25\%$). L'evoluzione del TOC durante il processo, evidenziata dall'andamento del parametro del $\text{TOC}_{\text{corretto}}$, dimostra una progressiva ed ottimale perdita di C organico, che decresce passando dal 38,17% del campione iniziale al 15,27% del campione finale.

Azoto totale Kjeldahl (TKN), azoto organico, azoto ammoniacale e rapporto C/N

La percentuale di N organico rispetto all'N totale aumenta in maniera significativa ed ottimale durante il processo di compostaggio del cumulo F: passa infatti dal valore iniziale di 65,77 a quello finale di 97,01%. Ciò dimostra una corretta attività dei microrganismi operanti nel processo, in quanto l'N presente all'inizio del compostaggio è stato quasi tutto convertito in N organico. A conferma di ciò vi è la progressiva riduzione dell'N ammoniacale e del rapporto C/N. Quest'ultimo passa da un valore iniziale di 30,34 a quello finale di 21,44, il che lo fa rientrare perfettamente nel limite massimo di 25 imposto dalla 75/10.

Grado di umificazione (DH)

La percentuale di TEC diminuisce durante il compostaggio del cumulo F attestandosi su un valore finale di 13,71% rispetto a quello iniziale di 20,22%, così come la componente di acidi umici e fulvici (HA+FA) che passa da 16,11 a 10,46%, restando comunque nei limiti imposti dalla legislazione ($>7\%$).

Tuttavia anche il grado di umificazione (DH), il quale dovrebbe crescere durante il processo, subisce un lieve decremento (da 79,69 a 76,29). Alla fine del compostaggio risulta comunque un ottimo grado di umificazione.

Indice di germinabilità (GI)

Il compost finale ottenuto dal compostaggio del cumulo F presenta un indice di germinabilità pari a 84,90%, risulta perciò aver raggiunto un ottimale grado di maturità ed aver perso ogni fitotossicità, rientrando perfettamente nei parametri legislativi ($\text{IG} \geq 60\%$).

Fosforo, potassio e metalli pesanti

Il cumulo F presenta una percentuale di P e K pari rispettivamente a 0,33 e 0,81%. Il contenuto di metalli pesanti risulta rientrare perfettamente nei parametri dettati

dalla. 75/10, nonostante le matrici del cumulo F contenessero per il 20% pollina. Dalle oscillazione subite dai parametri durante il processo, si nota come le precipitazione possono aver influito in qualche modo sulla concentrazione di tali elementi, nonostante la miscela fosse compostata al chiuso.

Concludendo si può affermare che il compost ottenuto dal compostaggio di sansa proveniente da sistema a tre fasi, residui di potatura e pollina in biocontainer con insufflazione di aria, presenta caratteristiche che ne permettono la commercializzazione in quanto conformi ai parametri legislativi, pur presentando un livello di umidità leggermente elevato, problema facilmente risolvibile prolungando il periodo di maturazione. Grazie all'alta percentuale di N organico, il compost mostra ottime caratteristiche anche dal punto di vista agronomico ed ambientale.

4.7 CUMULI G ED H

Di seguito viene riportata la caratterizzazione chimico-fisica dei due cumuli G ed H, al fine di operare un confronto qualitativo tra quest'ultimi e gli ammendanti ottenuti dal compostaggio di sottoprodotti delle filiere olivicola-olearia e vitivinicola previsti dal progetto Ecompost.

CUMULO G

In tabella 4.14 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	RSU + digestato + cippato
Rapporto matrici iniziali	50:10:40
Tipo di cumulo	All'aperto
Tipo di caratterizzazione	Monitoraggio del processo
Localizzazione	SIA

Tabella 4.14: identificazione del cumulo

Tutti i risultati analitici ottenuti per il cumulo G sono riportati in tabella 4.15.

Parametro	Unità di misura	Inizio	Dev. STD	I (30 gg)	Dev. STD	Fine (90 gg)	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	55,45	0,28	52,18	1,51	36,27	1,90	≤50
ST	%	44,55	-	47,82	-	63,73	-	
Ceneri	%	52,52	1,59	58,04	0,91	62,38	0,77	
SV	%	47,48	-	41,96	-	45,59	-	
OM Loss	%	n.a.*	-	20,03	-	33,29	-	
pH	unità di pH	6,64	-	7,95	-	7,50	-	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	0,99	0,07	1,84	0,04	1,69	0,14	
TOC	% s.s.	32,58	0,30	26,56	1,00	21,87	3,13	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	24,03	-	18,41	-	
TNK	% s.s.	1,37	0,20	1,93	0,12	1,82	0,04	
C/N		23,78	-	13,76	-	12,02	-	25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,09	0,00	0,07	0,02	0,01	0,00	
N-organico	% s.s.	1,28	-	1,86	-	1,81	0,00	
N-organico/TNK	%	93,43	-	96,37	-	99,45	-	80 (min)
TEC	% s.s.	18,13	0,49	13,10	0,26	10,03	0,13	
DH	%	63,73	-	71,86	-	75,87	-	
HA+FA	% s.s.	11,50	-	9,40	-	7,60	-	7 (min)
P totale	% s.s.	0,27	0,00	0,31	0,03	0,55	0,03	
K totale	% s.s.	0,99	0,03	1,12	0,04	1,55	0,01	
Cu totale	mg/kg	121,45	0,23	115,66	1,37	142,43	9,97	≤230
Zn totale	mg/kg	558,50	55,15	239,63	55,51	410,75	6,19	≤500
Pb totale	mg/kg	46,33	2,07	55,98	0,78	63,77	1,05	≤140
Ni totale	mg/kg	18,41	0,99	20,35	2,41	21,88	1,57	≤100
Cd totale	mg/kg	< lsm	-	< lsm	-	< lsm	-	≤1,5
Cr totale	mg/kg	2,98	0,37	4,11	1,12	6,20	0,88	
As totale	mg/kg	0,94	0,06	0,91	0,10	1,03	0,24	
Hg totale	mg/kg	< lsm	-	< lsm	-	< lsm	-	≤1,5
IG	%	nd	-	nd	-	62,80	10,90	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	0,5

Tabella 4.15: Parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo G.

* n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato.

CUMULO H

In tabella 4.16 sono riassunti i dati di identificazione del cumulo in compostaggio.

Materiali compostati	RSU + digestato + cippato
Rapporto matrici iniziali	50:10:40
Tipo di cumulo	Chiuso
Tipo di caratterizzazione	Monitoraggio del processo
Localizzazione	DICA

Tabella 4.16: identificazione del cumulo

Tutti i risultati analitici ad inizio e fine processo ottenuti per il cumulo H sono riportati in tabella 4.17.

Parametro	Unità di misura	Inizio	Dev. STD	I (30 gg)	Dev. STD	Fine (90 gg)	Dev. STD	Limite D.lgs. 75/2010
Umidità	%	64,96	1,05	52,04	2,83	48,12	0,96	≤50
ST	%	35,04	-	47,96	-	51,88	-	
Ceneri	%	30,86	0,64	39,82	2,06	38,53	0,56	
SV	%	69,14	-	60,18	-	61,47	-	
OM Loss	%	n.a.*	-	32,54	-	28,79	-	
pH	unità di pH	8,20	0,03	8,52	0,00	8,45	0,03	6-8,8
C.E. specifica	mS/cm	1,54	0,02	3,50	0,00	3,48	0,02	
TOC	% s.s.	36,31	3,23	30,36	2,19	30,44	1,25	25 (min)
TOC corretto	% s.s.	-	-	23,53	-	24,38	-	
TNK	% s.s.	1,62	0,15	2,35	0,26	2,71	0,04	
C/N		22,41	-	12,92	-	11,23	-	25
N-NH ₄ ⁺	% s.s.	0,11	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	
N-organico	% s.s.	1,51	-	2,32	-	2,69	-	
N-organico/TNK	%	99,69	-	99,94	-	99,96	-	80 (min)
TEC	% s.s.	14,92	0,52	15,35	1,10	15,32	0,00	
DH	%	62,79	1,64	68,92	0,22	79,21	0,13	
HA+FA	% s.s.	9,38	0,81	10,58	1,12	12,13	0,00	7 (min)
P totale	% s.s.	0,12	0,00	0,51	0,04	0,62	0,02	
K totale	% s.s.	1,32	0,01	1,36	0,01	1,78	0,01	
Cu totale	mg/kg	30,46	0,80	39,49	5,07	36,83	0,06	≤230
Zn totale	mg/kg	115,05	0,35	126,50	11,46	113,77	6,31	≤500
Pb totale	mg/kg	9,01	3,37	11,69	5,49	26,61	4,72	≤140
Ni totale	mg/kg	10,32	0,33	14,68	0,74	18,29	1,86	≤100
Cd totale	mg/kg	0,07	0,04	0,14	0,05	0,17	0,11	≤1,5
Cr totale	mg/kg	15,62	2,96	14,15	0,30	9,28	5,74	
As totale	mg/kg	1,70	0,42	1,45	0,21	1,51	0,12	
Hg totale	mg/kg	0,00	0,00	0,03	0,03	0,07	0,02	≤1,5
IG	%	nd	-	nd	-	83,70	12,60	60 (min)
Plastiche+Inerti	%	Assenti	-	Assenti	-	Assenti	-	0,5

Tabella 4.17: Parametri chimici e chimico-fisici analizzati ad inizio e fine processo per il Cumulo H.

* n.a. non applicabile; ** limite di sensibilità del metodo utilizzato

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione dei cumuli G ed H emerge un andamento ottimale del processo di compostaggio, sia all'aperto che in sistema chiuso, nonché la rispondenza di tutti i parametri con le specifiche di legge, risultando quindi dei compost finali idonei sia alla commercializzazione che all'utilizzo agronomico.

Volendo operare un confronto tra quest'ultimi ed i compost ottenuti dal compostaggio di reflui oleari, si può affermare che, da un punto di vista chimico-fisico, emergono differenze per le concentrazioni più elevate, ma comunque nei limiti legislativi, di metalli pesanti (principalmente Pb, Ni e Zn) presenti in particolare nel cumulo G, e la percentuale di HA+FA che risulta molto più alta nei compost derivanti da sottoprodotti agroindustriali, sintomo di ottima qualità della SO e della presenza di sostanze umosimili stabili.

Ma differenze sostanziali emergono anche dal punto di vista ambientale ed economico. Seppur il compostaggio di RSU e digestato risulti fondamentale nel contributo alla riduzione dei gas responsabili dell'effetto serra ed al ripristino della fertilità del suolo, è pur vero che il loro compostaggio deve essere attentamente monitorato: infatti, a causa di una raccolta differenziata molto spesso poco attenta, c'è il rischio di ritrovare nel compost finale residui di materiali non biodegradabili o concentrazioni elevate di metalli pesanti. È importante quindi al fine dell'ottenimento di un compost di qualità organizzare in maniera accurata la raccolta dei RSU e fare in modo che le matrici siano compostate in maniera tale da ridurre, almeno entro i limiti legislativi, la quantità di metalli presenti nel compost finale. Nonostante ciò, vi è la necessità di monitorare le concentrazioni massime di metalli pesanti nei terreni sui quali può avvenire la somministrazione del compost, nonché la quantità massima di metalli applicabile annualmente sui terreni stessi (DPR 915/82 in deroga del D.lgs. 152/06). Tali problematiche risultano di gran lunga attenuate nel compostaggio di matrici provenienti unicamente da sottoprodotti delle filiere agroindustriali soprattutto se circoscritto al livello aziendale.

Volendo fare inoltre valutazioni di ordine economico, il compostaggio aziendale di sottoprodotti derivanti dalle filiere olivicola-olearia e vitivinicola, appare una soluzione conveniente al reperimento di sostanza organica di alta qualità e di basso costo. Infatti gli impianti di compostaggio di rifiuti solidi urbani sono concentrati in poche località sparse nel territorio regionale, per cui necessitano di

notevoli costi sia di trasporto all'impianto stesso, sia per la redistribuzione del compost alle varie aziende. Il compostaggio aziendale, invece, può essere realizzato in qualsiasi azienda, con macchinari normalmente in dotazione e con matrici facilmente disponibili, contribuendo inoltre alla riduzione delle quantità di rifiuti organici da avviare allo smaltimento convenzionale, alleggerendo di conseguenza la pressione sui centri di stoccaggio e trattamento.

5 CONCLUSIONI

I compost derivanti dai cumuli C e D, costituiti da sansa, foglie di olivo e letame, sono risultati non idonei dal punto di vista legislativo confrontando i risultati ottenuti con i limiti imposti dalla legislazione vigente. Questi cumuli inoltre non mostrano un'elevata qualità agronomica, soprattutto a causa dell'eccessivo contenuto di umidità e dell'elevato rapporto C/N. Quest'ultimo in particolare riveste un ruolo fondamentale per la fertilità del suolo: infatti, interrando sostanza organica con rapporto C/N troppo elevato, si possono avere squilibri a livello di popolazione microbica presente, la quale non trovando quantitativi di azoto sufficienti alla sua moltiplicazione, li preleva dalla soluzione del suolo che di conseguenza viene ad esserne impoverita.

L'aereazione forzata a cui era sottoposto il cumulo D, inoltre, sembra non essere riuscita ad attenuare alcuni degli effetti negativi che al contrario si sono mostrati in maggior misura rispetto alla prova all'aperto.

Di contro i parametri dei compost ottenuti dai cumuli A, B, E ed F, rientrano perfettamente nei limiti del decreto, permettendone quindi la commercializzazione e l'utilizzazione agronomica. Tuttavia, i compost finali dei cumuli A, E ed F, presentano una percentuale di umidità leggermente superiore al limite imposto dalla legislazione, problema che può essere facilmente superato prolungando il tempo di maturazione, o prevedendo un rivoltamento della massa in maturazione, operazione che favorisce in tutti i casi la perdita di umidità.

Il compost ottenuto dal cumulo A, costituito da sansa paté e residui lignocellulosici in biocontainer con insufflazione di aria, pur presentando ottime caratteristiche agronomiche ed ambientali, 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.

Il compost finale ottenuto dal cumulo B risulta l'unico i cui parametri rientrano perfettamente in quelli di legge, dimostrando un'ottima evoluzione del processo, nonostante la prova si sia svolta all'aperto e sotto l'influenza delle condizioni meteoriche. Tali risultati possono essere ricondotti alla matrice utilizzata come strutturante, in questo caso costituita da raspi derivanti dalla filiera viti-vinicola, la

quale ha permesso di ottenere una porosità tale da favorire in maniera ideale il ricircolo dell'aria all'interno della massa.

Il cumulo E porta all'ottenimento di un compost finale con una percentuale di N organico e IG più bassi rispetto al compost ottenuto dal cumulo F, costituito dalla stessa miscela iniziale (sansa, potature e pollina). In particolare, il parametro dell'IG, supera di poco quello stabilito dalla 75/10 e, pur risultando conforme a norma di legge, un compost che presenta tale valore dimostra una maturazione ancora non del tutto raggiunta. Essendo il cumulo compostato all'aperto, la causa più probabile di tale esito è da ricercare nell'interferenza nel processo delle avversità meteoriche, molto copiose durante tutto il periodo di svolgimento delle prove. Di contro il compostaggio della miscela in biocontainer con aereazione forzata ha permesso una corretta evoluzione del processo, verificato dagli ottimi risultati ottenuti dal compost finale.

Nonostante le problematiche riscontrate in alcune prove, in tutti gli ammendanti ottenuti risultano rilevanti concentrazioni degli elementi della nutrizione vegetale, in particolare di N in forma organica, il quale consente di apportare al terreno azoto a lenta cessione e non suscettibile alla lisciviazione. Sebbene tali sottoprodotti presentino per loro natura bassi quantitativi di P, è necessario considerare che l'apporto di questo elemento in forma organica procura una fertilizzazione migliore rispetto a qualsiasi concimazione minerale, in particolare in suoli calcarei come quelli italiani.

Volendo inoltre operare un confronto tra i compost risultanti dalla sperimentazione e quelli derivanti dalla frazione organica di RSU e da digestato, emergono alcune importanti differenze non solo dal punto di vista della caratterizzazione chimico-fisica, ma anche economico-ambientale. Infatti i compost ottenuti da reflui oleari presentano una più bassa concentrazione, ed in alcuni casi quasi nulla, di metalli pesanti, un'ottima qualità della sostanza organica e possono inoltre essere utilizzati nei metodi di coltivazione biologica.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dalle sei prove di compostaggio, è possibile trarre alcune importanti considerazioni.

In primo luogo è possibile confermare l'ottima attitudine al compostaggio dei sottoprodotti delle filiere olivicola-olearia e vitivinicola, con particolare riferimento alla sansa umida, i quali non trovano valide alternative di utilizzazione ma al contrario il loro smaltimento costituisce un rilevante onere.

In secondo luogo il compostaggio aziendale risulta una pratica economica, facilmente attuabile, che permette di chiudere all'interno dell'azienda il ciclo del carbonio e di ottenere sostanza organica di alta qualità ed a basso costo. Infatti può essere realizzato con macchinari normalmente in dotazione dell'azienda e con matrici facilmente disponibili in quanto derivanti dalla filiera stessa. Tuttavia, in base a quanto emerso dai risultati delle sperimentazioni, per ottenere un adeguato sviluppo del processo ed un compost di qualità, è necessario considerare che:

- è indispensabile la corretta combinazione dei materiali di partenza al fine di sviluppare un idoneo processo di compostaggio e raggiungere un buon compost maturo. I caratteri fondamentali da controllare sono in particolare il rapporto C/N e la densità apparente, il cui livello ottimale può essere raggiunto solo con un giusto apporto di materiale strutturante (*bulking agent*);
- il compostaggio in biocontainer chiuso con aereazione forzata (nonostante le problematiche riscontrate per il cumulo D) risulta la migliore metodologia per applicare il compostaggio aziendale, poiché riesce a garantire un ottimale svolgimento del processo anche a quelle matrici più problematiche, come è il caso delle sanse con alti livelli di umidità (paté Peralisi), nonché un più facile monitoraggio. Il cumulo all'aperto può essere impiegato a patto che si provveda ad un'adeguata copertura della massa in compostaggio o nel caso in cui venga utilizzato solo per la fase di maturazione del compost.

In conclusione si può affermare che al fine di validare i risultati positivi ottenuti, in particolare, dai compost derivanti dai cumuli A, B, E ed F, sarà necessario il proseguimento delle sperimentazione attraverso prove agronomiche sia di spandimento in campo dei compost, sia nel loro utilizzo in florovivaismo.

6 BIBLIOGRAFIA

Altieri R., Esposito A., Nair T. (2011). *Novel static composting method for bioremediation of olive mill waste*. International Biodeterioration & Biodegradation, 65, 786-789.

ANPA – Agenzia Nazionale Protezione Ambiente- 2001. Manuale di analisi del compost.

Blagodatskaya, E., Kuzyakov, Y. (2008). *Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review*. Biol. Fertil. Soils 45, 115–131.

Boldrin A., Hartling K. R., Laugen M., Christensen T.H. (2010). *Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation*. Resources, Conservation and Recycling, 54: 1250–1260.

Bonadonna L., Briancesco G., Chiaretti A.M., Coccia Della Libera S., Marini R., Semproni M. (2002). *Valutazione microbiologica di prodotti di compostaggio: aspetti normativi e igienico-sanitari*. Istituto Superiore di Sanità, marzo 2002.

Bonari E., Ceccarini L. (2000). *Effetti della distribuzione di dosi crescenti di sanse umide sul terreno agrario*. In: Smaltimento e riutilizzo dei reflui dei frantoi. A.R.S.I.A. Regione Toscana, Effeemme.

Bonciarelli F., Bonciarelli U. (2003). *Agronomia*. Edagricole scolastico, Firenze.

Brunetti, G., Senesi, N., Plaza, C. (2007). *Effects of amendment with treated and untreated olive oil mill wastewaters on soil properties, soil humic substances and wheat yield*. Geoderma. 42, 123-126.

Businelli M. (2009). *Chimica del suolo*. Morlacchi editore, Perugia.

- Centemero M. (2002). *Il compost di qualità*. Arvan.
- Centemero M. (2002). *Il ruolo del compost nei piani di fertilizzazione*. L'Informatore Agrario 40, 57-60.
- Centemero M., Caimi V., Adani F. (2003). *L'impiego del compost in agricoltura*. Consorzio Italiano Compostatori, Roma.
- Centemero M. (2005). *La produzione di ammendante compostato in Italia*. Compendio Tecnico.
- Chiumenti R., Chiumenti A., (2002). *La tecnologia del compostaggio*. Regione Veneto (Ass. Politiche per Amb. e Mob.), ARPAV (Osservatorio Regionale Rifiuti), Università degli Studi di Udine (DPTA - Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie).
- Ciavatta C. (1990). *Characterization of humified compounds by extracion and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone*. J. Chromat, 509, 141-146.
- Cooperband L. R., Stoneb A. G., Frydac M. R., Ravetc J. L. (2003). *Relating compost measures of stability and maturity to plant growth*.
- Garcia-Gomez, A., Roig, A., Bernal, M.P. (2003). *Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity*. Bioresource Technology 86, 59e64.
- Gigliotti G., Giusquiani P. L., Businelli M. (1996). *Trace element fate in soil profile and corn plant after massive applications of urban waste compost: a six-year study*. Agrochimica.
- Gigliotti G., Proietti P., Said-Pullicino D., Nasini L., Pezzolla D., Porceddu P. (2011). *Co-composting of olive husks with high moisture contents: Organic matter dynamics and compost quality*. International Biodeterioration & Biodegradation, 67, 8-14.

Laraia R., Caimi V., Centemero M., Favoino E., Lanz A.M., Cortellini L.(2002). *Il recupero di sostanza organica dei rifiuti per la promozione di ammendanti di qualità*. Manuali e linee guida 7/2002.

Lopez-Pineiro A., Albarran A., Rato Nunes J.M., Barreto C. (2008). *Short and mediumterm effects of two-phase olive mill waste application on olive grove production and soil properties under semiarid mediterranean conditions*. *Bioresour. Technol.* 99, 7982–7987.

Muccignatto C. (2007). *Produzione, gestione e controllo dell’ammendante compostato di qualità*.

Nasini L., Gigliotti G., Balduccini M., Federici E., Cenci G., Proietti P. (2013). *Effect of solid olive-mill waste amendment on soil fertility and olive (Olea europaea L.) tree activity*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164 (2013) 292– 297.

Pagliai M., Vignozzi N., Pellegrini S., Papini R., Andrenelli M.C., Brandi G., Salvador P., Yanez M.S., Cassi P., Torri D., Calzolari C., Ungaro F. (2008). *Dinamica della sostanza organica ed effetti sulle caratteristiche fisiche del suolo*. Atti Convegno “Impiego in agricoltura di ammendanti compostati. Risultati di sei anni di sperimentazioni”, 16-23, Bologna 15 aprile 2008, Centro ricerche Produzioni Animali, Reggio Emilia.

Paredes C., Roig A., Bernal M.P, Sanchez-Monedero M.A., Cegarra J. (1999). *Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes*. *Biol Fertil Soils*, 32, 222-227.

Paredes, C., Cegarra, J., Bernal, M.P., Roig, A. (2005). *Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties*. *Environment International*.

Piontek M. (2000). *The effect of sewage sludge composting on the quantitative state of some groups of bacteria and fungi*. Acta Microbiologica Polonica, Vol. 49, n. 1, pp. 83-90.

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

Proietti P., Federici E., Fidati L., Scargetta S., Massaccesi L., Nasini L., Regni L., Ricci A., Cenci G., Gigliotti G. (2015). *Effects of amendment with oil mill waste and its derived-compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (Olea europaea L.) productivity*. Elsevier Editorial System for Agriculture, Ecosystems and Environment pp. 51-60.

Proietti S., Sdringola P., Desideri U., Zepparelli F., Brunori A., Ilarioni L., Nasini, L., Regni L., Proietti P. (2014). *Carbon footprint of an olive tree grove*. Applied Energy 127, 115–124.

Roig A., Cayuela M.L., Sánchez-Monedero M.A. (2006). *An overview on olive mill wastes and their valorisation methods*. Waste Management 26, 960-969.

Ruol G., Santon L. (2009). *Il compostaggio: generalità e normativa di riferimento*. AAVV, Compost, una fonte di fertilità (Depositato il 13 Novembre 2009).

Said-Pullicino D., Erriquens F.G., Gigliotti G. (2007). *Evaluating the efficiency of the composting process: a comparison of different parameters*. Bioresource Technology (I.F. 2,180) 98: 1822-1831.

Senesi, N., Plaza, C., Brunetti, G., Polo A. (2007). *A comparative survey of recent results on humic-like fractions inorganic amendments and effects on native soil humic substances*. Soil Biology & Biochemistry, 39, 1244–1262.

Servili M., Gucci R., Perri E. (2008). *Il miglioramento delle caratteristiche organolettiche tipiche degli oli extra vergini di oliva rispetto alle esigenze di mercato*. Edizioni UNAPROL Consorzio Olivicolo Italiano. Campagna finanziata con il contributo della Comunità Europea Reg. (CE) n. 1331/2004.

Sommer S.G., Moller H.B. (2000). *Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production - effect of straw content*. Journal of Agricultural Science, Vol. 134, n. 3, pp. 327-335.

Tabaglio V., Rossi L., Bortolazzo E., Ligabue M. (2008). *Effetto dell'applicazione di ammendanti compostati sulle caratteristiche fisico-chimiche del terreno agrario*. Atti Convegno "Impiego in agricoltura di ammendanti compostati. Risultati di sei anni di sperimentazioni", 5-11, Bologna 15 aprile 2008, Centro ricerche Produzioni Animali, Reggio Emilia.

Tomati, U., Galli, E., Fiorelli, F., Pasetti, L. (1996). *Fertilizers from Compost of olive mill wastewater*. International. Biodeterioration & Biodegradation, 155-162.

Vallini G., (1995). *Voce "Compost"* (pp. 173-174). In: Dizionario dell'Ambiente (a cura di G. Gamba e G. Martignetti), ISEDI/Utet Libreria, Torino.

Vuorinen A.H., Saharinen M.H. (1999). *Cattle and Pig Manure and Peat Cocomposting in a Drum Composting System: Microbiological and Chemical Parameters*. Compost Science & Utilization, Vol. 7, n. 3, pp. 54-65.

Zucconi, F., M. Forte, A. Monac and M. de Beritodi (1981). *Biological evaluation of compost maturity*. Biocycle, 22: 27-29.