

◊ FERTILITAS ◊ AGRORUM ◊



Volume II · Aprile 2007 · numero 1

Convegno

**Il compost in Italia e nel bacino del Mediterraneo:
l'evoluzione delle politiche europee ed i criteri di qualità del prodotto**

21-22 settembre 2006

Sala riunioni Ucea - Roma

Fertilitas Agrorum

Edizione a cura del
CENTRO SCIENTIFICO ITALIANO DEI FERTILIZZANTI

Via della Navicella, 2/4 - 00184 Roma

Periodico registrato presso il Tribunale di Roma il 03-08-2006
al n. 322/2006 del Registro della Stampa

ISSN 1971-0755

Direttore responsabile
PAOLO SEQUI

Segreteria scientifica
ELVIRA REA

Direttore editoriale
ROSA FRANCAVIGLIA

Grafica e impaginazione
ELEONORA LOMBARDI

Segreteria di redazione
FILIPPO ILARDI

Copertina a cura di
GIOVANNI GREGO

Indice

Introduzione - F. Tittarelli, V. Verrastro e P. Sequi.....	V
I SESSIONE:	
Strategie tematiche, definizione degli standard ed utilizzazione agronomica del compost di qualità (Moderatore: Fabio Tittarelli)	
The role of Soil Thematic Strategy in promoting soil fertility - L. Marmo	1
La gestione dei rifiuti biodegradabili: stato attuale e prospettive - R. Laraia	7
Le principali attività e le aspettative dei produttori di ammendanti compostati nella definizione dei criteri di qualità - M. Centemero	15
Utilizzazione agronomica di matrici organiche compostate - D. Ferri <i>et al.</i>	23
II SESSIONE:	
Il compost nei Paesi del bacino del Mediterraneo: realtà produttive e sperimentali (Moderatore: Vincenzo Verrastro)	
Il settore fertilità dei suoli e compostaggio nell'ambito dell'Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari - Verrastro e Diacono	33
Produzione e utilizzo di compost dai residui dell'industria agrumaria in Sicilia - Calabretta e Intrigliolo	35
Il compost come strumento di cooperazione: il progetto PAB INTERREG Italia – Albania - Cocozza e Verrastro	43
Il compost dalla frazione organica dei rifiuti urbani: il caso egitto - Noto La Diega e Valentini	49
III SESSIONE:	
Le tecniche analitiche per la definizione del processo di compostaggio e della qualità del prodotto finito (Moderatore: Paolo Sequi)	
La stabilità biologica del compost: indice di respirazione come parametro di processo - Adani	55
L'evoluzione delle tecniche analitiche per la valutazione della qualità agronomica del compost - Ciavatta <i>et al.</i>	65
Un metodo standardizzato per la determinazione della stabilità della sostanza organica da compost - Grigatti <i>et al.</i>	71

Il compost in Italia e nel bacino del Mediterraneo: l'evoluzione delle politiche europee ed i criteri di qualità del prodotto

Fabio Tittarelli, Vincenzo Verrastro e Paolo Sequi

Il convegno è stato programmato per sviluppare in maniera organica tre temi che sono di grande attualità ed interesse per chi si occupa delle problematiche relative alla produzione ed utilizzazione di compost di qualità in ambiente mediterraneo.

Nella prima sessione, dal titolo “Strategie tematiche, definizione degli standard ed utilizzazione agronomica del compost di qualità” è stato trattato un argomento molto attuale, con importanti ricadute sia per l'ambiente che per l'agricoltura italiana.

Nel dicembre 2005 sono state pubblicate la strategia tematica sulla prevenzione ed il riciclo dei rifiuti e la strategia tematica sull'uso sostenibile delle risorse naturali, mentre nel settembre 2006, è stata invece pubblicata la strategia tematica sulla protezione del suolo.

Tutti sappiamo che le “strategie” fanno riferimento a prospettive di lungo periodo (20 anni). Risulta pertanto fondamentale per la politica ambientale, agricola, per la politica della ricerca, nonché per il mondo produttivo italiano, seguirne in tempo reale l'evoluzione a livello di commissione europea.

In tale ambito, il ruolo istituzionale di consulenza tecnica del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, svolto finora dagli Istituti di ricerca, ora riuniti nel Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, diventa ancora più importante. E' un patrimonio di conoscenze e di esperienza che ha caratterizzato negli anni gli istituti di ricerca e sperimentazione agricola e che, anche per il futuro, si ritiene che debba costituire un punto di forza del CRA.

La seconda sessione, dal titolo “Il compost nei Paesi del bacino del Mediterraneo: realtà produttive e sperimentali”, ci ha consentito, finalmente, di aprire i nostri orizzonti verso una prospettiva nuova rispetto quanto realizzato finora.

L'Unione Europea ci spinge, naturalmente, ma, in qualche misura, anche per inerzia, al confronto con i paesi membri del Centro e Nord Europa.

Il nostro Paese, per motivazioni di natura ambientale e per la sua collocazione geografica deve invece, sempre di più, acquisire un ruolo centrale nel bacino del Mediterraneo. In un contesto geopolitico tanto complesso, il ruolo di “ponte” che la ricerca e la sperimentazione in agricoltura e la cooperazione su programmi di sviluppo possono giocare con i paesi che si affacciano sul Mediterraneo, è fondamentale.

Tutti noi conosciamo ancora troppo poco delle potenzialità che questi paesi possono sviluppare e che noi prima di altri potremmo e dovremmo sfruttare per raggiungere obiettivi comuni e vantaggi reciproci, in termini economici, politici e sociali.

Speriamo che questa iniziativa del Centro Scientifico Italiano dei Fertilizzanti abbia un seguito anche nei prossimi appuntamenti tecnico-scientifici in cui il mondo della ricerca e della produzione saranno coinvolti.

La terza sessione, dal titolo “Le tecniche analitiche per la definizione del processo di compostaggio e della qualità del prodotto finito”, affronta, infine una tematica più propriamente tecnico-scientifica, la cui importanza per il mondo produttivo ed agricolo è di grande rilievo.

La sessione ha affrontato delle problematiche operative molto concrete che riguardano da vicino gli operatori che producono il compost e gli utilizzatori finali di questo fertilizzante, nonché tematiche di natura prettamente ambientale.

La messa a punto di tecniche analitiche avanzate attraverso l'utilizzazione di strumentazione all'avanguardia e l'innovazione che si riesce a trasferire al mondo produttivo devono, infatti, costituire degli obiettivi fondamentali per la ricerca nel suo complesso. D'altra parte lo studio approfondito degli elementi potenzialmente tossici e del loro impatto sull'ambiente deve servire a salvaguardare la salute dei consumatori, fugando le legittime preoccupazioni del cittadino, senza impedire l'utilizzo di prodotti di qualità che concorrono al mantenimento di complessi equilibri ambientali.

The role of the Soil Thematic Strategy in promoting soil fertility

Luca Marmo

European Commission, Environment Directorate-General, Agriculture Forests and Soil Unit,
BU-9 4/89, B-1049 Brussels, tel +32-2-299.63.61, fax +32-2-298.88.41, e-mail: luca.marmo@ec.europa.eu

Abstract

In September 2006 the European Commission adopted a Thematic Strategy for Soil Protection (COM(2006)231) in which the decline of soil organic matter (SOM) was mentioned as one of the soil degradation processes most in need of being addressed at Community level.

SOM plays a very important role not only for soil fertility, but also for soil structure, buffering and water retention capacity and is crucial for soil biodiversity. According to existing estimates, around 45% of soils in Europe have a low or very low organic matter content (meaning 0-2% organic carbon) and 45% have a medium content (meaning 2-6% organic carbon). The problem is not limited to the Southern European countries, although it is most acute there because of the types of soil involved and the climate patterns that tend to exacerbate SOM mineralisation.

How can soil organic matter be maintained or increased? There is no single answer, and a broad range of options need to be explored. Among the different measures put forward, the promotion of organic input on arable land (crop residues, cover crops, farm yard manure, compost, sewage sludge) has been mentioned. The challenge is to ensure that organic wastes of good quality are used to increase soil organic matter in carbon depleted soils and that appropriate monitoring is established.

The strategy contains a proposal for a Soil Framework Directive (COM(2006)232), according to which Member States would have to identify the areas at risk of soil organic matter decline in their national territory. Once these areas are identified, Member States would need to adopt appropriate programmes of measures to address SOM decline. These measures could include the use of quality compost or any other soil management technique deemed fit by the competent national authority.

Keywords: EU policy, soil protection, soil organic matter, compost

Introduction: the adoption of the Soil Thematic Strategy

In 2002 the European Commission (EC) adopted a Communication "Towards a Thematic Strategy for Soil Protection" (EC, 2002) aiming at increasing awareness concerning the role performed by soil within the ecosystem raising and thus raising its political profile.

In that occasion it was noted that soil performs a variety of functions, including the production of food and other biomass, essential for human survival. The EC also made the consideration that agricultural soil is a precious and limited resource, whose value has frequently been built by man during decades or even centuries. Irreversible degradation of this resource implies not only ruining the main asset of current farmers but also reducing the farming opportunities of future generations. Therefore, soil protection policies

need to have a special focus on sustainable use and management of agricultural soils, with a view to safeguarding the fertility and agronomic value of agricultural land.

That Communication launched a wide-ranging debate and stimulated the creation of five Technical Working Groups (dedicated to erosion, organic matter and biodiversity, contamination and land management, monitoring, and research) and Advisory Board. More than 400 organisations and individuals provided their input over the period 2003-2004, resulting in the production of a sort of summa of state-of-the-art technical and scientific knowledge. These reports have been published by the EC (Van Camp et al., 2004a) and are also available for download, free of charge, on the Internet at <http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm>. The European Parliament, the Council of Ministers, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions

1 Opinions expressed are personal to the author.

expressed their opinions (also available on Internet at the same address) on the approach to soil protection proposed by the Commission and provided further guidance on how to further develop this policy.

All this eventually led to the adoption by the EC of the “Thematic Strategy for Soil Protection” in September 2006 (EC, 2006a) together with a proposal for a Soil Framework Directive (EC, 2006b) and an Impact Assessment (EC, 2006c). The strategy should take into account all the different functions that soils can perform, their variability and complexity and the range of different degradation processes to which they can be subject. The objective is protection and sustainable use of soil, based on the principles of preventing further soil degradation and preserving its functions, and restoring degraded soils.

Soil degradation continues

Soil is the product of complex interactions between climate, geology, vegetation, biological activity, time and land use. As a result, soil is an extremely variable medium and over 320 major soil types have been identified in Europe, with remarkable differences in their chemical and physical properties even at a local level. Soil performs a number of key environmental, social and economic functions vital for life. Agriculture and forestry are dependent on soil for the supply of water and nutrients and for root fixation. Soil performs storage, filtering, buffering and transformation functions thus playing a central role in water protection and the exchange of gases with the atmosphere. It is also a habitat and gene pool, an element of the landscape and cultural heritage and a provider of raw materials. Moreover, soil is essentially a non-renewable resource with potentially rapid degradation rates and extremely slow formation and regeneration processes – it can take more than 500 years to form two centimetres of topsoil (Soil Atlas of Europe, 2005).

Despite its crucial role for the ecosystem and the economy, soil degradation not only continues, but over the last few decades has seen a significant increase. For example, 115 million hectares (12% of Europe’s total land area) are affected by water erosion and 42 million hectares are affected by wind erosion. Erosion is made worse by inappropriate cultivation techniques and inadequate cropping practices, causing the soil to become less fertile and contaminating the aquatic ecosystem. Around 45% of soils in Europe have low or very low organic matter content (0-2% organic carbon) and 45% have a medium content (2-6% organic carbon). As soil organic matter is very important for the fertility, structure, water retention capacity and biodiversity of soil, its decline threatens long-term soil sustainability and worsens climate change effects. Other degradation processes

concern compaction (between 36% and 32% of European sub-soils are estimated to be very vulnerable to compaction), salinisation (around 3.8 million hectares are affected), and landslides, which tend to occur more frequently in areas with clayey sub-soil, steep slopes, intense and abundant precipitation, and land abandonment. To these one should add the negative impacts caused by soil sealing, currently affecting around 9% on average of the soil surface in Member States, and contamination. According to figures elaborated by the EC (2006c), there are approximately 3.5 million sites that may be potentially contaminated in the European Union (EU), out of which 0.5 million sites are expected to be really contaminated and in need of remediation.

All this points in the direction of a gap in existing EU legislation. This is why the EC has decided to propose to the Council and the European Parliament the adoption of a directive specifically dedicated to the protection of soil in a comprehensive manner.

The proposal for a Soil Framework Directive

The proposal for a Soil Framework Directive (EC, 2006b) is structured along three lines:

1. Preventive measures – Member States must ensure a sustainable use of soil. If soil is used in a way that hampers its functions, mitigating actions must be undertaken. Other policies’ impacts on soil must be assessed.
2. Identification of the problem - Member States will identify the areas where there is a risk of erosion, of decline in organic matter, of salinisation, compaction, sealing, and landslides. As far as contamination is concerned, they will set up an inventory of contaminated sites.
3. Operational measures - Member States will then have to act upon the risks identified by adopting programmes of measures for the risk areas, national remediation strategies for the contaminated sites and measures to limit or mitigate sealing. However, they are free to decide upon the level of ambition of their soil policy, to set their own targets and to decide how and by when to achieve them.

The proposal calls for the establishment of a common framework to protect soil on the basis of the principles of preservation of soil functions, prevention of soil degradation, mitigation of its effects, restoration of degraded soils and integration in other sectoral policies. It requires Member States to identify, describe and assess the impact of sectoral policies on soil degradation processes with a view to protect soil functions. Moreover, Member States will have to take appropriate and proportionate measures to limit the introduction of dangerous substances into the soil, to avoid accumulation in soil that would hamper soil

functions and create a risk to human health and the environment. Furthermore, land users will have to take precautions when their use of the soil can be expected to significantly hamper soil functions.

Member States will be required to identify areas at risk of erosion, organic matter decline, salinisation, compaction and landslides, and establish national programmes of measures. To ensure a coherent and comparable approach, the identification of risk must be carried out on the basis of common elements, which are listed in Annex I, and which include parameters which are known to be driving forces for the different threats. Risk reduction targets and programmes of measures to reach those targets will have to be adopted. Programmes can build on standards and measures already identified and implemented in national and Community contexts.

Concerning contamination, the proposal lays down a definition of contaminated site and includes a list of potentially soil polluting activities (Annex II). These are the basis for locating the sites which can potentially be contaminated, as a preliminary step to the establishment of an inventory of effectively contaminated sites, which will have to be set up by Member States within 25 years from the transposition of the directive. The proposal makes a legal obligation for Member States to remediate the contaminated sites identified in their national territory, although it does not specify any deadline. Member States themselves will have to do that in the context of the elaboration of the national strategies for the remediation of contaminated sites, to be implemented within eight years from the transposition of the directive.

Soil fertility and the Thematic Strategy for Soil Protection

As noted above, the proposal for a Soil Framework Directive includes the loss of soil organic matter (SOM) as a threat to soil quality and will thus require Member States to adopt appropriate measures to revert any negative trends affecting soil quality to a significant extent.

While the proposal does not contain any specific suggestions as to the measures that Member States should introduce to stop the loss of SOM, the work undertaken by the experts of the Technical Working Group on organic matter (Van Camp et al., 2004b) has provided for an analysis of a large palette of different land use practices that could lead to SOM maintenance or increase. These include fairly drastic measures, such as changing arable land to grassland and afforesting agricultural or degraded land, but also an adequate choice of crops and crop rotation patterns, the incorporation of crop residues, the use of catch and interim crops, and the application of conservation tillage. There is no single answer, and a

broad range of options need to be explored. One that has been underlined by the EC in its Communication on the Thematic Strategy for Soil Protection (EC, 2006a) is the use of organic soil improvers with predominance on humic acids (e.g. composts and manure). In particular, the production and use of high quality compost from separate waste collection would allow Member States to contribute to the achievement of the biowaste diversion targets of the Landfill Directive 1999/31/EC, while at the same time providing a source of organic matter for the soil.

According to Van Camp et al. (2004b), 1.6 billion tonnes of exogenous organic matter are produced in the EU-15 each year, of which 61% is animal wastes, 25% crop residues, 7% industrial wastes and 7% urban and municipal wastes (sewage sludge, bio-wastes and green wastes). In that report it was estimated that sewage sludge represents approximately 1%, industrial wastes 2% and animal manure and slurries 97% in terms of weight of material spread on land. Other sources (Gendebien, 2001) estimated at about 1.2 billion tonnes the amount of manure and slurries (fresh weight) that are annually spread on land in the EU-15 (1995-2000 data), figure well in agreement with what is reported by Van Camp et al. (2004b). However, only part of the exogenous organic matter brought to the soil will eventually become – under the action of bacteria, fungi, earthworms and other soil fauna – humus, i.e. the stable fraction of SOM. Factors such as prevailing climate conditions, soil type, waste characteristics, management practices and others have a fundamental bearing on its potential degree of humification (Stevenson, 1982).

It rests to be seen if the spreading the aforementioned exogenous organic matter on the land has effects on the SOM (or, to be more precise, on the carbon pool in the soil) that can be monitored. This is apparently not the case at the moment. Indeed, the European Climate Change Programme (ECCP) launched by the EC in 2001 has resulted in the production of a report from the Sub-Group on Agricultural Soils in 2003 (ECCP, 2003), in which the members of the group estimated in up to 60-70 million tonnes of CO₂-eq per year the potential for carbon sequestration in agricultural soils of EU-15 during the first commitment period under the Kyoto Protocol (2008-2012). Among the different measures considered, the report listed the promotion of organic input on arable land (crop residues, cover crops, farm yard manure, compost, sewage sludge), estimating the potential at 20 million tonnes CO₂-eq in EU-15. As a matter of fact, a review report three years later (ECCP, 2006) has shown that very little of that technical potential has materialised, as in most Member States effective incentives were lacking to encourage soil carbon sequestration. The report on Agriculture of ECCP II

in fact concludes that, “Carbon sequestration between 1990 and 2000 was small or negative in the EU-15 and all case-study countries. For all countries except Belgium, carbon sequestration is predicted to be negligible or negative by 2010, based on extrapolated trends, and is small even in Belgium” (ECCP, 2006).

It should be noted that the participants in the ECCP focused their attention to the issue of carbon sequestration, using the rules on accounting for greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks in the land use, land-use change and forestry (LULUCF) sector, including agricultural soils, as provided for by Article 3.4 of the Kyoto Protocol. This does not mean that the use of exogenous organic matter has no effects on SOM. It is rather a problem of monitoring the effect of a change in land use practices in terms of the soil carbon pool.

The Thematic Strategy for Soil Protection will improve the existing situation, because the proposal for a Soil Framework Directive does include a requirement for Member States to identify the areas at risk of soil organic matter decline in their national territory, and to periodically review such identification. This should be regarded as a major step forward for the Community as a whole, because it will ensure that eventually all 27 Member States will introduce some sort of monitoring system of their soil condition. Such national monitoring systems will have the potential to enable the kind of estimation, measurement or modelling of crop or grazing land management needed for accounting under Article 3.4 of the Kyoto Protocol, bearing in mind that accounting and compliance under the Kyoto Protocol are the primary responsibility of the Member States themselves.

Conclusion

As remarked in the report on Sinks Related to Agricultural Soils (ECCP, 2003), “Over the centuries, soil organic matter has come to be considered as the elixir of plant life. (...) To ensure sustainable management of the land, therefore, it is imperative that organic matter in the soil is maintained and sustained at satisfactory levels. A decrease in organic matter content is an indicator of a lowered quality in most soils. This is because soil organic matter is extremely important in all soil processes”.

The EC has shared that remark in stating that stable organic matter contributes to the humus pool in the soil, thereby improving soil properties, in calling for maintaining optimal levels of soil organic matter, and in urging the implementation of appropriate redress measures if this is not the case (EC, 2006a). The use of high quality compost from separate waste collection is one of the possible means to achieve this goal. It is to be hoped that the development of policy and legislation in waste management, soil protection and

climate change at national and EU level will ensure that the potential benefits to be reaped by a coordinated action in these fields do indeed materialise.

References

- European Climate Change Programme (ECCP), 2003. Working Group Sinks Related to Agricultural Soils, Final Report.
- European Climate Change Programme (ECCP), 2006. Working Group ECCP Review - Topic Group Agriculture and Forestry, Final Report, Brussels (http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/eccp/review_agriculture.pdf).
- European Commission (EC), 2002. Communication “Towards a Thematic Strategy for Soil Protection”, COM(2002)179, 16/4/2002 (http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2002/com2002_0179en01.pdf).
- European Commission (EC), 2006a. Communication “Thematic Strategy for Soil Protection”, COM(2006)231, 22/9/2006 (http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0231_en.pdf).
- European Commission (EC), 2006b. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC, COM(2006)232, 22/9/2006 (http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/com_2006_0232_en.pdf).
- European Commission (EC), 2006c. Commission Staff Working Document, Impact Assessment of the Thematic Strategy on Soil Protection, SEC(2006)620, 22/9/2006 (http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/sec_2006_620_en.pdf).
- Gendebien A., R. Ferguson, J. Brink, H. Horth, M. Sullivan and R. Davis, H. Brunet, F. Dalimier, B. Landrea, D. Krack and J. Perot, C. Orsi, 2001. Survey of wastes spread on land – Final Report, Study Contract B4-3040/99/110194/MAR/E3, European Commission (<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/compost/landspreading.htm>).
- Soil Atlas of Europe, 2005. European Soil Bureau Network, European Commission, OPOCE, Luxembourg.
- Stevenson F.J., 1982. Humus chemistry. Genesis, composition, reactions, John Wiley and Sons.
- Van-Camp, L., B. Bujarrabal, A-R. Gentile, R.J.A Jones, L. Montarella, C. Olazábal and S-K. Selvaradjou, 2004a. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection, EUR 21319 EN/1 to 6, OPOCE, Luxembourg.
- Van-Camp, L., B. Bujarrabal, A-R. Gentile, R.J.A Jones, L. Montarella, C. Olazábal and S-K. Selvaradjou, 2004b. Report of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil

Protection, Volume III, Organic Matter, EUR 21319 EN/3, OPOCE, Luxembourg.

Legislation

Council Decision 2002/358/EC of 25 April 2002 concerning the approval, on behalf of the European

Community, of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the joint fulfilment of commitments thereunder (OJ L 130, 15/5/2002).

Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste (OJ L 182, 16/07/1999).

La gestione dei rifiuti biodegradabili: stato attuale e prospettive

Rosanna Laraia

Premessa

La gestione dei rifiuti biodegradabili va inquadrata nel contesto più generale dell'attuazione di un ciclo sostenibile di gestione dei rifiuti, sia in termini di conservazione delle risorse che di riduzione degli impatti globali.

La gestione dei rifiuti deve, infatti, avere come obiettivo generale l'uso razionale e sostenibile delle risorse ed essere impostata seguendo un preciso ordine gerarchico di priorità:

- riduzione della produzione e soprattutto della pericolosità dei rifiuti
- riutilizzo e valorizzazione dei rifiuti sotto forma di materia, anche attraverso l'incremento della raccolta differenziata che consente di ottenere frazioni merceologiche omogenee con un miglior grado di purezza e, quindi, più facilmente collocabili sul mercato del recupero
- valorizzazione energetica dei rifiuti dotati di buon potere calorifico
- smaltimento in condizioni di sicurezza dei soli rifiuti che non hanno altra possibilità di recupero o trattamento.

In tale contesto un ruolo significativo può essere svolto da una corretta gestione di un importante flusso di rifiuti: la frazione organica biodegradabile.

La raccolta differenziata della frazione organica

A livello nazionale, la produzione dei rifiuti urbani fa registrare, nell'anno 2005, un ulteriore aumento, raggiungendo 31,7 milioni di tonnellate, con un incremento di ben 1,6 milioni di tonnellate rispetto al 2003 (+5,5%) ed un pro capite di circa 539 kg/abitante per anno (6 kg/abitante per anno in più rispetto al 2004, Fig.1).

Il confronto con gli indicatori socio economici evidenzia un incremento più sostenuto della produzione dei rifiuti rispetto al PIL ed ai consumi delle famiglie. In particolare, il prodotto interno lordo cresce, dal 2003 al 2005, dell'1% e le spese delle famiglie dello 0,6%, a fronte di un incremento percentuale della produzione di rifiuti urbani pari al 5,5%. E', dunque, evidente il disallineamento tra crescita economica e produzione dei rifiuti a conferma della scarsa efficacia delle politiche di prevenzione finora messe in atto.

Una risposta positiva alle pressioni esercitate dai rifiuti sull'ambiente è data dalla raccolta differenziata che, nel 2005, raggiunge, a livello nazionale, la percentuale del 24,3% della produzione totale dei rifiuti urbani. Tale valore risulta, tuttavia, ancora sensibilmente inferiore rispetto al target del 35%, previsto dal D.Lgs 22/97, per l'anno 2003, e ancor di più rispetto all'obiettivo del 40%, fissato al 2007, dalla legge 27 dicembre 2006, n.296 (legge finanziaria 2007) (Fig. 2).

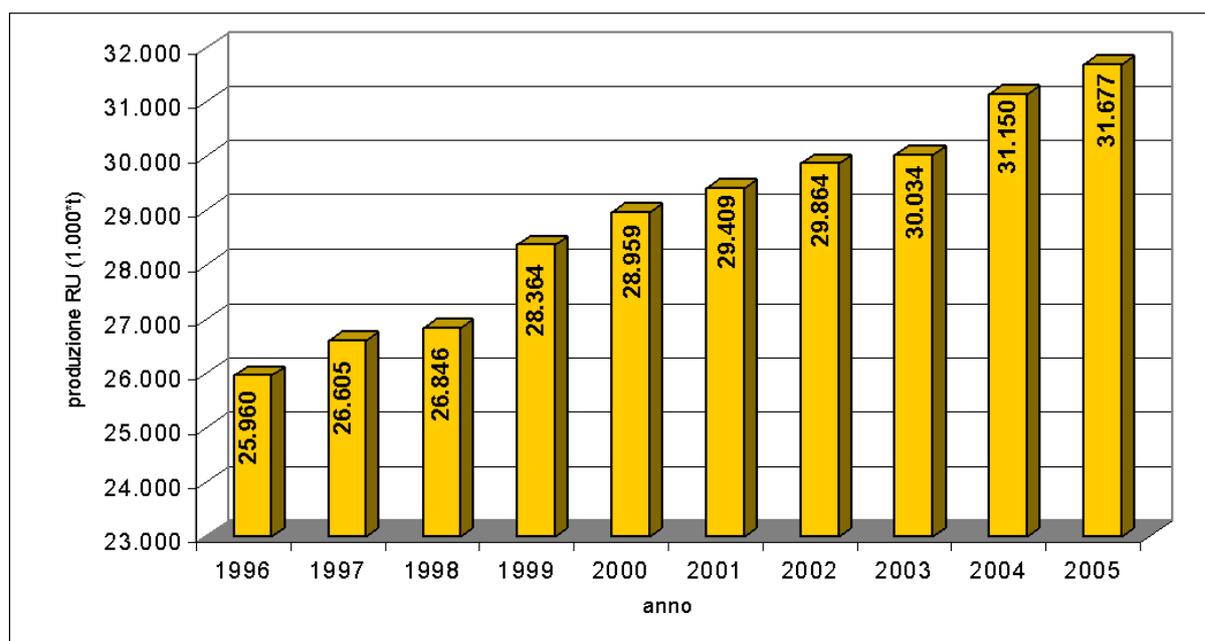


Figura 1. Andamento dell'aproduzione di rifiuti urbani, anni 1996-2005

Fonte: Rapporto Rifiuti 2006 APAT/ONR

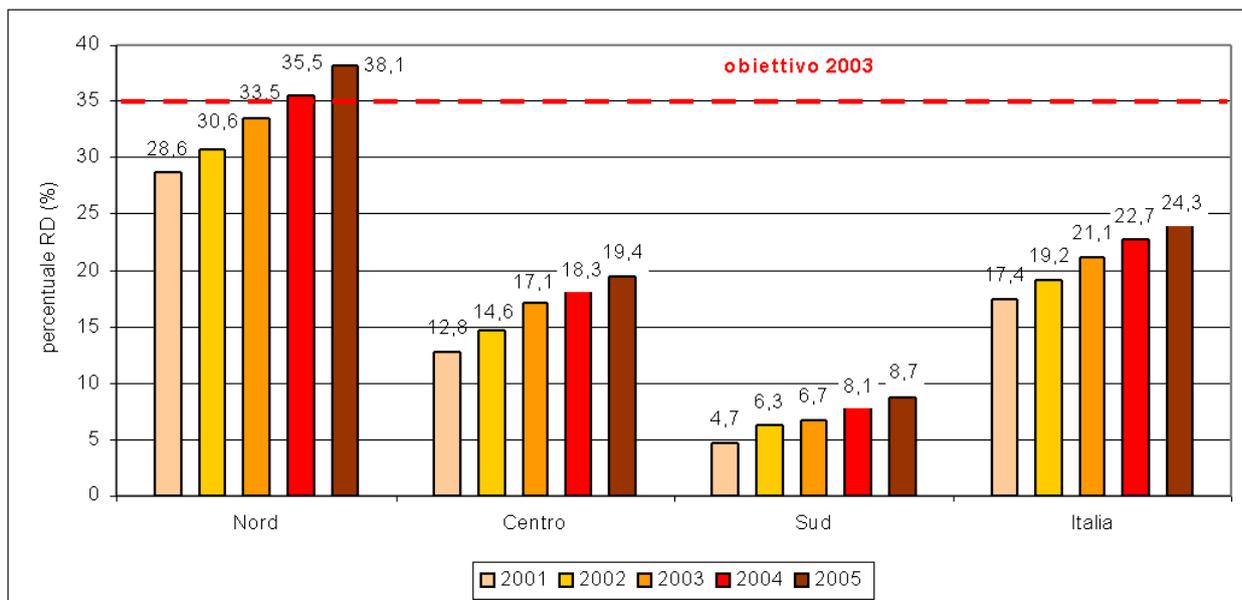


Figura 2. Andamento della raccolta differenziata dei rifiuti urbani, anni 2001 - 2005

Fonte: Rapporto Rifiuti 2006 APAT/ONR

La situazione appare, comunque, decisamente diversificata passando da una macroarea geografica all'altra: infatti, mentre il Nord, con un tasso di raccolta pari al 38,1%, supera ampiamente l'obiettivo del 35% (tale target era già stato conseguito nel 2004), il Centro ed il Sud con percentuali rispettivamente pari al 19,4% ed all'8,7%, risultano ancora decisamente lontani da tale obiettivo.

Nel Nord si va, dunque, consolidando un sistema di raccolta differenziata dei rifiuti, in particolare delle frazioni organiche, in linea con le altre nazioni europee. I dati del Sud evidenziano le difficoltà di queste aree ad attivare un sistema integrato di gestione dei rifiuti, basato su raccolte differenziate spinte, soprattutto della frazione umida che risulta addirittura assente in molti contesti che vivono l'emergenza rifiuti.

A livello regionale, percentuali di raccolta differenziata particolarmente elevate si rilevano, nel 2005, per Veneto (47,7%), Trentino Alto Adige (44,2%), Lombardia (42,5%) e Piemonte (37,8%).

Vi sono, poi, tre regioni, Emilia Romagna, Toscana e Friuli Venezia Giulia, che presentano percentuali di raccolta superiore al 30% e due regioni, Valle d'Aosta ed Umbria, con quote percentuali al di sopra del 20%.

Tre regioni raggiungono una percentuale di raccolta compresa tra il 15 ed il 20%: Liguria (18,3%), Marche (17,6%) e Abruzzo (15,6%). Tutte le altre regioni ottengono valori di raccolta differenziata ancora estremamente bassi, non mostrano sostanziali progressi, rispetto al 2004, fatta eccezione per la Sardegna che, con una variazione della quota percen-

tuale di circa 4,6 punti, arriva a sfiorare il 10% di raccolta differenziata.

In Campania, in particolare, dove la situazione di emergenza si protrae, oramai, da molti anni, la percentuale di raccolta differenziata si attesta, nel 2005, al 10,6%.

I dati relativi alle diverse frazioni merceologiche confermano il buon trend di crescita, già rilevato nel biennio 2003-2004, della raccolta differenziata della frazione organica (verde+umido), che aumenta, tra il 2004 ed il 2005, di circa 214 mila tonnellate, corrispondenti ad un incremento percentuale del 9,7%. Nel complesso, la raccolta dell'umido e del verde si attesta, a livello nazionale, a circa 2,4 milioni di tonnellate.

La raccolta di tale frazione è diffusa, soprattutto, nel nord del Paese dove risulta più sviluppato il sistema impiantistico di recupero mediante compostaggio di qualità; la raccolta pro capite della frazione organica supera, infatti, nel Nord, i 70 kg/abitante per anno contro i 30 kg/abitante per anno del Centro e i 10 kg/abitante per anno del Sud.

I rifiuti biodegradabili (frazione umida, verde, carta, legno e tessili) raccolti in maniera differenziata, sono pari a 5,3 milioni di tonnellate (quasi 91 kg/abitante per anno), corrispondenti al 69% circa del totale raccolto a livello nazionale.

Tra le regioni prevalentemente orientate ad incentivare la raccolta differenziata della frazione biodegradabile si citano, in particolare, il Veneto, la Lombardia, la Toscana, il Piemonte, il Trentino Alto Adige e l'Emilia Romagna che nel loro complesso hanno raccolto, nel 2005, più di 4 milioni di tonnellate di rifiuti biodegradabili.

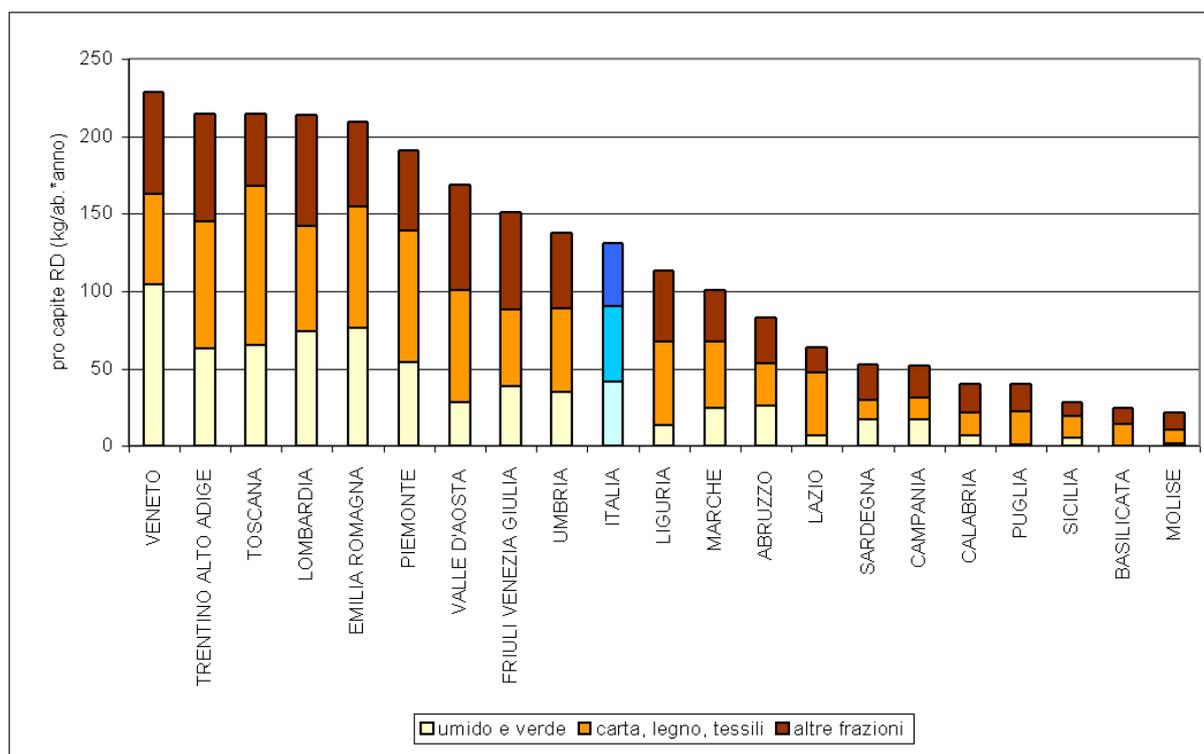


Figura 3. Procapite regionale della raccolta differenziata, frazione biodegradabile, anno 2005

Fonte: Rapporto Rifiuti 2006 APAT/ONR

Il ruolo del trattamento biologico nel sistema di gestione integrata

Nel sistema di gestione integrata dei rifiuti, basato sui principi della gerarchia comunitaria, la trasformazione in compost delle frazioni organiche dei rifiuti, intercettate attraverso i circuiti di raccolta differenziata ed il loro successivo impiego come ammendante, riveste un ruolo molto importante, rappresentando una forma elettiva di recupero di materia.

Tale importanza è sottolineata dall'attenzione rivolta dall'Unione Europea alla gestione dei rifiuti biodegradabili, attraverso i suoi atti regolamentari e strategici.

In primo luogo va citata la direttiva 1999/31/CE in materia di scariche che introduce specifici obiettivi di riduzione dell'allocatione in discarica dei rifiuti biodegradabili da raggiungersi nell'arco di 15 anni dall'attuazione della direttiva stessa. Tali obiettivi sono stati introdotti a livello nazionale dal D.Lgs.36/2003 che ha fissato dei target di riduzione da raggiungersi a livello da ambito territoriale ottimale o, qualora questi ultimi non siano costituiti, a livello provinciale.

In particolare, gli obiettivi di riduzione sono:

- entro il 2008, i rifiuti urbani biodegradabili allocati in discarica dovranno essere inferiori a 173 kg/anno per abitante;

- entro il 2011, i rifiuti urbani biodegradabili dovranno essere inferiori a 115 kg/anno per abitante;
- entro il 2018, i rifiuti urbani biodegradabili dovranno essere inferiori a 81 kg/anno per abitante.

Per il raggiungimento di tali obiettivi ciascuna regione doveva elaborare ed approvare, entro il 27 marzo 2004, un apposito programma per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica ad integrazione del Piano regionale di gestione dei rifiuti. Il programma deve prevedere, in particolare, il riciclaggio, il trattamento aerobico e/o anaerobico, il recupero di materiali o energia.

La direttiva 99/31/CE prevede, invece, all'articolo 5, l'elaborazione di una Strategia nazionale per la riduzione dei rifiuti biodegradabili; detta Strategia è stata inviata dall'Italia alla Commissione europea.

Nella Strategia nazionale i rifiuti biodegradabili sono individuati come quei rifiuti soggetti a decomposizione aerobica ed anaerobica, come alimenti, rifiuti dei giardini, carta e cartone, ma anche legno e fibre tessili naturali in considerazione del fatto che nella discarica i processi anaerobici protratti decompongono anche questi materiali. Il documento individua, inoltre, i metodi ufficiali di campionamento ed analisi da utilizzare per la valutazione della quantità

di rifiuti biodegradabili che, sulla base di una serie di calcoli, sono, comunque, stimati in una percentuale pari al 65% del totale della quantità di rifiuti urbani prodotti.

Gli strumenti individuati per la riduzione dei rifiuti biodegradabili sono, da un lato, la disincentivazione del conferimento in discarica attraverso l'utilizzo di strumenti finanziari (l'ecotassa e l'aumento dei costi di conferimento,) e, dall'altro, l'incentivazione della raccolta differenziata delle frazioni organiche, cellulosiche e tessili, del trattamento meccanico/biologico, del compostaggio di frazioni selezionate; e dell'incenerimento con recupero di energia.

Concorrerà a diminuire lo smaltimento in discarica dei rifiuti organici, non urbani, anche il divieto di conferimento di tipologie di rifiuti speciali quali i rifiuti sanitari organici anche sterilizzati ed i sottoprodotti di origine animale corrispondenti alle categorie 1 e 2 del regolamento 1774/2002. Vale la pena di sottolineare che tali divieti non sono previsti dalla normativa comunitaria.

L'analisi della pianificazione regionale evidenzia che i Programmi elaborati individuano, in conformità al dettato europeo, diversi strumenti ed opzioni di trattamento per i rifiuti biodegradabili (incentivazione della raccolta differenziata della frazione umida, trattamento aerobico e/o anaerobico, recupero di materiali o energia). La loro piena attuazione determinerà una sicura inversione di tendenza rispetto alla situazione attuale che vede, in molte regioni, avviare ancora in discarica la quasi totalità dei rifiuti biodegradabili prodotti. Nel 2005, i dati presentati dal

Rapporto Rifiuti 2006 dell'APAT e dell'ONR, rilevano che la maggior parte delle Regioni sembrano ancora lontane dal raggiungimento degli obiettivi, soprattutto al Centro e al Sud, dove le percentuali di raccolta differenziata della frazione biodegradabile, calcolata sul totale dei rifiuti prodotti, risultano rispettivamente pari, in media, al 14,5% e 5,3%. Solo sei Regioni: Lombardia, Friuli Venezia Giulia, Veneto, Trentino Alto Adige, Basilicata e Campania hanno raggiunto l'obiettivo di riduzione fissato per l'anno 2008.

Tuttavia, va evidenziato che il risultato della Campania non è dovuto ad un reale allontanamento dalle discariche della frazione biodegradabile, ma solo ad un pretrattamento del rifiuto urbano che viene, poi, stoccato in attesa di essere avviato in discarica in altre regioni o all'estero, o incenerito, sempre fuori regione.

Un'ulteriore impulso verso un sistema di gestione più ecosostenibile dei rifiuti biodegradabili si avrà a seguito dell'implementazione a livello dei diversi stati membri e, quindi, dell'Italia, della Comunicazione (2005)666 definitivo "Verso una strategia tematica di prevenzione e riciclo dei rifiuti" adottata dalla Commissione europea il 21 dicembre 2005.

Ampio spazio nella Strategia è riservato, infatti, alla gestione dei rifiuti biodegradabili; l'obiettivo prioritario rimane il loro allontanamento dalla discarica che produce metano, un gas serra 21 volte più potente del biossido di carbonio, sarà, pertanto, attentamente monitorato il raggiungimento degli obiettivi di riduzione nei diversi Paesi dell'Unione.

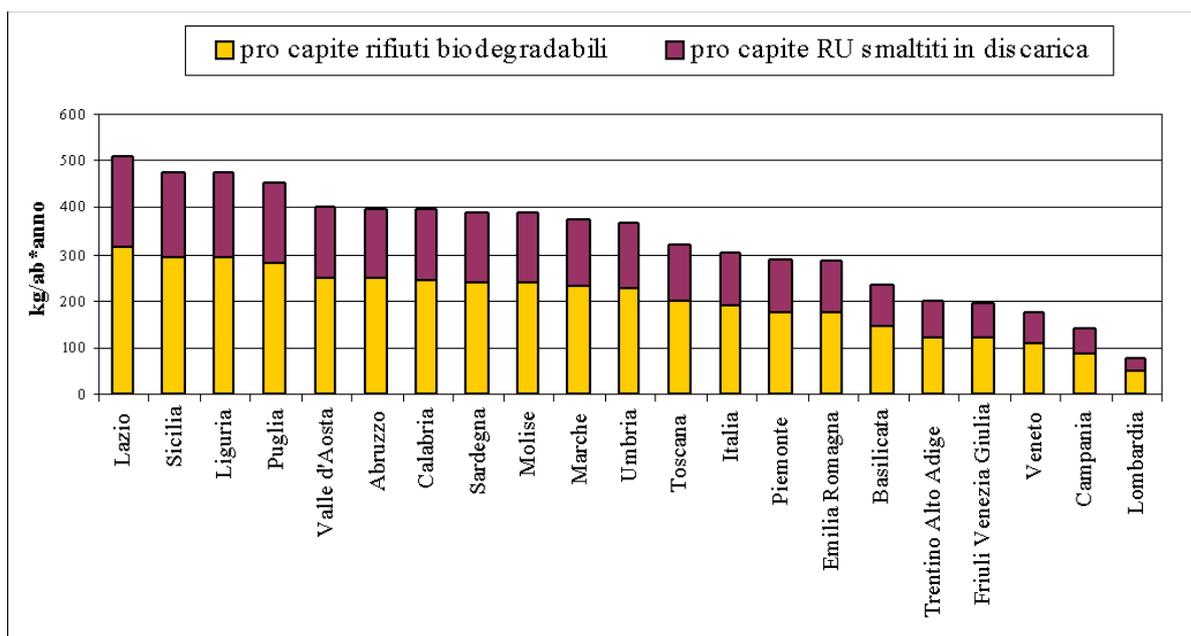


Figura 4. Pro capite di rifiuti biodegradabili smaltiti in discarica

Fonte: Rapporto Rifiuti 2006 APAT/ONR

La Commissione ribadisce, in linea con quanto già indicato nella direttiva discariche, che non esiste un'unica soluzione ottimale dal punto di vista ambientale per gestire i rifiuti biodegradabili; le alternative più corrette alla discarica vanno valutate nei singoli contesti territoriali tenendo conto dei numerosi fattori locali, tra i quali, i sistemi di raccolta, la composizione e la qualità dei rifiuti, le condizioni climatiche, l'impatto sui cambiamenti climatici, la possibilità di utilizzare il compost nella lotta contro il degrado del suolo.

L'approccio corretto va, quindi, basato sull'analisi del ciclo di vita e, a tal fine, la Commissione si impegna ad elaborare, specifiche linee guida per l'applicazione alla gestione dei rifiuti biodegradabili del principio del ciclo di vita.

Alla luce di queste linee guida, gli Stati membri saranno richiamati a rivedere le loro Strategie nazionali e i piani di gestione dei rifiuti urbani.

La Commissione proporrà inoltre di inserire il compostaggio dei rifiuti nel campo di applicazione della direttiva IPPC al momento della sua revisione per garantire standard europei per il trattamento dei rifiuti biodegradabili e per il compost prodotto dagli impianti.

Sempre nell'ambito delle azioni mirate a garantire una corretta gestione dei rifiuti biodegradabili sarà rivista, entro il 2007, la direttiva del Consiglio 86/278/CEE concernente l'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura al fine di rendere più rigorose le norme di qualità in base alle quali è consentito l'uso di tali fanghi sul suolo.

Al fine di garantire la tutela e l'uso sostenibile del suolo, la Commissione Europea ha ritenuto opportuno definire anche una strategia tematica per la protezione del suolo basata sui principi della prevenzione della degradazione del suolo e del ripristino dei suoli degradati a un livello di funzionalità coerente con le destinazioni d'uso.

La strategia tematica si compone di una Comunicazione (COM(2006)231) contenente i principi base per la definizione di una politica di protezione del suolo a livello comunitario, di una proposta di direttiva per la protezione del suolo (COM(2006)232) e di un'analisi degli impatti ambientali, economici e sociali (SEC(2006)1165 e SEC(2006)620).

la Strategia tematica sul suolo, pur non individuando espressamente le misure da attuarsi per il ripristino di un adeguato tenore di sostanza organica nel suolo (la scelta delle azioni da mettere in atto è lasciata ai singoli Stati membri), nella parte relativa alle analisi di rischio, sottolinea, comunque, l'importante ruolo che può essere svolto dall'utilizzo del compost.

A livello nazionale un provvedimento destinato ad aumentare il riciclaggio dei rifiuti biodegradabili,

soprattutto, la produzione di compost di qualità è il DM 203/2003 "Norme affinché gli uffici pubblici e le società a prevalente capitale pubblico coprano il fabbisogno annuale di manufatti e beni con una quota di prodotti ottenuti da materiale riciclato nella misura non inferiore al 30% del fabbisogno medesimo".

Al fine di agevolare l'applicazione della norma, il Ministro dell'ambiente e tutela del territorio, ha emanato otto circolari, recanti indicazioni per l'operatività nei diversi settori merceologici, nonché informazioni dettagliate sulla documentazione da produrre per le richieste di inserimento in un apposito registro, pubblicato ed aggiornato dall'ONR, e denominato Repertorio del Riciclaggio.

Tra le circolari emanate, la Circolare 22 marzo 2005 è intervenuta a fornire indicazioni per il settore degli ammendanti; il provvedimento rappresenta un traguardo importante per il settore del compostaggio, ampliando a tutti gli effetti il mercato al compost di qualità, fermo restando il rispetto di elevati livelli di tutela ambientale.

L'utilizzo del compost deve, infatti, rispettare una serie di requisiti di "qualità" affinché l'apporto al suolo non si traduca in un progressivo inquinamento dello stesso, con evidenti ripercussioni negative sia da un punto di vista ambientale (ad es., inquinamento dei suoli e delle falde), sia da un punto di vista economico (danni alle colture).

La normativa nazionale relativa ai fertilizzanti (D.Lgs.217/2006) già individua, per il compost, precisi criteri di qualità relativamente al contenuto di metalli pesanti, inerti, rapporto C/N, ecc.

Un discorso a parte va fatto per il trattamento biologico del rifiuto residuo a valle della raccolta differenziata. Il trattamento meccanico biologico ha assunto, negli anni, come si chiarirà meglio di seguito, un ruolo sempre più determinante, contribuendo ad una gestione più corretta del rifiuto residuo, sia ai fini dello smaltimento finale sia per la possibilità di impiegare la frazione organica stabilizzata (FOS) prodotta, nella copertura delle discariche o in attività paesaggistiche e di ripristino ambientale.

L'avvio di quantitativi crescenti di sostanza organica ai trattamenti di biostabilizzazione costituisce un elemento essenziale al fine di garantire una riduzione della frazione organica da allocare in discarica in conformità a quanto disposto dal D.Lgs 36/2003 di recepimento della direttiva 1999/31/CE in materia di discariche.

Va, però, rilevato che per il biostabilizzato proveniente dagli impianti di trattamento meccanico-biologico non esiste allo stato attuale alcuna normativa comunitaria o nazionale; è necessario, pertanto, intervenire attraverso la definizione di una normativa tecnica di settore.

Il materiale in uscita dagli impianti, che è da considerarsi, a tutti gli effetti, un rifiuto dovrebbe, per una sua valorizzazione, essere contraddistinto da un elevato grado di stabilità e da un basso contenuto di sostanze inquinanti e di materiali inerti. Lo strumento normativo può giocare, allora, un ruolo molto importante introducendo regole certe ed adeguate che, da un lato garantiscano il rispetto di elevati standard ambientali, dall'altro creino le condizioni per un reale sbocco di mercato.

Di seguito si delinea il quadro relativo sia al compostaggio di matrici selezionate che al trattamento meccanico/biologico del rifiuto indifferenziato, aggiornato all'anno 2005 e basato sui dati forniti dal Rapporto Rifiuti 2006 dell'APAT e dell'ONR.

Il compostaggio di matrici selezionate

I rifiuti complessivamente trattati in impianti di compostaggio, nell'anno 2005, pari a 3 milioni di tonnellate, fanno registrare, rispetto all'anno 2004, un tasso di crescita del 12,9%.

I dati documentano il ruolo che il compostaggio sta assumendo nell'ambito della gestione dei rifiuti, sia per i progressivi aumenti dei quantitativi trattati, che per il numero di impianti presenti sul territorio nazionale. Questi ultimi risultano, nel 2005, pari a 284, di cui 215 operativi; il numero di quelli che trattano più di 1.000 t/a, è 161.

Nel Nord, in coerenza con le percentuali di raccolta differenziata dell'organico, è dislocato il 72,2% degli impianti; al Centro ed al Sud le percentuali si abbassa-

no diventando rispettivamente il 15,5% ed il 12,3%.

La figura 5, mostra la progressione delle quantità dei rifiuti complessivamente trattati negli impianti di compostaggio, nel periodo 1993-2005, mettendo in evidenza che la frazione costituita dai soli rifiuti urbani provenienti da raccolta differenziata (rifiuti biodegradabili di cucine e mense e rifiuti biodegradabili da giardini e parchi), risulta in crescita (+6,6% rispetto al 2004).

L'andamento relativo alle quantità dei rifiuti trattati nelle tre macro aree geografiche, conferma, ancora una volta, il notevole divario tra le regioni del Nord, dove la raccolta differenziata dell'organico ha, ormai, raggiunto livelli ottimali, e le regioni del Centro e, soprattutto, del Sud in cui tale sistema stenta ancora a decollare. In particolare al Nord viene trattato l'80,1% di rifiuti urbani, al Centro il 15,7%, e solo il 4,2% al Sud.

Riguardo alla potenzialità complessiva degli impianti presenti sul territorio nazionale si evidenzia un incremento del 14,4% rispetto al 2004, dovuta all'entrata in esercizio di alcuni nuovi impianti, due dei quali in Calabria. Nel 2005, a fronte di un quantitativo totale di rifiuti trattati pari a 3 milioni di tonnellate, la potenzialità totale, ammonta ad oltre 6 milioni di tonnellate; tale dato sottolinea la possibilità, per gli impianti di compostaggio, di poter far fronte ad un incremento anche sostanziale delle quantità di rifiuti da trattare, soprattutto al Sud dove, invece, la raccolta differenziata della frazione umida risulta in evidente ritardo.

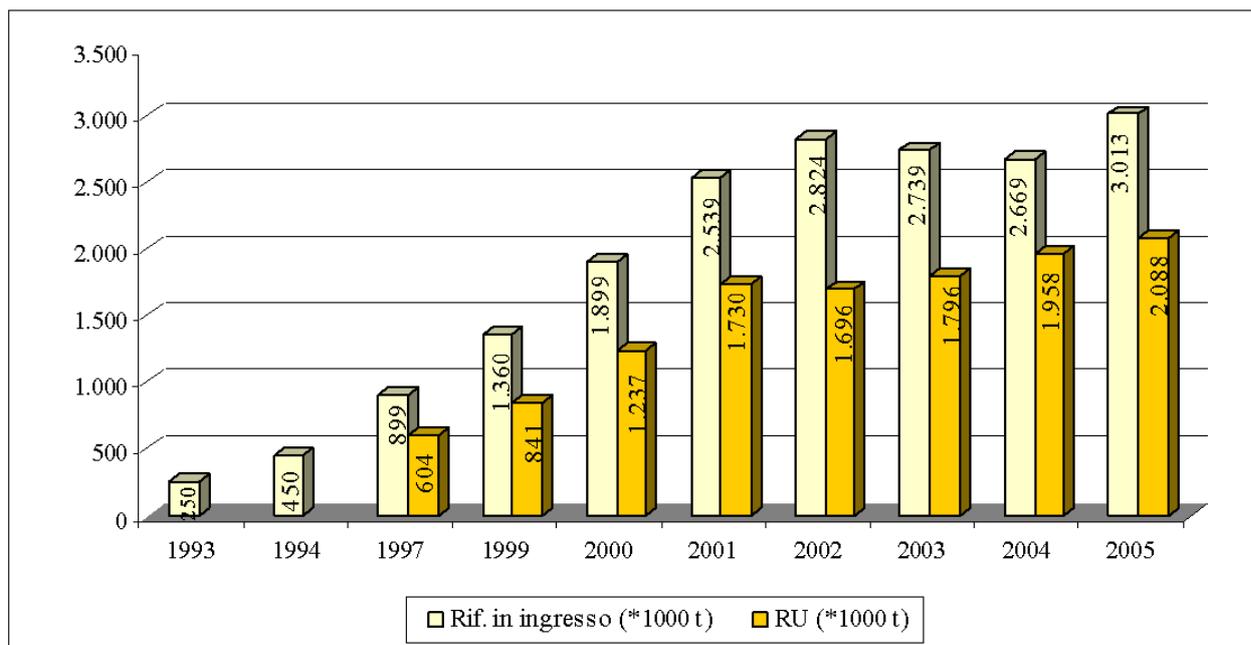


Figura 5. Evoluzione dei quantitativi trattati in impianti di compostaggio per matrici selezionate

Il trattamento meccanico biologico

Nell'anno 2005 sono stati avviati a trattamento meccanico biologico 8,4 milioni di tonnellate di rifiuti indifferenziati, con un incremento, rispetto all'anno 2004, del 13,6%. Tale evoluzione è confermata anche dal numero di impianti censiti che passa da 116 (di cui attivi 93) a 128 (di cui 109 in esercizio).

La figura 6 mostra l'evoluzione dei quantitativi di rifiuti in ingresso agli impianti di trattamento meccanico biologico, negli anni 1999-2005, suddivisi per macro area geografica. L'incremento registrato nell'intero contesto nazionale (+13,6%), risulta più rilevante al Sud, dove le quantità trattate, ammontano ad oltre 3,6 milioni di tonnellate, pari al 43,2% del totale nazionale e con un aumento, rispetto al 2004, del 17,2%. Il Nord, sottopone a trattamento meccanico biologico circa 2,8 milioni di tonnellate di rifiuti (33,2% del totale trattato),

facendo registrare un incremento pari all'11,6%, mentre al Centro l'aumento del 10,3%, corrisponde a circa 2 milioni di tonnellate trattate (23,6% del totale).

La Campania risulta la regione ove si registrano i quantitativi più elevati di rifiuti trattati, oltre 2,5 milioni di tonnellate (30% del totale nazionale); buoni livelli di trattamento si rilevano, al Nord, in Lombardia, Emilia Romagna e Veneto, mentre al Centro la Toscana, con oltre 1 milione di tonnellate (12,3% del totale nazionale), rappresenta la regione con il più alto livello di trattamento.

Gli impianti di trattamento meccanico biologico presentano una potenzialità complessiva di oltre 13 milioni di tonnellate (+12% rispetto al 2004); tale dato evidenzia la possibilità di ulteriori sviluppi del settore e pone l'Italia tra i primi posti in Europa per capacità di trattamento.

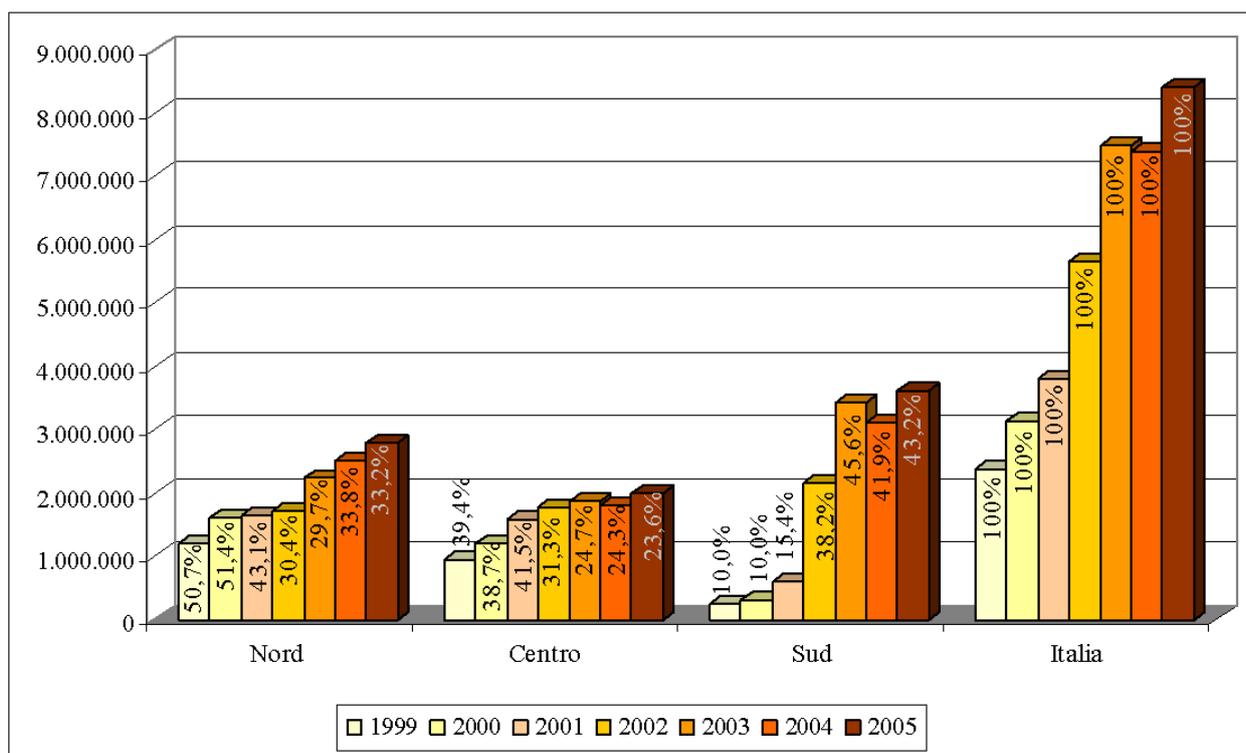


Figura 6. Rifiuti indifferenziati in ingresso agli impianti di trattamento meccanico biologico, anni 1999-2005

L'evoluzione della produzione di ammendanti compostati in Italia: il ruolo del controllo della qualità e della certificazione di prodotto per il consolidamento del mercato

Massimo Centemero

CONSORZIO ITALIANO COMPOSTATORI
Loc. Cascina Sofia, 20040 Cavenago Brianza (MI)
e-mail: centemero@compost.it

Riassunto

Il numero di impianti di produzione di Ammendante Compostato è cresciuto soprattutto nell'ultimo decennio parallelamente alla disponibilità di biomasse da avviare al compostaggio; negli ultimi due-tre anni invece si registra una situazione di sostanziale equilibrio comunque con una crescita sia del numero di impianti che dello scarto organico trattato. Considerando le unità attive sul territorio nazionale si contano 215 impianti rispetto ai 10 del 1993.

Tra gli scarti organici sottoposti a compostaggio assume sempre maggior importanza la frazione organica raccolta in ambito urbano (rifiuti urbani biodegradabili provenienti da cucine, mense e lo scarto vegetale proveniente dai giardini e dai parchi) mentre i fanghi di depurazione diminuiscono progressivamente. Attualmente (anno 2005) sono ca. un milione all'anno le tonnellate di Ammendante Compostato (nel rispetto delle caratteristiche stabilite dal D.lgs. n.217/06) che viene destinato ai vari comparti agricoli: agricoltura di piano campo, settori specializzati quali l'orticoltura e la viticoltura, il florovivaismo.

Parallelamente stanno aumentando le aziende che desiderano qualificare tramite una Certificazione di prodotto gli Ammendanti che esitano dagli impianti di compostaggio. Il Consorzio Italiano Compostatori assegna ai migliori prodotti che aderiscono al programma di certificazione, un "Marchio di prodotto". Ad oggi (febbraio 2007) si stima che circa il 20% dell'Ammendante Compostato (ca. 200.000 t) presente sul mercato nazionale dei fertilizzanti, può essere "accompagnato" dal logo che attesta la certificazione di prodotto.

La evidente crescita quali-quantitativa dell'intero settore, accanto ad una costante opera di sensibilizzazione svolta presso gli agricoltori, hanno contribuito ad aumentare la confidenza degli operatori agricoli nei confronti dell'Ammendante Compostato che viene utilizzato con sempre maggiore frequenza e con risultati eccellenti soprattutto nei comprensori a forte vocazione agricola.

Parole chiave: Compost, Ammendante, Certificazione, Marchio, Qualità, Tracciabilità

L'utilizzo valorizzato di Ammendante Compostato

Negli ultimi anni si è assistito a un incremento dei quantitativi di Ammendante Compostato (Centemero, 2005) impiegati in pieno campo su colture estensive, segno tangibile di una maggiore confidenza da parte degli agricoltori nei confronti di un nuovo mezzo tecnico, oltre che innovativo, nel vasto panorama dei fertilizzanti organici. La maggior confidenza, può essere verificata in comprensori dove, accanto all'offerta di compost da parte delle aziende produttrici, si è sviluppato un serio e costante rapporto con gli agricoltori che ha determinato la creazione di una specifica domanda.

L'ammendante Compostato (Misto o Verde) è impiegato in diversi ambiti a partire da quello agricolo, ma anche nel giardinaggio, in orticoltura, in viti-

coltura, nella paesaggistica ed, infine, nel recupero di siti degradati, ognuno caratterizzato da specifiche esigenze; la conoscenza delle caratteristiche agronomiche degli ammendanti che si possono utilizzare diventa, quindi, fondamentale per un loro corretto utilizzo. I questo capitolo forniremo indicazioni orientative sulle modalità e sulle dosi di apporto ottimali del compost in ciascun ambito di intervento.

Caratteristiche dell'Ammendante Compostato

Nella tabella riportata di seguito (cfr. Tabella 1), sono posti a confronto le tipologie di ammendanti con i materiali organici di tradizionale impiego (letame, pollina), i terricci per il florovivaismo e le torbe bionde. Per la comparazione sono presi in considerazione i principali parametri di valutazione agronomica e gli ammendanti sono indicati con la denominazione

commerciale prevista dalla legge, che li classifica in Ammendanti Compostati Verdi (ACV) e in Ammendanti Compostati Misti (ACM).

L'Ammendante Compostato Verde

Gli ammendanti compostati verdi (ACV) sono prodotti che derivano dal trattamento di scarti della manutenzione del verde ornamentale, residui delle colture, altri rifiuti di origine vegetale con esclusione di alghe e altre piante marine. Gli ACV presentano caratteristiche fisico-idrologiche apprezzabili ed una limitata salinità rispetto ad altri ammendanti (impiego meno problematico dunque in buca di piantagione, od in vaso, a diretto contatto con la radice). Risulta dunque immediata la possibilità di collocazione nel settore florovivaistico per la costituzione di substrati e per l'utenza hobbistica in miscela a componenti torbose. Di contro un'ammendante da scarti verdi, soprattutto se prodotto da matrici ad elevata componente legnosa, presenta bassi valori in elementi nutritivi (principalmente azoto, e ancora di più per quanto concerne fosforo e potassio). In presenza di una mediocre cessione di elementi nutritivi durante la mineralizzazione della sostanza organica, gli ACV svolgono essenzialmente la funzione di apportatore di sostanza organica umificata in grado di migliorare le proprietà fisico-strutturali e biologiche del terreno agrario in caso di siti poveri di sostanza organica e tendenti alla riduzione del potenziale biologico.

L'Ammendante compostato misto

Gli ammendanti compostati misti (ACM) sono prodotti che derivano dalla frazione organica proveniente da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agroindustriale e da lavorazione del legno e del tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi, nonché

dalle matrici previste per l'ACV.

Gli ACM sono in grado di garantire, oltre all'apporto in sostanza organica umificata (funzione ammendante) anche un buon equilibrato apporto concimante (N-P-K e microelementi) e ricchezza in magnesio e ferro. Ciò garantisce elevate prestazioni nel caso della concimazione organica; in particolare, le attività specializzate, quali l'orticoltura, le colture da rinnovo e i reimpianti in viticoltura e frutticoltura, notoriamente consumatrici di sostanza organica, si avvalgono del potere fitonutritivo di questo tipo di ammendanti. Per contro, l'elevato contenuto in sali solubili (espressi dalla conducibilità elettrica specifica) degli ACM, limita la possibilità di impiego massiccio nelle attività florovivaistiche dove la coltivazione avviene in contenitore.

Per entrambe le tipologie di ammendante, un altro settore di applicazione molto vocato risulta essere l'agricoltura organica o biologica, ma in questo caso, tra gli scarti organici impiegati per la produzione di ACM, i fanghi sono esclusi. Le pratiche biologiche prevedono il ricorso preminente della fertilizzazione organica, la cui ricchezza fitonutritiva diventa un fattore essenziale della gestione equilibrata dell'ordinamento colturale aziendale.

Altri settori in grado di valorizzare molto bene il compost come vettore di sostanza organica e di elementi della fertilità restano il giardinaggio e la paesaggistica, all'atto della costruzione del paesaggio vegetale in aree di neo-insediamento o di ripristino.

Lo stato dell'arte del compostaggio in Italia

Se si osservano i dati relativi ai quantitativi di scarti organici attualmente trattati negli impianti di compostaggio (Rapporto rifiuti APAT-ONR, 2006) ci si rende conto della dimensione industriale di un settore che dispone di più di 200 impianti dislocati su

Tabella 1. Caratteristiche agronomiche di base per diversi fertilizzanti organici (valori medi).

Parametro	Letami	Pollina	Compost da scarti alimentari	Compost da scarti verdi	Terricci torbosi	Torbe
Umidità (% s.t.q.)	65-80	20-70	40-55	40-55	40-60	40-50
N (% s.s.)	2.02	4.03	1.08	1.01	/	0.09
P ₂ O ₅ (% s.s.)	1.09	4.05	1.04	0.05	/	0.01
K ₂ O (% s.s.)	1.07	3.01	1.03	0.04	/	0.01
TOC (% s.s.)	35	/	25	22	50	40
pH (-logH ⁺)	8.03	8.09	8.02	7.08	5.09	5.06
C.E.S. (μS cm ⁻¹)	2560	6590	3730	980	1860	440
S.V. (% s.s.)	55	50	50	44	65	84
Magnesio (% MgO)	/	/	1.05	1.01	/	0.02
Manganese (ppm s.s.)	/	/	300	300	/	65
Ferro (ppm s.s.)	/	/	13600	2700	/	1500

tutto il territorio nazionale. Sono ormai circa tre milioni le tonnellate di “biorifiuto” trattate, 2/3 del quale sono di derivazione urbana (ovvero provenienti dalla raccolta differenziata), che quindi rappresenta la fonte più cospicua di matrici per la produzione di ammendante compostato.

Osservando la tabella 2, dal confronto tra la situazione potenziale e reale, si possono fare le seguenti osservazioni:

- il numero di impianti che tratta matrici selezionate (cfr. Figura 1) è cresciuto negli ultimi anni fino ad attestarsi (erano 10 nel 1993) a 215 impianti nel 2005.
- lo scarto organico compostato attualmente rappresenta “solo” il 12-15% della quota potenzialmente trattabile;

- la quota di scarti organici provenienti dalla raccolta differenziata rappresenta i 2/3 degli scarti complessivamente compostati (cfr. Figura 2);
- l’ammendante compostato prodotto ammonta a ca. 1.000.000 d t/anno;
- l’ammendante compostato potenziale si aggira (quota variabile in funzione della composizione chimico-fisica dello scarto e dal tipo di trattamento) intorno a 6-8 mln di ton sempre su base annua;

In definitiva, nonostante la crescita registrata negli ultimi 15 anni dell’intero settore, si possono individuare ancora altri e ampi margini soprattutto se si considera che in queste stime non sono state prese in considerazione le matrici organiche di origine zootecnica (letami, liquami, pollina, ecc.) e alcuni scarti agroindustriali (industria della trasformazione del pomodoro).

Tabella 2. I numeri indice del sistema compostaggio nel 2005 (elaborati da APAT-ONR 2006)

Sistema Compostaggio in Italia		
	Situazione Reale (2005)	Situazione Potenziale
Impianti di compostaggio (n.)	215	1.000
Scarto Organico al compostaggio (t/anno) di cui:	3.013.416	20-25.000.000
- FORSU (t/anno)	1.084.882	5.000.000
- VERDE (t/anno)	1.002.746	2.500.000
Stima Ammendante Compostato (t/anno)	1.000.000	6-8.000.000

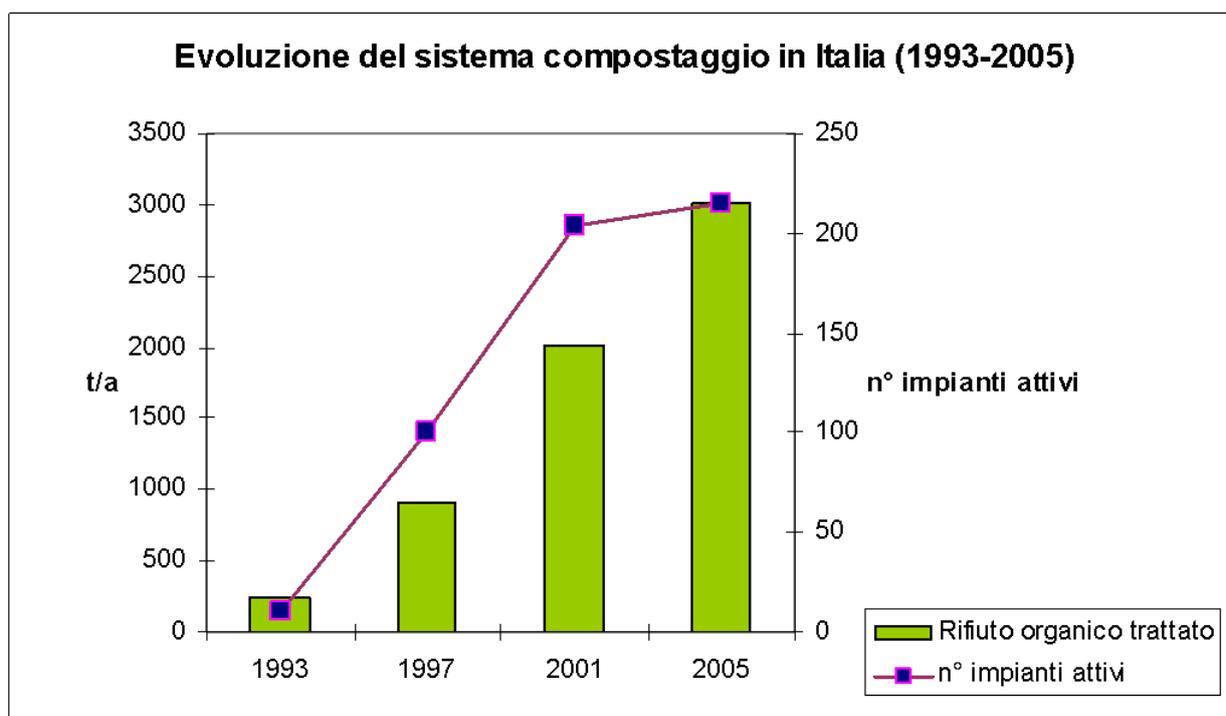


Figura 1. Evoluzione degli impianti di compostaggio negli anni

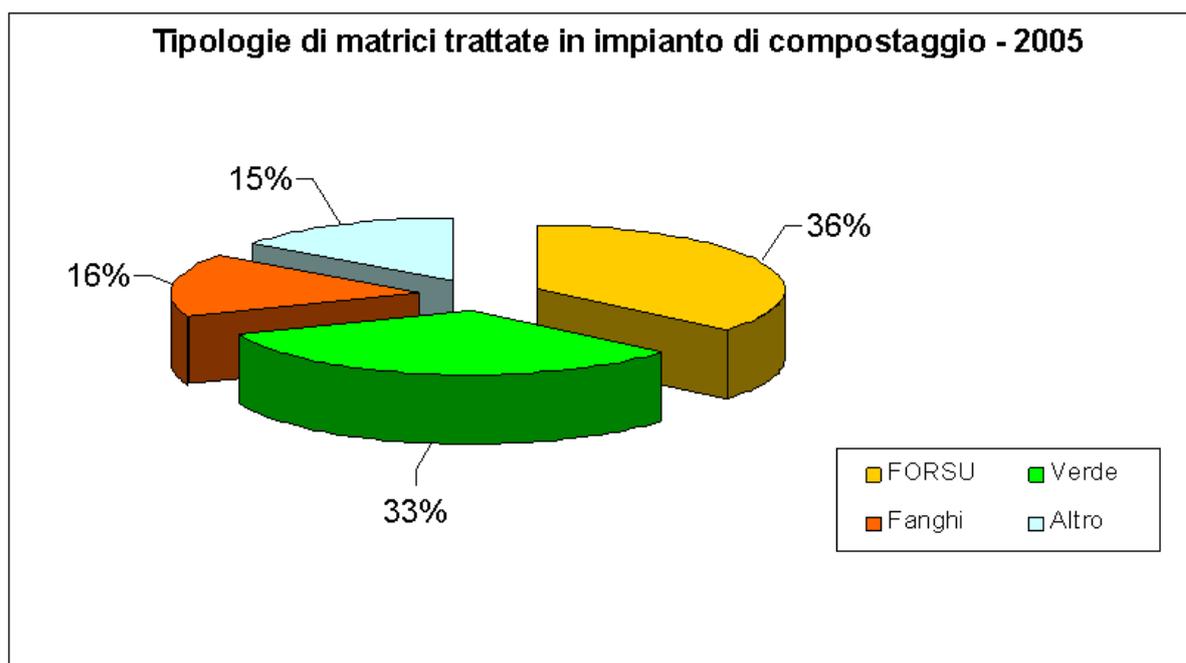


Figura 2. Evoluzione del sistema compostaggio in Italia (anni 1993-2004)

E' davvero sorprendente quanto il settore del compostaggio si sia evoluto negli ultimi 15 anni. Nel 1993 la produzione di compost era di 25.000 t mentre gli impianti erano solo 10: ora la produzione è di ca. 1.000.000 di tonnellate/anno e l'Ammendante Compostato (Verde e Misto) rappresenta la classe di Ammendante Organico Naturale più cospicua tra i fertilizzanti così come definiti e previsti dal D. lgs. 217/06.

La collocazione del compost

Ormai sono innumerevoli le testimonianze (test condotti dalle aziende agricole, tesi di laurea, prove applicative, progetti di ricerca, ecc.) che attestano il positivo contributo del compost impiegato come ammendante nei suoli destinati alla coltivazione di colture erbacee, in frutticoltura e viticoltura, olivicoltura, ortive in serra, ecc.. Negli ultimi dieci anni si è assistito ad un incremento dei quantitativi impiegati in pieno campo su colture estensive, segno tangibile di una maggior confidenza da parte degli agricoltori nei confronti di un mezzo tecnico nuovo, oltre che innovativo, nel vasto panorama dei fertilizzanti. Da stime condotte nel corso di questi ultimi anni la quota di compost destinato al pieno campo è aumentata progressivamente passando da 33% nel 1997 al 62% rilevato da stime recenti condotte presso i propri associati dal Consorzio Italiano Compostatori.

La maggior confidenza e fiducia nel compost può essere verificata in comprensori dove, accanto all'offerta di compost da parte delle aziende produttrici, si è sviluppato un serio e costante rapporto con le associazioni di categoria degli agricoltori, con i

tecnici agricoli e, chiaramente, con gli agricoltori stessi; tali azioni hanno determinato la creazione di una specifica domanda. Come tutti i nuovi prodotti proposti al mondo agricolo, la confidenza non è immediata e va "coltivata" individuando le condizioni tecniche ed economiche che ne rendono efficace l'impiego.

Il miglioramento della qualità dei compost, la potenziale surrogazione di letami e concimi organici, accanto alla riduzione delle disponibilità di sostanze organiche tradizionalmente impiegate ed ai costi dei fertilizzanti di sintesi, hanno contribuito a fare del compost un materiale organico che può entrare nei piani di fertilizzazione dell'azienda agraria, qualsiasi sia l'ordinamento produttivo.

I dati ISTAT sulla commercializzazione in agricoltura dell'Ammendante Compostato

Come ogni anno l'Istituto di Statistica (Adua, 2006), che sta affinando la metodologia di rilievo dei dati, ha fornito i dati ufficiali da cui si desume che dal 1998 al 2005 tra tutti i fertilizzanti di uso agricolo, solo gli ammendanti sono aumentati in modo considerevole; dal 1998 ad oggi i quantitativi si sono quadruplicati, passando da 250.000 a ca. 1.000.000 di ton/anno. Attenzione, tra gli ammendanti censiti dall'ISTAT non c'è solo l'Ammendante Compostato (come si vede nel grafico di Figura 3) ma anche letami, torbe, ecc. La crescita di cui sopra comunque è indubbiamente da imputarsi soprattutto alla crescita delle biomasse compostate che da almeno una decina di anni aumentano in modo considerevole. Se si analizzano più in dettaglio i dati forniti dall'Istituto di

Statistica, si rileva come l'Ammendante Compostato Verde e l'Ammendante Compostato Misto, rappresentano insieme più del 50% del totale degli Ammendanti (esattamente 56%). Questo ed altri numeri-indice ci confermano non solo quanto sia cresciuto soprattutto in questi ultimi anni tutto il comparto del compostaggio ma anche quanto possa incidere sul mercato dei fertilizzanti questo "nuovo prodotto"; prodotto che trova sbocco soprattutto nell'agricoltura di pieno campo (su colture estensive) ma che viene comunemente impiegato massicciamente anche nelle formulazioni commerciali per i terricci hobbystici.

Da nostre valutazioni si stima che più del 60% dell'Ammendante Compostato prodotto (cfr. Figura 4) trova una collocazione nelle aziende agricole che necessitano di sostanza organica in dosi cospicue a sostituzione della tradizionale pratica della letamazione che è scomparsa in gran parte d'Italia. Il compost quindi rappresenta tra i mezzi tecnici impiegati in agricoltura, una delle novità degli ultimi anni nel panorama dei fertilizzanti e, se si considera che tutta la sostanza organica che viene impiegata sul suolo agricolo (dal letame alla pollina, dai fanghi ai liquami zootecnici) è derivata dalla trasformazione di scarti organici di un'attività produttiva o domestica, per il

compost i controlli sono certi e rigorosi.

In sintesi, i settori di collocazione si possono così riassumere:

- il settore del florovivaismo, ovvero la cessione di compost sfuso all'industria dei fertilizzanti che confeziona (in miscela con torbe e altro) e vende all'utenza hobbistica presso la grande distribuzione e presso garden centers, è da sempre è considerato il settore più interessante sia per i prezzi spuntati che per la necessità di prodotti nazionali alternativi alle torbe;
- la vendita al minuto presso l'impianto, interessa quantitativi non rilevanti di compost consegnato sfuso all'hobbista, all'agricoltore o al giardiniere che trova comodo approvvigionarsi di ammendante in vicinanza dei siti d'impiego;
- uno sbocco commerciale che ormai ha assunto una rilevante importanza (nel 1997 il "market share" era del 20%, nel 2000 si il 33% nel 2003 era del 52% ed ora il 62%) è rappresentato dal conferimento di Ammendante Compostato presso aziende agricole (cfr. Figura 5) per impiego come ammendante al fine di ripristinare la fertilità ordinaria delle colture in pieno campo.

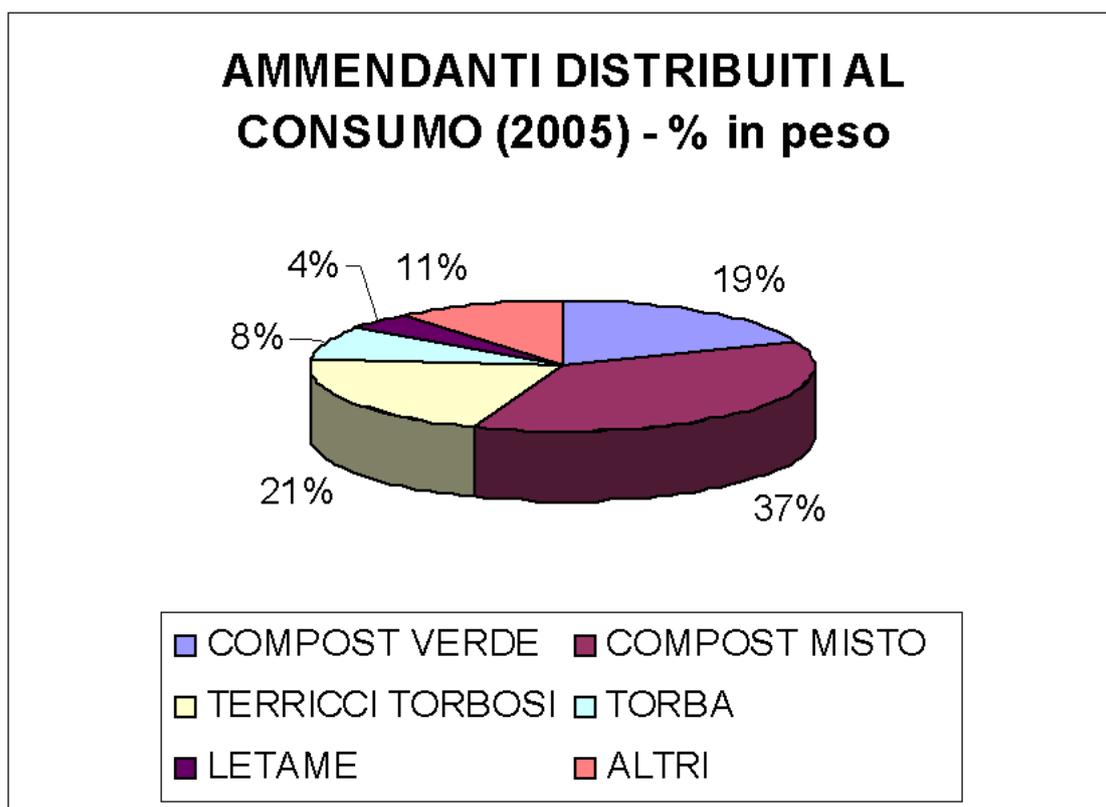


Figura 3. Ripartizione degli Ammendanti in Italia (elaborazione su dati Istat, 2006)

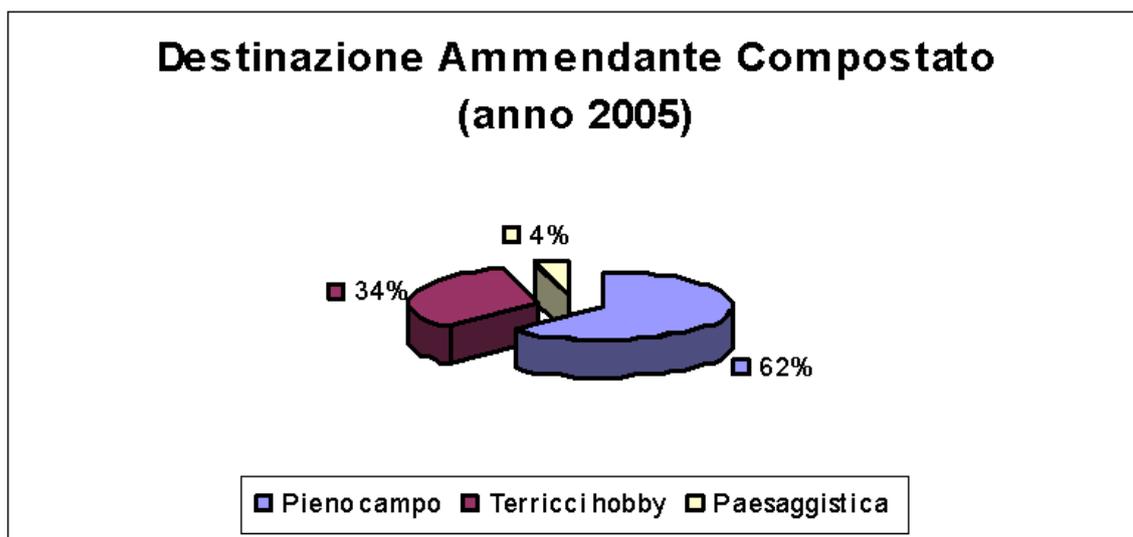


Figura 4. L'impiego di Ammendanti in Pieno campo (elaborazione su dati Istat, 2006)

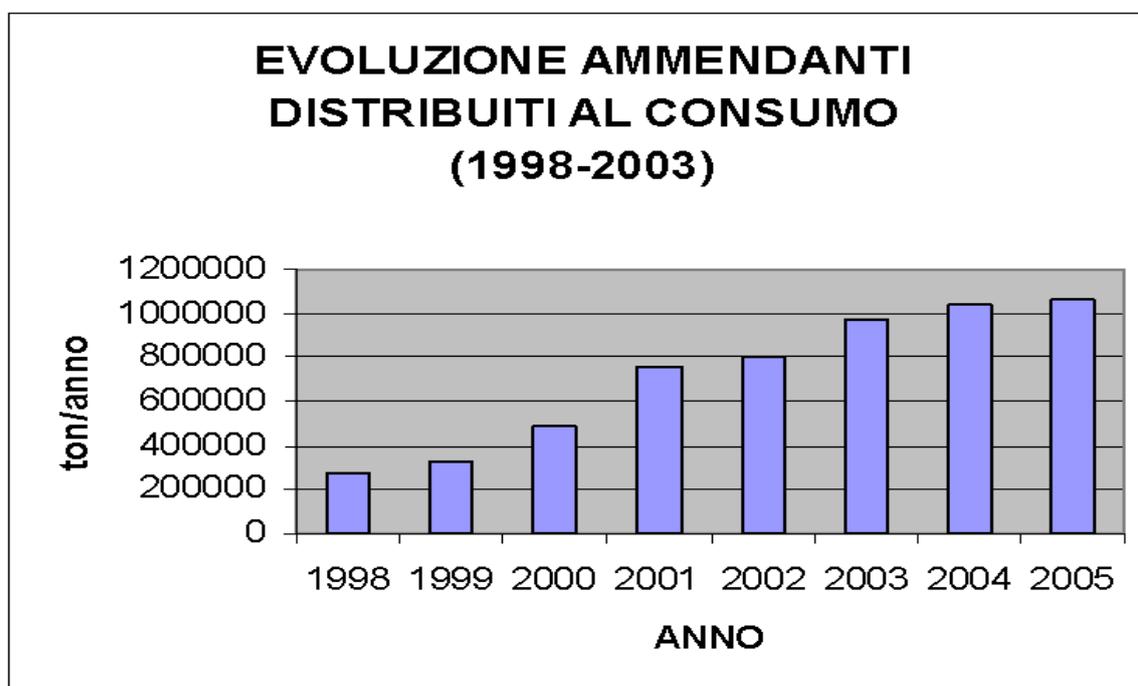


Figura 5. Evoluzione degli Ammendanti in Italia (elaborazione su dati Istat, 2006)

Il Marchio di Qualità del CIC

L'importanza del controllo del "sistema compost" nei confronti del mercato del prodotto

Diverse indagini di mercato condotte a livello europeo tra i produttori e gli utilizzatori di compost hanno evidenziato che per il consolidamento del settore si debbano considerare alcuni punti essenziali che riportiamo schematicamente:

- la qualità ed il mercato del compost rappresentano il problema cruciale del "sistema compo-

staggio";

- sia i produttori che gli utilizzatori sono dell'opinione che il recupero degli scarti organici richiede regole chiare relativamente alle tipologie di materiale trattato;
- le matrici compostabili ed il processo di compostaggio devono essere gestite e controllate;
- un serio programma di certificazione della qualità contribuirebbe a far aumentare in modo definitivo il recupero degli scarti organici.

Le analisi di mercato hanno mostrato anche che tutti gli utilizzatori di compost richiedono un prodotto di qualità standardizzato e supervisionato da organizzazioni esterne agli impianti di compostaggio. L'assicurazione della qualità del "sistema compost" (impianti, processi e prodotti) garantisce una valenza di gran lunga superiore rispetto alla presenza di leggi più o meno restrittive (per es. limiti sul contenuto in metalli pesanti); un serio e rigoroso controllo della qualità garantisce la verifica in tutti gli stadi del trattamento dei rifiuti organici (dalla selezione alla fonte, al processo produttivo fino alla vendita del compost).

La Certificazione di prodotto CIC

Accanto alla Certificazione volontaria di prodotto istituita nel 1998 mediante l'introduzione della etichetta ecologica europea (Ecolabel), il Consorzio Italiano Compostatori ha introdotto una certificazione di prodotto per gli Ammendanti Compostati dei propri associati. Ma, mentre l'Ecolabel ha avuto scarso successo tra i produttori di Ammendanti (Tabella 3), il programma di certificazione che il Consorzio Italiano Compostatori ha attuato dal 2003, conta ben 16 aziende con 17 prodotti certificati a MARCHIO CIC e altri 2 prodotti in fase di istruttoria (cfr. l'elenco in tabella 4).

Tabella 3. Certificazione degli Ammendanti Compostati di prodotto in Italia

Impianto	Provincia	Categoria commerciale
1. ACEA PINEROLESE	Torino	ACM
2. AMA	Roma	ACM
3. AZIENDA AGR. ALLEVI	Pavia	ACM
4. BIOCICLO	Mantova	ACM
5. BERCO	Bergamo	ACM
6. CAVIRO	Ravenna	ACM
7. CERMEC	Massa Carrara	ACV
8. CIDIU	Torino	ACV
9. GAIA	Asti	ACM
10. GESENU	Perugia	ACM
11. HERA	Rimini	ACM
12. NUOVA GEOVIS	Bologna	ACV
13. NUOVA GEOVIS	Bologna	ACM
14. SESA	Padova	ACM
15. SIEM	Mantova	ACV
16. SIENAMBIENTE	Siena	ACM
17. TECNOGARDEN SERVICE	Milano	ACV

Tabella 4. Impianti i cui prodotti sono riconosciuti con il Marchio CIC

TIPO DI CERTIFICAZIONE	PRODOTTI A MARCHIO (n°)	RIFERIMENTO NORMATIVO/ STANDARD
ECOLABEL	2	DEC. 799/2006
MARCHIO CIC	17 (+2)	D. lgs. 217/06 REG. CIC 07/2006
AGRICOLTURA BIOLOGICA	106*	REG. 2092/91 REG.592/06

Stanno dunque aumentando i prodotti che possono fregiarsi di questo ambito riconoscimento che il Consorzio Italiano Compostatori assegna ai migliori prodotti che aderiscono al programma di certificazione. Si rammenta che circa il 20% del compost (ca. 200.000 t) presente sul mercato nazionale dei fertilizzanti ora può essere "accompagnato" dal logo (vedi Figura 6) che riportiamo.



Figura 6. Il logo che accompagna gli Ammendanti Compostati che hanno ottenuto l'idoneità al Marchio

Le tendenze in atto

Al di là di alcune considerazioni di carattere generale la tendenza del singolo impianto è quella di diversificare l'utenza ovvero di proporre materiali con caratteristiche diverse per diversi ambiti d'impiego. L'evoluzione delle conoscenze sul prodotto e la risposta degli utilizzatori al consumo sembrano evidenziare una tendenza a diversificare l'approccio nei confronti dei diversi Ammendanti Compostati. Mentre per l'ACV è universalmente accettato come condizionatore del suolo e come componente dei terricci per il florovivaismo hobbistico, per l'ACM (soprattutto se proveniente dal trattamento di scarti alimentari) mostra due sviluppi diversi:

- da una parte esistono produttori di Ammendante Compostato Misto che, al fine di minimizzare i costi di trattamento e gli sforzi di marketing, adottano la tecnica di produzione di "compost fresco" per destinazioni estensive a prezzi molto bassi;
- dall'altra alcune aziende produttrici di ACM avviano programmi di valorizzazione agronomica di questi Ammendanti intervenendo sia in fase produttiva che di promozione al fine di proporre un prodotto specifico appetibile per i diversi settori agricoli.

Questi scenari sono verificabili un po' in tutti i paesi europei, compresa l'Italia, dove il compost (in Italia Ammendante Compostato così come definito dal D.lgs. 217/06) ha assunto lo status di mezzo tecnico per l'agricoltura e dove i quantitativi prodotti sono sempre crescenti.

L'introduzione della tracciabilità e della rintracciabilità dell'AMMENDANTE COMPOSTATO

L'implementazione della Certificazione a Marchio del CIC passa obbligatoriamente dall'introduzione di alcuni concetti tra i quali la RINTRACCIABILITA' e la TRACCIABILITA'. Il CIC a tale scopo richiederà, agli associati a cui è stato assegnato il Marchio, la tracciabilità dell'ammendante come pre-requisito: si introdurrà un processo informativo che segue il prodotto da monte a valle della filiera produttiva.

Le indicazioni di massima per impostare un programma di tracciabilità dovranno comprendere alcuni elementi identificativi come per es. la provenienza delle matrici organiche, l'identificazione del lotto produttivo, ecc.

Ai fini della tracciabilità, non è fondamentale individuare l'origine geografica o il luogo di trasformazione e/o confezionamento del prodotto, ma il

nome delle aziende che hanno partecipato alla produzione che ne sono direttamente responsabili.

Gli strumenti per garantire la Tracciabilità e la Rintracciabilità saranno:

- un'Etichettatura chiara e trasparente;
- la creazione di un Certificato di Avvenuto Recupero (C.A.R.).

Sarebbe auspicabile il raggiungimento di un formale riconoscimento da parte delle istituzioni pubbliche del percorso che il consorzio di filiera mette in atto per la certificazione del prodotto. Si segnala a tal proposito che nell'ultimo Rapporto sullo stato dell'ambiente (così come nel Rapporto Rifiuti a cura di ONR e APAT) il Marchio CIC è stato opportunamente citato tra le azioni per la qualificazione dell'Ammendante Compostato nel panorama nazionale sui fertilizzanti.

Bibliografia

- AA.VV. (2006) *Annuario 2006/2007: Compost di qualità. Il Verde editoriale, 2006*
- AA.VV. (2005) *Relazione sullo Stato dell'Ambiente 2005 – Ambiente e Agricoltura. Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio, (p.145)*
- Adua M. (2006) *La distribuzione per uso agricolo dei fertilizzanti, Anno 2005. Istat, giugno 2006*
- APAT/ONR (2006). *Rapporto Rifiuti 2005, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici e Osservatorio Nazionale sui Rifiuti.*
- Centemero M., Zanardi W. (2006). *L'ammendante Compostato in Italia. Fertilizzanti n.2. Ed. ARVAN*
- Centemero M. (2005). *La produzione di Ammendante Compostato in Italia, Compendio tecnico. Ed. CIC.*
- Centemero M. (2002). *Il ruolo del compost nei piani di fertilizzazione. L'Informatore Agrario 40/2000. (57-60)*
- Pinamonti F., Sicher (2001). *L. Compost utilization in fruit production systems. In Compost utilization in horticultural cropping systems. 177-200. Ed. Stoffella P.J., Kahn B.A. USA*

Utilizzazione agronomica di matrici organiche compostate

D. Ferri*, F. Montemurro, G. Convertini, N. Losavio, O. Lopodota

C.R.A. - Unità di ricerca per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi - Via C. Ulpani, 5 - 70125 Bari;

*Corresponding Author: E-mail: donato.ferri@entecra.it; tel. 080 5475012 – Fax. 080 5475023

Riassunto

Negli ultimi anni, problemi di natura economica, ambientale e agronomica hanno portato a un incremento dell'utilizzazione di matrici organiche compostate in agricoltura. In questa nota si riportano gli effetti esercitati dall'applicazione di rifiuti solidi urbani (RSU) da raccolta differenziata sottoposti a compostaggio sulle risposte agronomiche di due rotazioni biennali, "pomodoro-frumento" e "colza-frumento", realizzate, rispettivamente nelle aziende agrarie di Foggia e Metaponto dell'Istituto.

Il disegno sperimentale della rotazione "pomodoro-frumento", prevedeva 4 trattamenti fertilizzanti: azoto (N) minerale (140 kg N/ha che corrisponde alla dose ottimale della zona); somministrazione di compost nella dose di N organico uguale al trattamento precedente; applicazione del 50% della dose ottimale di N sotto forma organica al trapianto del pomodoro o alla semina del frumento e del restante 50% come minerale in copertura; controllo non concimato. Nell'avvicendamento "colza-frumento" sono stati confrontati, su entrambe le colture, 4 trattamenti somministrando 0, 50 e 100 kg N/ha come N minerale e 100 kg N/ha sotto forma organica (RSU-compost). Anche in questa rotazione, il fertilizzante minerale è stato distribuito alla semina ed in copertura. In entrambe le prove, i quantitativi delle matrici organiche applicate al suolo sono stati determinati sulla base dei valori di N asportato dalle colture (dose ottimale applicata nella zona) supponendo che l'N organico presentasse la stessa efficienza di quello minerale.

I risultati agronomici conseguiti hanno mostrato effetti diversificati: la somministrazione di compost al pomodoro in associazione con il fertilizzante minerale ha determinato un incremento di produzione totale e commerciabile, in confronto al testimone, rispettivamente del 12,5 e del 14,5%. Nel frumento coltivato in rotazione con il pomodoro i risultati migliori sono stati ottenuti dalla somministrazione del fertilizzante organico e concime minerale in associazione (5,3 t/ha).

La produzione areica dei semi di colza è aumentata, rispetto al testimone non concimato, del 5% nel trattamento che prevedeva l'utilizzo del compost. Questi andamenti produttivi evidenziano un trend positivo destinato a confermarsi nel tempo in funzione del miglioramento della qualità del compost, del perfezionamento delle modalità di applicazione e dei risultati positivi registrati sulle caratteristiche chimiche del suolo.

Parole chiave: compost da rifiuti solidi urbani, rotazioni, pomodoro, colza, frumento

Abstract

The aim of these two-year researches was to evaluate the possibility to apply Municipal Solid Waste (MSW) compost on typical crops of the trial environments (Southern Italy), determining the effects of these treatments on the yield and quality of plants and on the most important soil characteristics.

The experiments were carried out at Foggia and at Metaponto (MT) (Southern Italy). The climate is classified as "accentuated thermomediterranean" (Unesco-FAO classification) with scanty rains, mainly concentrated in the winter months. The soil in Foggia is a silty-clay Vertisol of alluvial origin, classified as Typic Haploxerert (Soil Taxonomy-USDA classification) with good supply of exchangeable potassium and organic matter and fairly good content of nitrogen and available phosphorus. In Metaponto the soil is classified as a Typic Epiaquert (in according to Soil Taxonomy) and it presents low N and organic matter contents, and a pH = 8.4. The clay and silt contents (60 and 36 %, respectively), as well as the electrical conductivity, increase with depth, whereas the organic matter content and the bulk density decrease with depth. Average water field capacity (-0.03 MPa) and permanent wilting point (-1.5 MPa) values are 34.5 and 20.1 (percentage of soil dry weight), respectively, and average bulk density is 1350 kg m⁻³.

At the Foggia experiment, in the trial years 2001 and 2003, on plots of 40 m² each cropped with industrial tomato and durum wheat the following three strategies of nitrogen fertilization (140 kg N ha⁻¹ in tomato and 100 kg N ha⁻¹ in durum wheat) were compared in a split-plot design with three blocks: mineral, half at the transplanting time, half as a top dressing; organic, with municipal solid waste (MSW) compost, applied about one month before the transplanting; mixed, half with MSW compost, half with mineral fertilizer, spread as the same time of the first treatment. All of these treatments were compared with an unfertilized control (Control). In the Metaponto field the effect of MSW compost were tested in a two-year rotation "rape seed - durum wheat". This organic fertilization (100 kg N ha⁻¹) was compared with mineral (50 and 100 kg N ha⁻¹) and with an unfertilized control.

The experiment on tomato has given good results showing that the MSW compost was able not only to achieve satisfactory performance, especially when associated with mineral N, but also to improve the most important chemical soil characteristics. In particular, the mixed treatment reached 12.5 and 14.5% of increase in total and marketable yield respectively, in comparison with the unfertilized control. This treatment also showed the highest grain yield in durum wheat when it was cropped in rotation with industrial tomato (5.3 t ha⁻¹). The best productive responses on rape-seed crop were obtained with the highest mineral fertilizer treatment. In particular this treatment showed the highest seed yield (2.07 t ha⁻¹). The application of MSW compost reached higher yield value of production (1.73 t ha⁻¹) in comparison the unfertilized control (1.65 t ha⁻¹).

Key words: municipal solid waste compost, crop rotation, industrial tomato, rape-seed, durum wheat

Introduzione

I residui organici provenienti dagli insediamenti umani, animali, agricoli ed industriali pongono seri problemi ambientali e di salute tra cui la diffusione dei cattivi odori e l'occupazione di aree estese. Se vengono invece convertiti in fertilizzanti, la loro applicazione può anche contribuire ad offrire fonti rinnovabili di nutrienti alle piante ed a migliorare le proprietà biologiche e fisico-chimiche del suolo.

In Italia, il trattamento dei residui organici non ha trovato l'attenzione che meritava fino al 1982, quando fu emanata una legge nazionale relativa alla gestione dei rifiuti. Da quel momento, grazie alle nuove politiche adottate dai governi statali e regionali ed all'aumento di consapevolezza fra gli agricoltori, si sono fatti notevoli progressi in merito alla loro efficienza di utilizzazione.

Poiché i rifiuti variano in qualità e quantità e sono sito-specifici, per decidere la tipologia di trattamento (aerobica e/o anaerobica) con una tecnologia idonea, è necessaria la conoscenza della loro disponibilità e delle principali caratteristiche. I rifiuti possono derivare da: residui animali e vegetali; biomassa acquatica; residui della pesca e marini; residui industriali e rifiuti umani. E' stato rilevato che sono prodotti in Italia circa 18 x 10⁶ ton/anno di rifiuti solidi urbani, 50 x 10⁶ ton/anno di rifiuti industriali, 100 x 10⁶ ton/anno di residui agricoli-zootecnici, 5 x 10⁶ ton/anno di rifiuti liquidi e sono definiti in termini di umidità e di rapporto C/N.

Lo sfruttamento eccessivo del suolo dovuto ai sistemi colturali intensivi con lavorazioni frequenti, pone problemi molto seri di ripristino della fertilità, che si è tentato di risolvere soprattutto attraverso l'uso di prodotti minerali di sintesi, ma le loro continue applicazioni, hanno procurato degli effetti negativi. Diviene, di conseguenza, necessario identificare materiali naturali, localmente disponibili e meno costosi, per migliorare lo stato nutrizionale del suolo. Sotto questo aspetto il riciclo dei materiali organici è molto importante per ottimizzare le rese e mantenere alta la fertilità del suolo (Ferri *et al.*, 1998; Ferri, 2003). Infatti, l'applicazione di fertilizzanti organici può

migliorare le proprietà fisico-chimiche e biologiche del suolo e, quindi, creare un aumento della produttività (Convertini *et al.*, 1998; Ramana *et al.*, 2002).

Le risposte delle colture alla fertilizzazione organica dipendono da numerosi fattori, come il tempo ed il metodo di applicazione, il tipo di suolo, le condizioni agro-climatiche, il regime di umidità del suolo e la tipologia del compost. In questo ambito anche i rifiuti agro-industriali liquidi, che contengono quantità considerevoli degli elementi principali necessari per la crescita delle piante (N, P, K), possono rappresentare una fonte di fertilità preziosa (Montemurro *et al.*, 2004). Vi sono, però, alcuni costituenti che potrebbero avere effetti negativi sulle colture erbacee; tra questi vanno considerati i sali (quando la conducibilità elettrica del refluo supera 10-12 dS m⁻¹) ed i polifenoli che possono dare luogo a fenomeni di fitotossicità. È stato osservato in esperimenti in campo condotti da Bhattacharyya *et al.* (2003) che l'utilizzazione o la disponibilità di compost da rifiuti solidi urbani (RSU) sul suolo agricolo dà luogo ad una risposta produttiva positiva e ha effetti favorevoli sullo stato fisico del suolo. A causa dei suoi componenti chimici il compost contribuisce significativamente nel ripristinare gli elementi di base consumati durante lo sviluppo vegetale (Montemurro *et al.*, 2007). Attraverso il suo valore neutro di pH, aiuta i suoli coltivabili ad avere una decomposizione più rapida della sostanza organica. Inoltre, attraverso l'azione di adsorbimento minimizza la migrazione dei contaminanti nell'ambiente. A seguito di questi vantaggi dell'applicazione dell'RSU compost, si sono sviluppati anche processi di compostaggio aziendale idonei a trasformare molte biomasse di scarto di origine agricola (Centemero, 1995; Ferri *et al.*, 1998). Infine, di recente utilizzazione in agricoltura sono i digeriti anaerobici, ed in particolare, le borlande vitivinicole. La distribuzione sul suolo di queste biomasse è stata spesso praticata direttamente sui vigneti (Cantagrel *et al.*, 1990). Le borlande da residui vitivinicoli sono fisicamente secche anche quando l'umidità è ancora del 60%, proprio per questo motivo sono ottimi con-

cimi organo-minerali solidi, sempre che abbiano un'adeguata stabilizzazione della matrice organica (Sequi, 2002).

Attualmente, la Strategia Europea per il suolo prevede, tra l'altro, le seguenti azioni: a) realizzazione di piani di gestione delle biomasse di scarto; b) approfondimento e standardizzazione dei criteri di qualità delle biomasse stabilizzate e/o compostate; c) identificazione delle aree a rischio di declino della sostanza organica (s.o.) del suolo e di misure di protezione del suolo dalla desertificazione; d) predisposizione di linee guida sui cicli di vita delle biomasse (COM 2005 nn. 666 e 667) (Marmo, 2006). Tutti questi provvedimenti trovano la loro ragion d'essere in una serie di necessità come il sequestro del Carbonio (per la riduzione dell'emissione di gas serra), la lotta alla desertificazione, la valorizzazione ed il recupero delle biomasse di scarto a fini agronomici, la sostenibilità delle produzioni agrarie, la salvaguardia della qualità e della salubrità degli alimenti, la protezione dell'agroecosistema, il miglioramento chimico e fisico del suolo.

In questo contesto si è avviato alcuni anni fa uno studio sistematico ed organico sulle filiere di recupero di diverse tipologie di biomasse di scarto soprattutto per valutare l'idoneità all'impiego agricolo delle stesse.

Materiali e metodi

Per valorizzare maggiormente gli avvicendamenti colturali tipici meridionali mediante l'applicazione delle biomasse di scarto sono state avviate dal CRA-I.S.A. - Bari numerose ricerche per studiare le variazioni nutrizionali e agronomiche di diverse colture. Le prove sperimentali possono essere così riassunte:

- Sane olearie compostate e H₂O di vegetazione su loietto (ambiente confinato e pieno campo), in una rotazione di pieno campo orzo-mais di secondo raccolto, su colture arboree e foraggere;
- RSU - compost da raccolta indifferenziata in una rotazione biennale (4 cicli) barbabietola-frumento duro;
- RSU - compost da raccolta differenziata nelle seguenti tre rotazioni biennali (2 cicli): pomodoro da industria-frumento duro; barbabietola-frumento duro; girasole-frumento duro. Inoltre, lo stesso materiale, ma per periodi diversi, è stato studiato su una rotazione colza-frumento duro, su colture foraggere ed orticole;
- Compost aziendali e borlande vitivinicole applicati su lattuga e altre orticole;

I digeriti anaerobici di industrie agroalimentari su colture foraggere e cerealicole.

In questo lavoro si riferisce sulle risposte agronomiche del frumento e del pomodoro e sugli effetti sul suolo di RSU - compost da raccolta differenziata nella rotazione biennale: "pomodoro da industria -

frumento duro" nell'azienda sperimentale "Podere 124" di Foggia e sui risultati acquisiti con lo stesso tipo di biomassa di scarto sulla rotazione "colza - frumento duro" nell'azienda sperimentale "Campo 7" di Metaponto (MT).

La ricerca sulla rotazione biennale "pomodoro da industria - frumento duro" è stata avviata nella primavera del 2001 con il trapianto del pomodoro su un terreno argillo-limoso di tipo "Typic Haploxerert" (classificazione USDA) con le seguenti caratteristiche medie: azoto totale = 1,22 g/kg; fosforo assimilabile = 41 mg/kg; potassio scambiabile = 1018 mg/kg; sostanza organica = 20,3 g/kg; C/N = 10; sabbia = 19,5%; limo = 31,1%; argilla = 49,4%.

Nei due anni di prova (2001 e 2003) su pomodoro, i trattamenti di fertilizzazione azotata applicati sono stati i seguenti: 140 kg N/ha di fertilizzante minerale (Nmin), distribuito per metà al trapianto (solfato ammonico), per metà durante il ciclo colturale (nitrato ammonico); 140 kg/ha di N sotto forma organica (RSU compost) (Ncomp), distribuito in unica soluzione circa un mese prima del trapianto; 70 kg/ha di N organico (RSU compost distribuito un mese prima del trapianto) e 70 kg/ha di N minerale, in copertura (Nmix); controllo non fertilizzato (N0). Sul frumento i trattamenti sono stati gli stessi ma con dosi pari a 100 kg N/ha. Per valutare meglio gli effetti esercitati nel tempo dai trattamenti sperimentali, le specie in esame si sono avvicendate nelle stesse parcelle elementari, che avevano una superficie di 40 m² l'una.

Le principali caratteristiche dell'RSU compost sono riportate nella Tabella 1, mentre nelle Tabelle 2 e 4 sono indicati i quantitativi distribuiti nei due anni di prova rispettivamente su pomodoro e su frumento. Le agrotecniche applicate sono quelle normalmente impiegate nel Tavoliere pugliese e prevedevano per il pomodoro, il trapianto (ibrido "PS") con una densità di investimento pari a 3 piante/m², la realizzazione dei trattamenti antiparassitari a seconda delle necessità e gli interventi irrigui ogni volta che si superavano i 90 mm di evaporato cumulato, rilevato alla vasca di classe A, apportando un volume irriguo pari a circa l'80% della riserva idrica utile, nello strato di terreno compreso tra 0 e 40 cm. Nessuna irrigazione e trattamento antiparassitario è stata effettuata sul frumento (cv. Simeto) in entrambi gli anni di coltivazione.

Durante il ciclo colturale e al momento della raccolta, si è proceduto alla rilevazione dei principali parametri di accrescimento delle piante, produttivi (produzione e sue componenti) e qualitativi dei prodotti ottenuti dalle due specie. Inoltre, all'inizio (to) e alla fine (tf) dell'esperienza è stato determinato il contenuto di N minerale (N-NO₃ e N-NH₄ scambiabile) e le principali caratteristiche chimiche del terreno nello strato compreso tra 0 e 40 cm per i trattamenti N0, Nmin e Ncomp.

Tabella 1. Caratteristiche chimiche del compost applicato (valori medi)

Table 1. MSW compost characteristics used in the experiments (means value)

Parametri	Annate applicazione		
	2001	2002	2003
Ntot. (g/kg)	13.05	23.05	19.09
Corg. (g/kg)	138	131	167
C/N	10.02	5.06	8.04
DH (%)	88	63.02.00	31.00.00
Cu (mg/kg)	115	127	140
Zn (mg/kg)	393	357	315
Pb (mg/kg)	100	110	122

Tabella 2. Quantitativi di compost da RSU (raccolta differenziata) somministrati al pomodoro (Foggia)

Table 2. MSW-compost quantities used on tomato crop experiment (Foggia)

Trattamenti	Dose N (kg/ha)	Compost (t/ha)	
		2001	2003
Ncomp	140	8.56	0,38056
Nmin	140	0	0
Nmix	70+70	4.28	4.34
N0	0	0	0

Tabella 3. Produzione, qualità ed N asportato dal pomodoro (medie biennali)

Table 3. Tomato yield, quality and N uptake (means of two-years)

Parametri	Trattamenti			
	N0	Nmin	Ncomp	Nmix
Produzione totale (t/ha)	76.50 b	88.20 a	81.70 ab	86.10 a
Produzione commerciale (t/ha)	58.40 b	67.70 a	65.00 ab	66.90 a
Azoto asportato (kg/ha)	172.80 b	211.90 a	169.70 b	202.50 a
Acido citrico (%)	0.81 b	0.93 a	0.95 a	0.89 a
Gradi Brix (°B)	0,19375	0,18681	0,18819	0,19028
pH	4.42	4.34	4.42	4.36

Tabella 4. Quantitativi di compost da RSU (raccolta differenziata) somministrati al frumento dopo pomodoro (Foggia)

Table 4. Quantities of MSW-compost used for the durum wheat cropped after tomato (Foggia)

Trattamenti	Dose N (kg/ha)	Compost (t/ha)	
		2002	2004
Ncomp	100	0,35694	6.20
Nmin	100	0	0
Nmix	50 + 50	0,19236	3.10
N0	0	0	0

Presso l'azienda agraria "Campo 7" (Metaponto) dell'Istituto su uno schema sperimentale a split-plot con 3 ripetizioni, sono stati posti a confronto due genotipi di colza ad alto contenuto in acido erucico (Fabiola, a ciclo autunnale e Kabel, a ciclo primaverile) coltivati con itinerari tecnici semplificati. In particolare, fra gli interventi agronomici selezionati, si sono confrontati i seguenti trattamenti fertilizzanti: T0 – testimone; T1 - dose minima pari a 50 kg N/ha somministrati al momento della semina (come solfato di ammonio); T2 - oltre ai 50 kg N/ha somministrati al momento della semina, è stata effettuata una concimazione di copertura con altri 50 kg N/ha (come nitrato ammonico); T3 - trattamento che ha utilizzato compost-RSU (da raccolta differenziata prelevato dall'impianto Civeta) effettuando una distribuzione prima della semina alla dose di 12.0 t/ha (pari a circa 100 kg N/ha come N organico). Nel periodo di prova sono stati rilevati i principali parametri produttivi e fisiologici delle specie in esame. In questa nota si riferiscono i risultati ottenuti nelle annate 2001-'02/2002-'03 del colza.

I dati sperimentali sono stati elaborati con il software SAS (SAS Institute, 1990); il confronto tra le medie è stato effettuato utilizzando il Duncan Multiple Range Test (DMRT).

Risultati e discussione

Nella Figura 1 è riportato l'accrescimento delle piante di pomodoro durante i cicli colturali (media

del biennio di prova) in relazione ai trattamenti fertilizzanti. Si è rilevata una differenza significativa nella produzione di sostanza secca cumulata alla fine dei cicli vegetativi - inizio maturazione (fase denominata "0mat") fra le tesi Nmin e N0, mentre nessuna differenza è stata osservata durante lo sviluppo (0, 50 a 100% di fioritura, fasi rispettivamente denominate "0fior", "50fior" e "100fior"). Allo stadio "0mat" un comportamento intermedio hanno fatto registrare le tesi che prevedevano l'apporto di RSU compost da solo (Ncomp) o in associazione con il fertilizzante minerale (Nmix). La differenza fra queste tesi ed il controllo è apparsa più evidente alla fine del ciclo quando il pomodoro ha maggiori esigenze nutritive. Di conseguenza i risultati confermano che l'applicazione di RSU compost può essere un valido metodo per distribuire elementi nutritivi al pomodoro, in accordo con i risultati ottenuti da Bhattacharyya *et al.* (2003), Montemurro *et al.*, (2006), Montemurro *et al.* (2007) in altre colture.

La produzione media di campo del pomodoro nel biennio di prova (Tabella 3) è stata di 64,5 e 83,1 t/ha, rispettivamente per le bacche vendibili e totali, valori in linea con quanto rilevato in altre ricerche condotte in ambiente mediterraneo (Quattrucci e Canali, 1997; Rinaldi *et al.*, 2004).

I trattamenti che hanno previsto l'aggiunta di RSU compost, da solo (Ncomp) o in associazione con il fertilizzante minerale (Fmix), hanno determinato le stesse risposte produttive della fertilizzazione tradi-

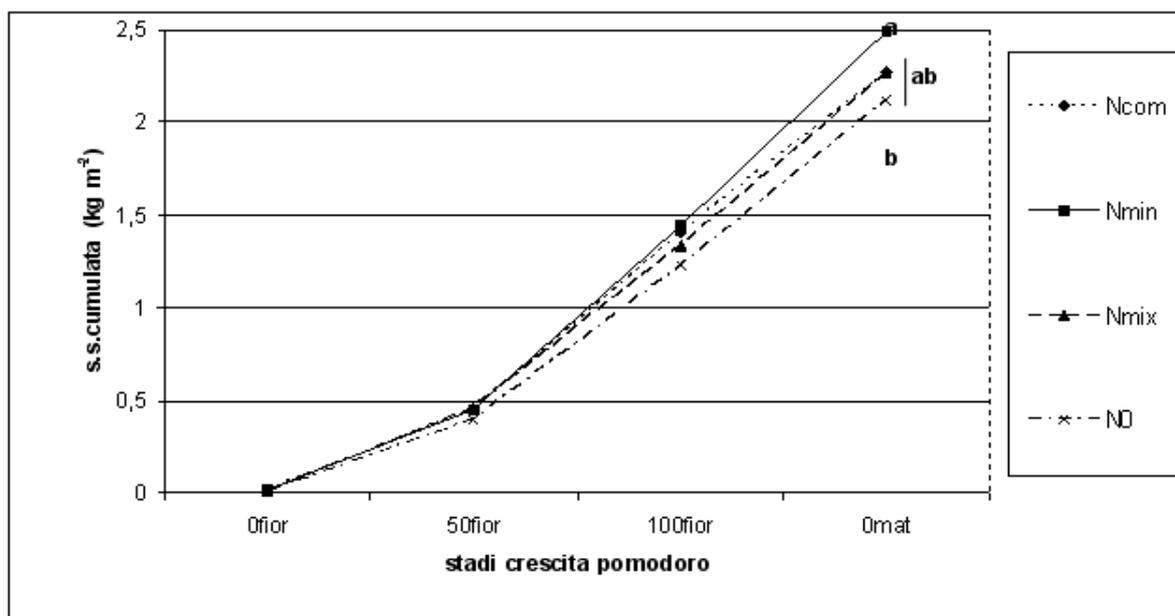


Figura 1. Effetti dei trattamenti sperimentali sulla sostanza secca cumulata in pomodoro durante il ciclo colturale

Figure 1. Effects of N management on cumulative dry matter of tomato plants during the growth

zionale (Nmin), in accordo con i risultati ottenuti in altri ambienti (Maynard, 1995; Togun e Akanbi, 2003). D'altra parte, il valore medio di produzione vendibile nei tre trattamenti fertilizzati (Nmin, Ncomp e Nmix) è stato superiore di circa il 13,9% (8,1 t/ha) rispetto al controllo non fertilizzato, a conferma del fatto che buoni risultati produttivi possono essere ottenuti solo attraverso la fertilizzazione organica e/o minerale.

I parametri qualitativi determinati al momento della raccolta del pomodoro sulle bacche commerciabili (gradi Brix e contenuto di acido citrico), non hanno mostrato differenze sostanziali tra le due tesi che prevedevano la distribuzione dei rifiuti solidi urbani (Ncomp e Nmix) e la concimazione minerale, in accordo con altre ricerche condotte nelle condizioni pedologiche e climatiche del Tavoliere pugliese (Rinaldi *et al.*, 2003; Rinaldi *et al.*, 2004), probabilmente perché l'apporto di N organico al suolo è stato in grado di fornire un costante e sufficiente quantitativo di N durante tutto il ciclo vegetativo del pomodoro. Significativa differenza è stata trovata, invece, tra le tesi fertilizzate ed il controllo per il contenuto di acido citrico.

Nella Tabella 4 sono riportati i quantitativi di compost somministrato al frumento mentre nella Tabella 5 sono riportati la produzione (granella e paglia), il peso dei mille semi e l'Harvest Index (medie del biennio di prova). La differenza significativa trovata fra le tesi Nmin e Nmix rispetto a Ncomp e N0, per la produzione di granella (4,8, 5,3, 4,3 e 4,5 t/ha, rispettivamente), indica che la parziale sostituzione del fertilizzante minerale con quello organico non deprime il risultato finale del frumento, confermando i risultati ottenuti su altre colture nello stesso ambiente (Montemurro *et al.*, 2007). Per contro, la totale sostituzione del fertilizzante minerale, avvenuta nella tesi Ncomp, non ha fatto registrare la stessa performance produttiva, probabilmente a causa dell'anticipo della somministrazione organica (un mese prima della semina) che ha provocato un deficit nutrizionale nella pianta durante le fasi riproduttive del frumento. Lo stesso andamento della resa in granella è stato riscontrato sulla produzione di paglia e di conseguenza nessuna variazione significativa fra le tesi è stata trovata per l'indice di raccolta (Harvest Index). Infine, il peso di mille semi, parametro qualitativo di estrema importanza per la trasformazione industriale, non ha mostrato differenze significative e sostanziali fra le tesi poste a confronto.

I risultati riportati in Tabella 6 evidenziano che la funzione del compost nelle parcelle coltivate con il pomodoro e con il frumento risulta positiva perché si osservano incrementi in N totale del suolo. Anche il fosforo assimilabile del terreno presenta lo stesso

andamento dell'N; infatti le colture di pomodoro e di frumento fanno incrementare nel tempo il P assimilabile con entrambi i trattamenti. Va sottolineato, quindi, che la somministrazione del compost non ha alterato la normale evoluzione della fertilità del terreno indotta dalle colture; la formazione, cioè, di P assimilabile non è compromessa dall'aggiunta del compost. Sul K scambiabile è molto evidente l'effetto positivo del compost rispetto al concime minerale per entrambe le colture.

L'aggiunta di compost determina un incremento del C organico totale (TOC) nelle parcelle "ex-pomodoro" superiore a quello riscontrato in "Nmin" e nel caso del frumento. Sul grado di umificazione della s.o. del suolo si individua una variazione significativa tra i due trattamenti soprattutto nelle parcelle ex-frumento.

L'accumulo di Zn nel terreno "ex-pomodoro" per effetto del compost è forse dipendente dalle quantità più elevate di biomassa aggiunte al pomodoro. Un andamento diverso si è osservato, invece, per il contenuto in Cu, che presenta variazioni insignificanti.

Nella Tabella 7 sono riportati i quantitativi di compost somministrati sul colza, mentre nella Figura 2 sono riportate le produzioni areiche in semi di colza, per effetto dei diversi trattamenti. Si osservano delle differenze significative tra la produzione ottenuta con le due modalità di concimazione minerale (T1 e T2) e gli altri due trattamenti. Va rilevato però che: a) la differenza tra il trattamento con compost e quello con 50 kg N/ha (rispetto "all'ottimale" T2) sono rispettivamente del 7 e del 17%; b) il trattamento con compost, anche se di poco, si differenzia dal testimone.

Il peso di 1000 semi del colza (Figura 3) prodotto nelle parcelle trattate con il compost da RSU non presenta alcuna decurtazione rispetto agli altri trattamenti, dimostrando che questo carattere qualitativo del colza, importantissimo per l'estrazione dell'olio (trasformabile in biodiesel) non è compromesso dalla fertilizzazione organica non convenzionale.

Nella Figura 4, che riporta la produzione dei residui vegetali del colza, va rilevato che con il trattamento "minerale" questa produzione è più elevata e si possono determinare, quindi, maggiori problemi per il loro recupero e trattamento; al contrario, con la fertilizzazione organica se ne producono di meno (compatibilmente anche con la produzione areica ottenuta).

Gli effetti sul suolo sono riportati in Tabella 8 e appaiono di modesta entità. Il C organico (rispetto al to) presenta una differenza sostanziale nelle parcelle interessate al trattamento con compost. Le variazioni del contenuto in nitrati del suolo, però, appaiono più casuali. Per il momento, infine, non si rilevano incrementi del contenuto in Zn e Cu, anzi, proprio in seguito al trattamento con compost, il tenore in Zn risulta più modesto nelle parcelle interessate dall'utilizzo di N organico.

Tabella 5. Produzione e sue componenti in frumento dopo pomodoro (medie biennali, Foggia)

Table 5. Yield and yield components of durum wheat cropped after tomato (means of two-years, Foggia)

Parametri	Trattamenti			
	N0	Nmin	Ncomp	Nmix
Produzione totale (t/ha)	4.5 b	4.08 AM	4.3 b	5.03 AM
Paglia (t/ha)	6.4 b	7.04 AM	6.3 b	7.03 AM
Harvest Index (%)	41.01.00	39.03.00	40.06.00	42.01.00
Peso 1000 semi (g)	53.06.00	51.07.00	56.01.00	54.00.00

Nota: i valori di ciascuna riga non aventi lettere in comune sono significativamente diversi per P<0.05 (DMR test).

Tabella 6. Effetti del compost da RSU sul suolo coltivato a pomodoro e frumento in rotazione (medie biennali)

Table 6. Effects of MSW-compost on soil cropped at tomato and durum wheat rotation (means of two-years)

Suolo	Trattamenti	Ex pomodoro		Ex frumento		
		N0	Nmin	Ncomp	Nmin	Ncomp
Ntot. (g/kg)		1.13	1.35	1.46	1.35	1.41
P ₂ O ₅ (mg/kg)		25.03.00	26.04.00	28.08.00	31.06.00	29.06.00
K ₂ O (mg/kg)		930	912	965	917	969
TOC (g/kg)		14.00	15.06	17.09	12.04	13.05
DH (%)		44.03.00	49.07.00	49.04.00	56.02.00	58.09.00
Cu (mg/kg)		39.03.00	34.01.00	35.03.00	27.04.00	27.01.00
Zn (mg/kg)		61.04.00	88.07.00	97.05.00	83.04.00	81.02.00

Tabella 7. Quantitativi di compost utilizzati su colza

Table 7. Quantities of MSW compost used on rape seed crop

Trattamenti	Dose N (kg/ha)	Compost (t/ha)	
		2002	2004
T0	0	//	//
T1	50	//	//
T2	100	//	//
T3	100	7.09	6.02

Tabella 8. Rotazione "colza-frumento". Caratteristiche del suolo a to e tf

Table 8. "Rape seed - durum wheat" rotation. Soil characteristics at to and tf

Tempo	Trattamenti	C organico	N-NO ₃	Zn	Cu
		(g/kg)		(mg/kg)	
To	media	10.11	17.10	74.86	28.72
	T0	11.08	5.10	73.37.00	28.40.00
	T1	13.23	8.44	73.08.00	28.23.00
	T2	9.37	6.30	65.65	27.52.00
	T3	13.41	0,34583	67.73	27.82
Tf	media	0,51181	0,3125	69.96	27.99

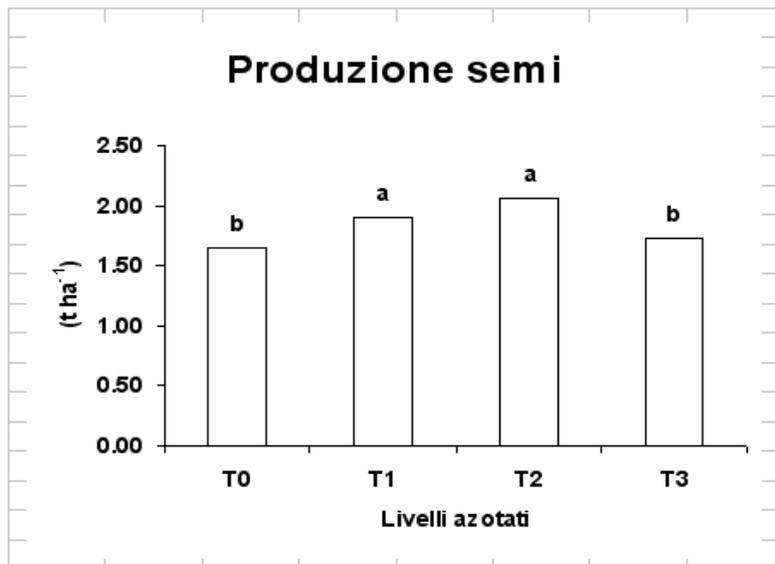


Figura 2. Produzione di semi di colza per effetto dei diversi trattamenti fertilizzanti

Figure 2. Effects of N management on rape-seed yield

I valori con la stessa lettera non sono statisticamente differenti per $P \leq 0.05$ (Duncan Multiple Range Test)

Figura 3. Peso di 1000 semi del colza per effetto dei diversi trattamenti fertilizzanti

Figure 3. Effects of N management on 1000-seed weight of rape-seed

I valori con la stessa lettera non sono statisticamente differenti per $P \leq 0.05$ (Duncan Multiple Range Test).

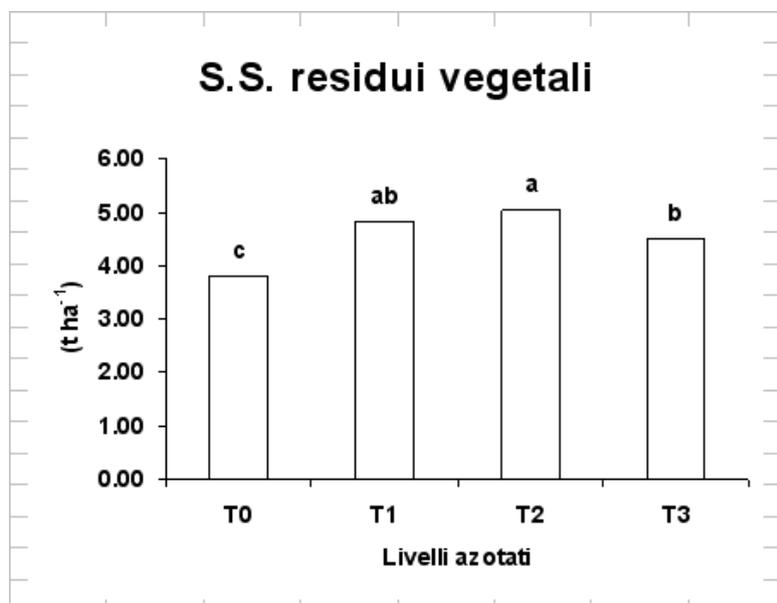
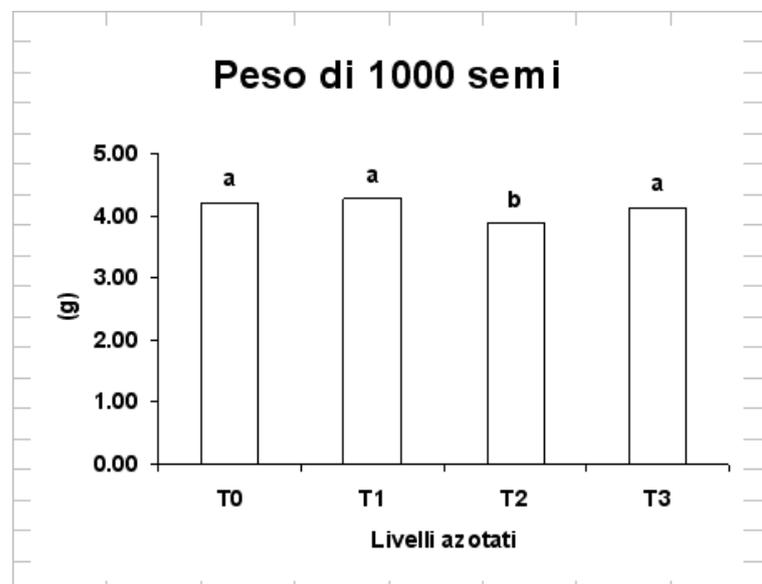


Figura 4. Produzione di residui vegetali del colza in funzione dei diversi trattamenti fertilizzanti

Figure 4. Effects of N management on dry matter rape-seed plants (at harvest)

I valori con la stessa lettera non sono statisticamente differenti per $P \leq 0.05$ (Duncan Multiple Range Test).

Tabella 9. Esempi di filiere di recupero delle biomasse di scarto**Table 9.** Recovery of biomass

Rifiuti Solidi Urbani	Reflui agroindustriali
Raccolta differenziata (selezione per conoscere la composizione delle matrici di partenza)	Natura del residuo (solido e/o liquido)
Processi di compostaggio idonei a specifici impieghi agronomici	Possibilità tecniche ed economiche di recupero dal refluo di composti e componenti (scarto o sottoprodotto)
Macchine agricole progettate per lo spandimento dei compost	Stagionalità → Stoccaggio → Costi
Epoche di somministrazione	Innovazione di processo (abbondanza di acqua nelle varie fasi di lavorazione)
Piano di concimazione	Buone caratteristiche qualitative per il reimpiego agricolo
Modificazioni indotte sul suolo agrario	Specificazione su dosi, epoche e modalità di spandimento
	Monitoraggio del sistema suolo-pianta

Conclusioni

Le indicazioni derivanti dalla fertilizzazione organica con compost da Rifiuti Solidi Urbani sono apparse decisamente interessanti non solo per le risposte quantitative e qualitative fornite dalle colture, ma anche per la capacità del compost stesso di migliorare le caratteristiche chimico-fisiche del terreno, modulare il rilascio di elementi minerali utili alla nutrizione delle piante e reintegrare il contenuto di sostanza organica nei suoli mediterranei, dove è elevato il fenomeno della mineralizzazione. La somministrazione di questo tipo di ammendante appare, pertanto, particolarmente indicato sia nei suoli sabbiosi tipici degli ambienti caldo-aridi, nei quali è sottoposto in misura maggiore ai processi di mineralizzazione, sia in quelle situazioni in cui è sconsigliabile l'uso esclusivo di fertilizzanti minerali.

L'applicazione di compost da RSU su pomodoro può costituire un importante sistema per assicurare la sostenibilità delle produzioni e della risorsa suolo. I benefici, naturalmente, sono più marcati se l'ammendamento con compost viene associato ad una ridotta concimazione minerale; in questo caso vi è una pronta utilizzazione del nutriente e un miglioramento strutturale del suolo.

L'applicazione di RSU-compost alla rotazione "colza – frumento" non ha determinato decurtazioni rilevanti sia come produzioni areiche in semi di colza che in granella di frumento.

L'esperienza dell'ISA sulla utilizzazione agronomica di matrici organiche compostate ha messo in evidenza che è possibile, tra l'altro:

1. sostenere e/o incrementare la produzione di colture energetiche, industriali e cerealicole;
2. rilevare effetti positivi sulla qualità e sulla salubrità dei prodotti orticoli (ricerche in atto all'ISA i cui dati non vengono riportati);

3. favorire il recupero agronomico di compost di qualità inferiore su "energy crops";
4. ottenere, a livello aziendale, acquisizioni tecniche e agronomiche rigorose e accurate da collocare in un ambito più ampio attraverso gli studi territoriali.

Ovviamente, per non alterare l'equilibrio dell'agroecosistema e non determinare alcuna preoccupazione per la salute dei consumatori dei prodotti agricoli ottenuti, la fertilizzazione organica con biomasse di scarto compostate, deve essere effettuata con rigorosi "criteri agronomici" che devono tenere conto di tutte le parti della filiera, come riportato nella Tabella 9.

Bibliografia

- Bhattacharyya P., Chakraborty A., Bhattacharyya B., Chakrabarti K. 2003. Evaluation of MSW compost as a component of integrated nutrient management in wetland rice. *Compost Science & Utilization*, 11 (4): 343-350.
- Cantagrel R., Lacourtire J., Menier M. 1990. L'emploi des vinasses de distillerie à Cognac: leur valeur fertilisante, leur potentiel énergétique via la méthanisation. *Actes de la 70ème assemblée générale de l'OIV*, Yalta.
- Centemero M. 1995. La proposta di terricci compostati di qualità nella vivaistica. *Atti del Corso Naz.le Consorzio Italiano Compostatori* (S. Michele all'Adige, 3 - 7 aprile).
- Convertini G., De Giorgio D., Ferri D., Giglio L., La Cava P. 1998. Municipal solid waste application on a vertisol to sustain crop yields in southern Italy. *Fresenius Environmental Bull.*, 7: 490-497.
- Ferri D., Convertini G., De Giorgio D., Giglio L., La Cava P. 1998. Monitoraggio di alcune proprietà di un ver-

- tisuolo meridionale ammendato con compost da rifiuti solidi urbani, in relazione alla produzione di frumento e barbabietola. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*, XLVII (2): 217-232.
- Ferri D. 2003. Interventi conservativi per la sostanza organica del suolo e per impedire la desertificazione. *Geologia dell'Ambiente*, 2: 21-26.
- Marmo L., 2006. EU strategies and policies on soil and waste management to offset GHG emissions. International OECD Workshop "Soil and waste management: a challenge to climate change". Gorizia, 15-16 giugno.
- Maynard A.A. 1995. Cumulative effects of annual addition of MSW compost on the yield of field-grown tomatoes. *Compost Science & Utilization*, 3 (2): 47-54.
- Montemurro F., Convertini G., Ferri D. 2004. Mill wastewater and olive pomace compost as amendments for rye-grass. *Agronomie*, 24: 481-486.
- Montemurro F., Maiorana M., Convertini G., Ferri D. 2006. Compost organic amendments in fodder crops: effects on yield, Nitrogen utilisation and soil characteristics. *Compost Science & Utilisation*, 14: 114-123.
- Montemurro F., Maiorana M., Convertini G., Ferri D. 2007. Alternative sugar beet production using shallow tillage and municipal solid waste fertiliser. *Agronomy for Sustainable Development*, 27: 129-137.
- Quattrucci M., Canali S. 1997. Efficienza tecnico-economica nella fertilizzazione del pomodoro da industria. *L'Informatore Agrario*, 13: 75-78.
- Ramana S., Biswas A.K., Singh A.B., Yadava R.B.R. 2002. Relative efficacy of different distillery effluents on, growth, nitrogen fixation and yield of groundnut. *Bioresearch Technology* 81 (2): 117-121.
- Rinaldi M., Trotta G., Convertini G., Vonella A.V., Elia A. 2003. Impiego su pomodoro da industria di fertilizzanti azotati alternativi. *L'Informatore Agrario*, 11: 75-78.
- Rinaldi M., Trotta G., Ferri D., Vonella A.V., Elia A. 2004. Fertilizzanti azotati alternativi su pomodoro da industria. *L'Informatore Agrario*, 11: 65-68.
- SAS Institute (1990) - Sas/Stat Software. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sequi P. 2002. Borlande da residui vitivinicoli, ottimo concime organico azotato. *L'Informatore Agrario*, 19: 26.
- Togun A.O., Akanbi W.B. 2003. Comparative effectiveness of organic-based fertilizer to mineral fertilizer on tomato growth and fruit yield. *Compost Science & Utilization*, 11 (4): 337-442.

Il settore fertilità dei suoli e compostaggio nell'ambito dell'Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari

Vincenzo Verrastro^{1*}, Mariangela Diacono¹

¹ CIHEAM – Istituto Agronomico Mediterraneo (IAMB), Via Ceglie n°9, 70010 Valenzano (Bari), Italy,

* e-mail verrastro@iamb.it, tel.+39 080 4606259; Internet www.iamb.it.

Abstract

A supporto del Centro Internazionale di Alti Studi Agronomici Mediterranei (CIHEAM), al fine di formare i quadri superiori dell'agricoltura mediterranea e di condurre attività di ricerca nell'ottica della cooperazione, operano quattro Istituti Agronomici Mediterranei (IAM).

Con la presente nota si vogliono sintetizzare attività in corso e prospettive di uno di essi, l'Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari, con particolare riferimento al settore del compostaggio di recente sviluppo in seno all'area tematica di ricerca "Agricoltura biologica mediterranea".

Keywords: formazione, ricerca, cooperazione, Agricoltura biologica mediterranea, compostaggio.

Il Centro Internazionale di Alti Studi Agronomici Mediterranei (CIHEAM) è un organismo intergovernativo fondato nel 1962 per iniziativa dell'OCSE e del Consiglio d'Europa. Ad oggi ne fanno parte 13 Paesi, dei quali 8 Paesi Terzi Mediterranei (PTM). La missione del CIHEAM comprende la formazione dei quadri superiori dell'agricoltura mediterranea, l'attività di ricerca e la cooperazione.

Il Centro ha sede a Parigi ed attua la sua missione attraverso i suoi quattro Istituti Agronomici Mediterranei (IAM), ognuno operante in specifiche aree tematiche e con sede a:

- Bari
- Chania
- Montpellier
- Saragozza.

Le attività dello IAM di Bari (IAMB), in particolare, sono riconducibili a quattro aree d'interesse:

- gestione del suolo e delle risorse idriche
- protezione integrata delle colture frutticole mediterranee
- agricoltura biologica mediterranea
- agricoltura sostenibile e sviluppo rurale

Per quanto riguarda la formazione post-universitaria, lo IAMB prevede corsi annuali di specializzazione post-universitaria (DSPU) e biennali di Master of Science; corsi di breve durata di formazione avanzata (generalmente presso Università di PTM) e stages per i ricercatori. Gli allievi sono segnalati dalle Università e dagli Organismi governativi e la loro selezione è fatta d'intesa tra Ministero degli Esteri e IAMB.

In particolare lo IAMB risponde alla domanda di addestramento di tecnici e operatori privati nonché di addestramento di lavoratori per rispondere alla

domanda italiana di manodopera specializzata e per migliorare le condizioni economiche nei Paesi di provenienza, nel quadro della politica dell'Unione Europea di vicinato (PEV) e nella prospettiva della libera circolazione di persone e manodopera.

Dal 1962 ad oggi lo IAMB ha avuto più di 8000 studenti DSPU e Master, più di 10000 studenti per corsi di formazione e più di 4500 stagisti.

Nel corso della loro permanenza presso lo IAMB, gli studenti sono coinvolti in attività di ricerca applicative, sotto la supervisione di professori, ricercatori ed esperti di istituzioni nazionali e internazionali, all'interno di campi sperimentali appartenenti all'istituto o messi a disposizione da aziende agricole private e pubbliche, e in numerosi laboratori specialistici.

La ricerca scientifica nell'ambito dello IAMB si svolge nei tre settori: 1) Gestione del suolo e delle risorse idriche; 2) Protezione Integrata delle colture fruttifere mediterranee; 3) Agricoltura biologica mediterranea.

In ognuno di questi ambiti, i ricercatori operano in stretta relazione con network di ricerca internazionali e vi è inoltre una rilevante connessione con i programmi formativi attuati. In particolare il settore Agricoltura biologica mediterranea opera a stretto contatto con il MOAN (Mediterranean Organic Agricultural Network) con partners in 13 Paesi europei e non europei. Il MOAN è già partner dei networks internazionali Rudolf e ISOFAR e si interessa principalmente di agroecologia, gestione della fertilità del suolo e compostaggio, gestione di patogeni e parassiti, studi socio-economici e di marketing.

L'altro grande settore che vede coinvolto lo IAMB nei paesi terzi mediterranei è quello della cooperazione internazionale. I progetti di cooperazione

hanno origine principalmente dalle attività di ricerca condotte nell'ambito dei network scientifici e si svolgono attraverso un approccio partecipativo, integrato, territoriale e multisettoriale.

La rete di contatti internazionali conta oggi più di 100 istituzioni pubbliche e scientifiche che garantiscono la creazione di una consulenza giuridica per la disciplina dei settori d'intervento, assistenza per l'organizzazione dei servizi pubblici di gestione, assistenza, controllo e formazione tecnico-amministrativa dei quadri superiori ed intermedi della P.A.

Tra i punti di forza dello IAMB vi è quindi l'attuazione di progetti di cooperazione allo sviluppo per l'aiuto alle istituzioni ed interventi sul territorio in Paesi quali Balcani Occidentali, Medio Oriente e Africa Settentrionale. Sono inoltre importanti i rapporti sistematici mantenuti con gli ex allievi attraverso la redazione di pubblicazioni, seminari di follow-up e progetti di cooperazione.

La posizione privilegiata in ambito mediterraneo permette allo IAM di Bari di poter attuare azioni specifiche afferenti alla politica di vicinato quali:

- sostegno al dialogo tra servizi amministrativi e tecnici dei Paesi UE e dei PTM per superare gli ostacoli tecnici allo sviluppo sostenibile;
- miglioramento della qualità e garanzia della sicurezza dei prodotti agroalimentari dei PTM, anche mediante continui scambi di informazione con organismi internazionali addetti al controllo delle produzioni agronomiche;
- armonizzazione delle legislazioni nazionali;
- sostegno alle azioni bilaterali di libero scambio (Corridoi Verdi);
- nuove metodologie per la promozione dello sviluppo sostenibile (programmi di formazione a distanza, FAD).

Per quanto riguarda i programmi FAD, in particolare, negli ultimi quattro anni lo IAMB ha reso disponibile sulla piattaforma di e-learning 6 corsi su argomenti diversi che vanno dal marketing dell'olio di oliva biologico alla gestione della qualità di prodotti tipici e biologici dell'area Mediterranea e Balcanica.

Nell'ambito dell'area tematica di ricerca denominata "Agricoltura biologica mediterranea", infine, negli ultimi anni lo IAMB ha notevolmente sviluppato il settore del compostaggio proponendo un modello di gestione dell'azienda agricola basato su :

- Compostaggio dei residui dell'azienda agricola e dell'industria agro-alimentare;
- Produzione di compost di qualità attraverso la creazione di impianti di produzione duplici che coniugano la via tradizionale agricola e quella a maggiore automatizzazione;
- Formazione specializzata per migliorare la

gestione del rifiuto agricolo e urbano nei Paesi di provenienza nel quadro della PEV e nella prospettiva della libera circolazione di persone e manodopera.

Per perseguire tale modello lo IAMB sta attuando un strategia nazionale e internazionale di progetti di cooperazione e di formazione tra i quali si ricordano:

- **P.I.C. INTERREG III A ITALIA - ALBANIA - Misura 3.1 azione B - 2000-2006** - "Progetto finalizzato integrato per la diffusione e assistenza tecnica all'implementazione di metodologie per la produzione di prodotti biologici (PAB)" : il progetto ha permesso l'avvio di protocolli sperimentali di produzione di compost in Albania e la realizzazione di un impianto dimostrativo di produzione di compost presso lo IAMB;
- **PON 2000-2006 "Ricerca Scientifica, Sviluppo Tecnologico, Alta Formazione". Asse III. 4 -MAPROGES – Manager in Processi Innovativi di Compostaggio e Gestione delle Biomasse di Scarto:** primo master post-universitario sul compostaggio in Italia che ha formato venti tecnici specialistici del settore;
- **MAE – DGS: Piano nazionale per il miglioramento della qualità dell'olio di oliva in Siria:** progetto mediante il quale è stato possibile realizzare impianti pilota di compostaggio per la riutilizzazione di sottoprodotti dell'industria olearia;
- **MAE – DGS: legge 84 per la ricostruzione dei Balcani:** messa a punto di linee guida per la definizione di percorsi produttivi in agricoltura biologica in cui la gestione della fertilità è basata principalmente sul compostaggio.

Le azioni future dello IAMB nel settore compostaggio sono rivolte:

- a livello locale attraverso la creazione di un accordo permanente con la Regione Puglia tramite il Consorzio Italiano Compostatori (CIC) per l'incentivazione alla produzione di compost in Puglia a partire da rifiuti organici provenienti da raccolta differenziata;
- a livello nazionale per lo sviluppo di progetti con istituti di ricerca sulla tematica della qualità del compost e sulla sua applicazione in agricoltura di qualità (CRA-RPS di Roma, CRA - SCA di Bari ecc);
- a livello internazionale mediante l'attuazione di task di alcuni programmi specifici di più ampio respiro (Tunisia APN –MAE; Libano TERCON-MAE; Albania –PAB II;) per lo studio e pubblicazioni di un marchio di qualità e campagne informative sperimentali per la valorizzazione in ambito agricolo del compost di qualità.

Produzione e utilizzo di compost dai residui dell'industria agrumaria in Sicilia

Maria Luisa Calabretta e Francesco Intrigliolo

C.R.A. - Istituto Sperimentale per l'Agricoltura

Corso Savoia n. 190, 95024 ACIREALE (CT), Tel. 095/7653133, Fax 095/7653113

e-mail: marialuisa.calabretta@entecra.it

Riassunto

Il processo di compostaggio offre vantaggi ecologici, agronomici e socioeconomici, permettendo un corretto utilizzo degli scarti agro-industriali. Con la pratica del compostaggio si vuole ridurre la quantità di tali scarti, promuovere, nel contempo, proficue attività di recupero e di riciclaggio, oltre a valorizzare i materiali organici che diversamente vedrebbero, quale ipotesi di collocazione alternativa, il conferimento in discarica. Ai fini agronomici il compost aggiunto al suolo determina il miglioramento e/o il mantenimento della fertilità dello stesso.

Si riportano i risultati dell'attività di ricerca svolta al fine di verificare la possibilità di produrre un compost di qualità utilizzando come matrice principale gli scarti provenienti dalla lavorazione dell'industria agrumaria (pastazzo); scarti che vengono prodotti in notevole quantità in un breve arco temporale. Per la preparazione dei cumuli, insieme alla matrice pastazzo sono stati impiegati: i fanghi di depurazione, prodotti dal lavaggio dei frutti e dei macchinari, durante il processo di trasformazione industriale agrumaria; gli scarti di IV gamma (mercatale), ottenuti dalla lavorazione dell'industria di confezionamento dell'ortofrutta pronta per il consumo; la sansa esausta, scarto dell'industria della molitura delle olive; i residui della potatura del verde ornamentale e i residui della potatura degli agrumeti. Combinando tra loro queste matrici, secondo ben precise proporzioni, sono stati preparati quattro diversi cumuli e periodicamente monitorati sotto vari aspetti. I principali parametri monitorati e determinati in laboratorio sono stati la temperatura, l'umidità, il rapporto carbonio/azoto, il pH, il carbonio organico totale, il carbonio estraibile totale, gli acidi umici e fulvici e i parametri dell'umificazione.

Si dà un breve cenno sulle prove svolte sia in colture in vaso sia in pieno campo, in cui è stato utilizzato il compost da pastazzo.

Parole chiave: scarti agroindustriali, agrumi, fertilizzazione organica.

Abstract

The composting process offers ecological, agronomic and socioeconomic advantages, allowing the elimination of industrial wastes. The composting practice looks at reduce the wastes quantity and promote recycling activity. The matrices employed for the production of compost represent wastes that need to be managed and sold off. Besides, the compost obtained when added to the soil determine the improvement and/or the maintenance of the fertility of the same.

In this work are reported the results of scientific research in order to verify the possibility to produce a quality compost from citrus processing industry by-products (pastazzo) which are produced in huge amount in a short period of time during the year, exactly from December to April.

The matrices employed to produce compost together with pastazzo were: sludge, horticulture market waste, olive oil husks and pruning material.

Four different piles were prepared and periodically, all along the period of the composting process, they were monitored, following the main parameters.

Combining among them the matrices, respecting the proportions, four different piles were prepared, and periodically were monitored. The main monitored parameters and determined in laboratory were temperature, water moisture, ratio C/N, pH, total organic carbon, extractable organic carbon, humic and fulvic acid and umification parameters.

Several proof were conducted in which the quality compost were employed, both in vessel and in field, obtained satisfactory results.

Keywords: agroindustrial wastes, citrus, organic matter.

Le produzioni agrumicole siciliane sono state destinate, fino ad un recente passato, al mercato del prodotto fresco. Da qualche decennio, invece, si è verificato un cambiamento, dovuto alla notevole quantità di produzione e, sovente, alla scarsa qualità della stessa, con massicci conferimenti di prodotto all'industria di trasformazione agrumaria. Infatti, l'industria agrumaria trasforma, ogni anno, 1.000.000 tonnellate di agrumi, con una produzione di 600.000 tonnellate di pastazzo (una miscela di scorza, polpa e semi di arance), che rappresenta il principale residuo (Calabretta *et al.*, 2004) del processo di lavorazione (Rapisarda *et al.*, 1998).

Il considerevole quantitativo e il breve periodo di tempo (dicembre - aprile) durante il quale il pastazzo viene prodotto ha determinato, negli anni, un crescente aumento dei problemi in materia di smaltimento, sia da un punto di vista economico sia ambientale. Tali problemi potrebbero essere, in parte, superati destinando ingenti quantità di prodotto alla produzione di compost di qualità, per essere poi utilizzate come substrato in coltura fuori suolo, in sostituzione della torba e/o come ammendante nei suoli per colture in pieno campo (Canali *et al.*, 2003).

L'impiego di tali residui (Correia Guerrero *et al.*, 1995; Tittarelli *et al.*, 2003; Intrigliolo *et al.*, 2001; Intrigliolo *et al.*, 2002) costituisce un tipico esempio di trasformazione dei rifiuti in una risorsa con valore di mercato (Sequi e Tittarelli, 1998). In tal modo, si riciclano materiali da portare in discarica, con i conseguenti costi da sostenere da parte delle industrie

stesse e si produce sostanza organica che potrà essere immessa nel terreno insieme ad elementi nutritivi, così da mantenere e/o migliorare la fertilità del terreno e determinare la chiusura del ciclo della sostanza organica.

Da ciò la motivazione per la quale si è voluto produrre un compost di qualità, utilizzando cinque differenti matrici: il pastazzo, principale residuo dell'industria di trasformazione agrumaria; i fanghi di depurazione, prodotti dal lavaggio dei frutti e dei macchinari, rispettivamente durante e dopo il processo di trasformazione industriale agrumaria; gli scarti di IV gamma (mercatale), ottenuti dalla lavorazione dell'industria di confezionamento dell'ortofrutta, selezionata, lavata, tagliata, pronta per il consumo; la sansa esausta, scarto dell'industria della molitura delle olive; gli scarti di potatura del verde ornamentale e gli scarti della potatura degli agrumeti, adeguatamente triturati.

Le matrici sono state sottoposte ad analisi di laboratorio ed è stata effettuata la caratterizzazione fisico-chimica (tab. 1), considerando, soprattutto, il livello dei metalli pesanti presenti nelle stesse e gli effetti di una loro possibile concentrazione, durante il processo di compostaggio. I valori ottenuti sono stati confrontati con i limiti standard ufficiali, stabiliti dalla Legge n. 748/1984 e successive modifiche, recentemente sostituite dal D.Lgs. 217 del 29 aprile 2006, che regolano la produzione e l'impiego di compost in agricoltura biologica, dove non è consentito impiegare come matrice i fanghi di depurazione e

Tabella 1. Caratterizzazione chimico-fisica delle cinque matrici utilizzate

Parametri	Pastazzo di agrumi	Fanghi di depurazione	Scarti di IV gamma	Sansa esausta	Residui di potatura
Umidità (%)	88.6	65.1	9.9	9.7	42.5
pH	3.2	8.2			
Azoto (%)	1.39	3.55	2.51	1.2	0.83
P ₂ O ₅ (%)	0.27	3.66	0.41	0.05	0.11
K ₂ O (%)	0.9	0.54	3.56	0.61	0.25
C organico totale (mg/kg)	51.4	28	44.1	55.4	44
C/N	37	8	18	46	53
Calcio (%)	1.06	6.25	1.39	0.33	1.61
Magnesio (%)	0.12	0.72	0.44	0.03	0.25
Cadmio totale (mg/kg)	<0.5	5	0.6	<0.5	
Mercurio totale (mg/kg)	<0.1	0.12			
Rame totale (mg/kg)	7	105	13	7	
Zinco totale (mg/kg)	12	680	29	9	12
Nichel totale (mg/kg)	<0.5	37.5	3	<2	
Piombo totale (mg/kg)	<0.5	27	16	<2	
Cromo (IV) (mg/kg)	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	

dalla Circolare Mi.P.A.F. n. 8/1999, che regola la produzione e l'impiego di compost in agricoltura convenzionale, in cui è ammessa la presenza dei fanghi di depurazione.

Combinando diversamente tra loro le matrici (fig. 1), secondo dei rapporti quantitativi calcolati e ben definiti, sono stati preparati quattro cumuli:

Cpastazzo formato impiegando le matrici pastazzo e scarti di potatura;

Cfanghi ottenuto utilizzando le matrici pastazzo, fanghi e scarti di potatura;

Csansa preparato con le matrici pastazzo, scarti di potatura e sansa esausta;

Cmercatale costituito mediante l'utilizzo delle matrici pastazzo, scarti di potatura e mercatale.

Il processo di bio-ossidazione è stato monitorato rilevando diversi parametri (fig. 2, fig. 3).

Giornalmente, è stata rilevata la temperatura, il cui andamento è risultato, all'inizio del processo, crescente in modo rapido fino a raggiungere (in pochi giorni) valori di 60°C e mantenendo valori di 50°C durante la fase termofila; successivamente i valori sono progressivamente diminuiti raggiungendo temperature di 35-40°C alla fine del compostaggio. La temperatura è stata regolata con rivoltamenti del cumulo.

La temperatura determina la velocità di degradazione del substrato, quindi, il flusso di calore emesso per unità di tempo e di massa. Nella fase iniziale i valori della temperatura sono compresi tra 50-60°C, al di sopra di questa soglia si ha una selezione tra i microrganismi. Oltre i 70°C solo poche specie di batteri termofili espletano attività metabolica, in conseguenza il processo si arresta. In seguito, con la formazione delle sostanze umiche, la temperatura diminuisce raggiungendo valori di 35-45°C, per poi lentamente stabilizzarsi su valori della temperatura ambiente al termine del processo.

Con frequenza di circa 12-15 giorni è stata determinata l'umidità, mantenuta tra il 55-60% a mezzo di somministrazioni di acqua per garantire le condizioni ottimali di vita dei microrganismi.

L'acqua rappresenta il mezzo in cui avvengono le reazioni chimiche, si verificano gli scambi nutritivi attraverso le membrane cellulari ed è veicolo per gli enzimi. L'umidità ottimale dipende dalla porosità e dalle caratteristiche della miscela; i valori ottimali sono compresi tra il 40 e il 65%. Al di sotto del 40% l'attività microbica procede molto lentamente e cessa quasi del tutto al di sotto del 20%, valore in corrispondenza del quale il materiale va incontro ad una rapida disidratazione, interrompendo precocemente l'evoluzione microbica del processo. Il prodotto così ottenuto risulterà stabilizzato fisicamente ma non biologicamente. Viceversa, in condizioni di umidità superiori al 65%, l'acqua espelle l'aria dalla maggior parte degli spazi interstiziali tra le particelle della

matrice organica, ostacolando la diffusione dell'ossigeno e favorendo l'insorgenza di condizioni microaerofile o anossiche. Poiché l'umidità del substrato diminuisce con l'avanzare del processo per effetto della temperatura e dell'aerazione, il contenuto in acqua delle matrici deve essere più alto del 45%.

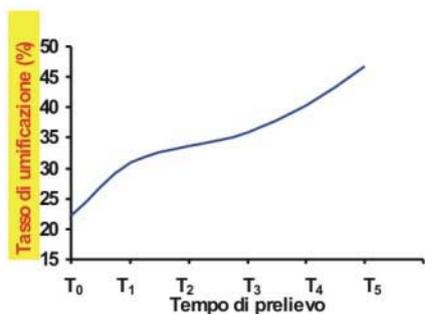
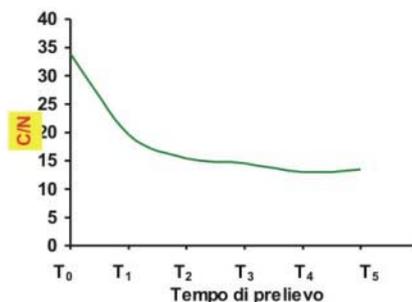
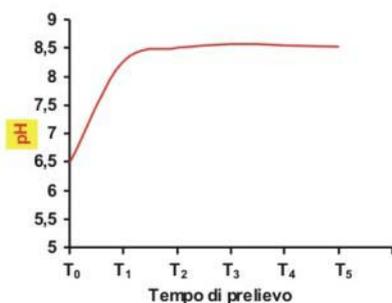
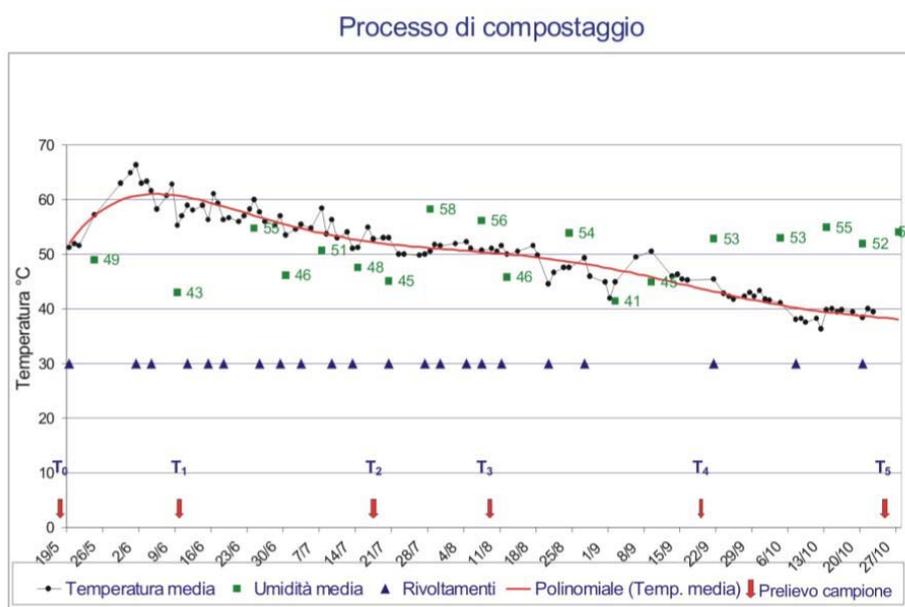
Un altro parametro monitorato per verificare il regolare processo di bioossidazione è stato il **rapporto carbonio/azoto (C/N)**. I nutrienti presenti nelle matrici sono unità strutturali e sorgenti di energia utilizzate dai microrganismi per costruire e mantenere la loro struttura ed organizzazione. La maggior parte delle matrici organiche contiene in grande quantità i principali elementi (C, N, P, K) richiesti dai microrganismi coinvolti nel processo. È, soprattutto, la quantità di carbonio e azoto contenuta nel substrato e l'equilibrio esistente tra i due elementi a condizionare la silizzazione del prodotto. I microrganismi eterotrofi necessitano dei composti del carbonio come fonte di energia e dell'azoto per sintetizzare le loro proteine. Durante il processo 1/3 del carbonio consumato viene utilizzato dai microrganismi e si combina con l'azoto per formare il protoplasma delle cellule viventi, i restanti 2/3 vengono ossidati ad anidride carbonica mediante la respirazione. Nella fase iniziale del processo, il rapporto ottimale C/N deve essere compreso tra 25 e 35. Un eccesso di carbonio determina un rallentamento dell'attività microbica e, quindi, della decomposizione ed il processo risulta più lungo. Un eccesso di azoto causa perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca, specialmente se il pH e la temperatura hanno valori elevati. È, invece, auspicabile che tali perdite per il sistema siano ridotte al minimo, data l'importanza che l'azoto assume nelle colture agrarie. Quando tutto l'azoto disponibile è stato utilizzato, la maggior parte dei microrganismi muore; l'azoto immagazzinato nelle cellule batteriche viene impiegato da altri microrganismi per formare nuovo materiale ed il carbonio, usato come fonte di energia, viene ossidato a CO₂. Così, la quantità di carbonio si riduce di volta in volta, mentre l'azoto viene continuamente riciclato. Il processo risulta più lungo nel caso in cui il C/N iniziale è molto al di sopra di 30. Quando, al contrario, il carbonio è al di sotto del livello necessario per convertire l'azoto assimilabile in proteine, i microrganismi utilizzano completamente il carbonio disponibile e liberano l'eccesso di azoto sotto forma di NH₃. Il rapporto C/N finale dei prodotti di buona qualità si attesta sempre su valori compresi tra 15 e 20.

Nello specifico, l'andamento del rapporto C/N nei cumuli *Cpastazzo* e *Cfanghi* durante il processo è stato caratterizzato da un costante decremento, tipico della regolare evoluzione della sostanza organica; diverso andamento si è verificato per i cumuli *Cmercatale* e *Csansa* che hanno mostrato un irregolare decremento dall'inizio alla fine del compostaggio.



Figura 1. Miscelazione delle matrici, per l'allestimento dei cumuli

Figura 2. Temperature, umidità e rivoltamenti monitorati durante il processo di compostaggio



Parametri rilevati durante il processo di compostaggio

Figura 3. PH, rapporto C/N e tasso di umificazione monitorati durante il processo di compostaggio

I valori ottimali del **pH** per il materiale di partenza erano compresi fra 5.5-8.0. I batteri preferiscono un pH vicino alla neutralità, mentre i funghi si sviluppano meglio in ambiente acido. All'inizio del processo la formazione di CO₂ e di acidi organici determina dei valori acidi; successivamente, il pH raggiunge valori di 8.0-9.0, per effetto dell'aerazione che tende ad eliminare la CO₂ e a decomporre le proteine, con produzione di ammoniaca ad opera della microflora ammonizzante. Al termine del processo di compostaggio, il pH presenta valori prossimi alla neutralità, anche grazie all'azione dei batteri nitrificanti che trasformano l'ammonio in acido nitroso o nitrico.

Durante il processo di compostaggio sono stati monitorati altri parametri quali il **carbonio organico totale** (TOC) (Springer e Klee, 1954), il **carbonio estraibile totale** (TEC) (Springer e Klee, 1954), gli **acidi umici e fulvici** (C_{HA+FA}) (Ciavatta *et al.*, 1990). Sono stati, inoltre, calcolati i parametri dell'umificazione, rispettivamente il **tasso di umificazione** (HR) e il **grado di umificazione** (DH), mediante i quali è stato possibile determinare quantitativamente il livello di umificazione e conseguentemente, la trasformazione della materia organica. Durante il processo di compostaggio la quantità della sostanza organica labile è diminuita, mentre la concentrazione delle sostanze umico-simili è aumentata (Tittarelli *et al.*, 2002).

Il tasso di umificazione per entrambi i cumuli *Cpastazzo* e *Cfanghi* è aumentato costantemente durante tutto il processo, mentre, nei cumuli *Cmercatale* e *Csansa* si è avuto un andamento irregolare, ben diverso dagli altri due cumuli.

Infine, è stata effettuata la **focalizzazione isoelettrica della sostanza organica estraibile**, metodo utilizzato per la valutazione qualitativa della sostanza organica (Govi *et al.* 1994).

I profili della focalizzazione isoelettrica (IEF) dei cumuli *Cpastazzo* e *Cfanghi* sono risultati molto simili, fra i campioni prelevati durante il processo. I profili evidenziano la comparsa delle nuove bande in corrispondenza di pH>4.5 che hanno indicato una trasformazione qualitativa della materia organica. I profili IEF dei cumuli *Cmercatale* e *Csansa* sono stati caratterizzati da un incremento dei picchi concentrati a pH>4.5, anche se in modo meno evidente rispetto al *Cpastazzo* e al *Cfanghi*.

Una minore concordanza è stata mostrata tra i parametri dell'umificazione e IEF (Canali *et al.*, 1998; Sequi, 1995).

I campioni, sottoposti ad analisi, sono stati prelevati da ciascun cumulo in sei diversi punti e profondità, successivamente i sub-campioni sono stati mescolati per ottenere un unico campione omogeneo e rappresentativo del cumulo. L'intero processo è stato monitorato effettuando campionamenti in tempi diver-

si, rispettivamente: T0 (miscelazione delle matrici e preparazione dei cumuli), T1 (29 giorni), T2 (67 giorni), T3 (89 giorni), T4 (130 giorni) e T5 (165 giorni).

Il prodotto ottenuto alla fine del processo di compostaggio è stato sottoposto ad analisi di laboratorio ed i risultati confrontati con i valori citati dalle leggi che vigono in materia (tab. 2). I risultati ottenuti rientrano pienamente nei limiti di legge, pertanto, il prodotto ottenuto è stato definito un compost di elevata qualità.

I compost ottenuti non contenevano residui visibili delle matrici di partenza e si presentavano di colore scuro, omogenei e di granulometria fine, privi di odori sgradevoli e di basso peso specifico (fig. 4).

Il contenuto di elementi potenzialmente tossici, in entrambe le tipologie di compost, è risultato sensibilmente inferiore ai limiti imposti dalla normativa. Il maggiore contenuto in ceneri, azoto, fosforo e potassio sul secco del compost convenzionale, rispetto al compost biologico consente d'ipotizzare una più specifica azione concimante del primo rispetto al secondo, che ha, invece, un ruolo più mirato come ammendante. Infine, la minore conducibilità elettrica del compost biologico può consentire un possibile impiego di questa tipologia di ammendante nell'attività vivaistica.

Il prodotto ottenuto al termine del processo è stato sottoposto a vagliature comprese tra 10 e 20 mm, assicurandone una buona omogeneità.

Diverse sono state le ricerche sperimentali nelle quali è stato utilizzato il compost prodotto mediante le nostre prove dalle quali si sono ottenuti i seguenti risultati:

- *Prove di fito e geno tossicità sul compost da pastazzo e sulle matrici utilizzate.* Attività di genotossicità e fitotossicità sono state evidenziate dal *pastazzo* tal quale; mentre, i compost, nei quali fra le matrici impiegate figurava il *pastazzo*, a differenti dosi, non presentavano alcuna differenza statistica rispetto al controllo (De Simone *et al.*, 2001).
- *Confronto fra diversi substrati di coltivazione per piante in semenzali.* Le prove sono state svolte su piante di arancio amaro (*Citrus aurantium* L.) messe a dimora in serra, in due diversi ambienti, in Sicilia ed in Puglia. Le condizioni di allevamento sono state simili e sono tutt'oggi in corso, pertanto, non è ancora possibile avere dei risultati conclusivi.
- *Confronto fra diversi substrati di coltivazione per piante ornamentali di limone "Lunario" [Citrus limon (L.) Burm. F.] innestato su alemow (Citrus Macrophylla Wester).* In due anni di prove, i risultati hanno evidenziato che il compost da *pastazzo* può sostituire alcuni componenti del substrato di coltivazione utilizzato fino ad oggi nei vivai, quali terra di bosco, letame e torba (risorse non rinnovabili) garantendo un buon aspetto morfologico delle piante e

soprattutto avendo un peso specifico basso, così da avere una notevole facilitazione nella movimentazione dei vasi (Torrise *et al.*, 2004).

- *Studio di lunga durata sulla fertilizzazione organica in agrumicoltura*. In prove di lunga durata, condotte in un appezzamento sperimentale secondo il metodo di coltivazione biologico, è stato previsto anche l'impiego di compost da pastazzo. I risultati ottenuti con detto compost hanno determinato il miglioramento dei parametri chimico-fisici del frutto, il rapporto di maturazione e la resa in succo, oltre al contenuto in vitamina C. I valori delle analisi del terreno, sono risultati di rilevante interesse,

evidenziando la netta differenza nella disponibilità di nitrato nel terreno con una massima concentrazione nel caso del concime minerale rispetto ad alcune matrici organiche (compost) utilizzate. Non essendosi evidenziate differenze particolarmente rilevanti nei livelli fogliari azotati e nella produzione delle varie tesi a confronto, il surplus nel periodo estivo di N-nitrico nel terreno della tesi fertilizzata con formulato minerale potrebbe avere solo delle pericolose ripercussioni nell'inquinamento degli acquiferi. (Canali *et al.*, 2006; Canali *et al.*, 2004; Torrise *et al.*, 2004a; Intrigliolo *et al.*, 2003; Intrigliolo *et al.*, 2003a).

Tabella 2. Principali parametri chimico-fisici dei compost e limiti di legge (valori riferiti alla sostanza secca a 105°C)

Parametro	C-conv	C-biol	Legge 748/84 Circolare MiPAF n. 8/99*
pH	8,4	8,5	8,5
Ceneri (%)	37,5	24,6	
C org. totale (%)	31	38	>25
N totale (%)	2,8	2,5	
P ₂ O ₅ (%)	2,3	0,7	
K ₂ O (%)	0,8	0,7	
C/N	12	15	<25
C da acidi umici e fulvici (%)	14	18	>7
Cadmio totale (mg/kg)	1,5	<0,5	1,5
Mercurio totale (mg/kg)	<0,1	<0,1	1,5
Rame totale (mg/kg)	37	32	150
Zinco totale (mg/kg)	320	99	500
Nichel totale (mg/kg)	31	20	50
Piombo totale (mg/kg)	10	13	140
Cromo (VI) (mg/kg)	n.r.**	n.r.**	0,5
Conduc. elettrica (mS/cm)	2,08	1,78	

*Per le tipologie di compost che non prevedono la presenza esclusiva di sostanza organica di RSU proveniente da raccolta differenziata, non sono previste ulteriori limitazioni rispetto alla legge 748/84 per i parametri sopra riportati. ** n.r. = non rilevabile



Figura 4. Compost ottenuto alla fine del processo di compostaggio

Bibliografia

- Calabretta M.L., Tittarelli F., Trinchera A., Di Bartolomeo E., De Simone C., Pierandrei F., Giuffrida A., Rea E., Intrigliolo F. 2004. Compost production utilizing citrus waste. 10th International Society of Citriculture (ISC) Congress. Agadir, Morocco, 15-20 February.
- Canali S., Trinchera A., Benedetti A., Pinzari F. 1998. Study of compost maturity by means of humification parameters and isoelectric focusing technique. Proc. 16th World Congress of Soil Science. Symposium 40, Montpellier 20-26 August (CD-ROM).
- Canali S., Trinchera A., Intrigliolo F., Pompili L., Nisini L., Mocali S., Alianello A., Torrisi B. 2003. Effect of long term compost utilization on soil quality of citrus orchards in Southern Italy. Fourth International Conference of Organic Recovery & Biological Treatment (ORBIT) Association on Biological Processing of Organicals: Advances for a Sustainable Society 29 April – 5 May.
- Canali S., Trinchera A., Intrigliolo F., Pompili L., Nisini L., Mocali S., Torrisi B. 2004. Effect of long term addition of composts and poultry manure on soil quality of citrus orchards in southern Italy. *Biol Fertil Soils* 40: 206-210.
- Canali S., Trinchera A., Di Bartolomeo E., Nisini L., Intrigliolo F., Calabretta M.L., Torrisi B., Rocuzzo G. 2006. Soil quality in organic and conventional citrus orchards: results of a survey carried out in Eastern Sicily (Italy). 18th WCSS Philadelphia (USA), July.
- Ciavatta C., Govi M., Vittori Antisari L., Sequi P. 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *J. Chromatogr.* 509:141-146.
- Correia Guerrero C., Carrasco de Brito J., Lapa N., Santos Oliveira F. 1995. Re-use of industrial Orange Wastes as Organic Fertilizers. *Bioresource Tecnology*. Elsevier Science limited, 53, 43-51.
- De Simone C., Tittarelli F., D'Ambrosio C., Beretta F., Intrigliolo F. 2001. Influenza del processo di compostaggio sulla fito e genotossicità dei residui dell'industria agrumaria. XIX Convegno SICA, Reggio Calabria I: 429-434.
- Govi M., Ciavatta C., Gessa C. 1994. Evaluation of stability of the organic matter in slurries, sludges and composts using humification parameters and isoelectric focusing. In: Senesi S. and Miano T.M. (eds.). *Humic Substances in the Global Environment and Implication on Human Health*. Elsevier Science, 1311-1316.
- Intrigliolo F., Calabretta M.L., Giuffrida A., Torrisi B., Rapisarda P., Tittarelli F., Anselmi M., Rocuzzo G., Trinchera A., Benedetti A. 2001. Compost dagli scarti dell'agroindustria. *L'Informatore Agrario*, LVI, 4:35-39.
- Intrigliolo F., Trinchera A., Calabretta M.L., Tittarelli F., Giuffrida A., Benedetti A. 2002. Produzione di compost dai residui dell'industria agrumaria. VI Giornate SOI Spoleto, 23-25 Aprile. I:241-242.
- Intrigliolo F., Torrisi B., Giuffrida A., Stagno F., Allegra M., Calabretta M.L., Rapisarda P., Canali S., Trinchera A., Di Bartolomeo M., Nisini L., Pompili L. 2003. Interventi di fertilizzazione a basso impatto ambientale in agrumicoltura. Convegno Ricerca e sperimentazione nel settore dell'agroindustria Italiana Risultati 1° anno attività, Acireale, 8 aprile.
- Intrigliolo F., Canali S., Torrisi B., Giuffrida A., Stagno F., Allegra M., Trinchera A. 2003a. Agronomic assessment of orange trees treated with different applications of organic fertilizers and soil improvers. Fourth International Conference of Organic Recovery & Biological Treatment (ORBIT) Association on Biological Processing of Organicals: Advances for a Sustainable Society 29 April – 5 May.
- Rapisarda P., Intelisano S., Fanella, F., Intrigliolo F., Tittarelli F., Canali S., Benedetti A., Sequi P. 1998. Utilizzo degli scarti di lavorazione dell'industria agrumaria. *L'Informatore Agrario* LIV, 11, 93-97.
- Sequi P. 1995. Evolution of organic matter humification during composting processes. In: Lemmes B. (ed) *The challenge. Fitting composting and anaerobic digestion into integrated waste management*. ORCA Tech Doc n. 5, Bruxelles, 153-159.
- Sequi P., Tittarelli F. 1998. Outlook on perspectives for compost in Italy. EU Symposium Compost – Quality Approach in European Union. Federal Ministry for the Environment, youth and Family Affairs (ed.). Wien, 29-30 October. 161-167.
- Springer U., Klee J. 1954. Prüfung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigeren Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode. *Z Pflanzenernaehr Bodenkd* 64:1.
- Tittarelli F., Trinchera A., Intrigliolo F., Benedetti A. 2002. Evaluation of organic matter stability during the composting process of agroindustrial wastes. H. Insam, N. Riddech, S. Klammer (Eds.) *Microbiolog of Composting*. Spring-Verlag Berlin Heidelberg I:396-406.
- Tittarelli F., Trinchera A., Intrigliolo F., Calabretta M.L., De Simone C., Pierandrei F., Rea E. 2003. Production and utilization of compost from citrus wastes of industrial processing. Fourth International Conference of Organic Recovery & Biological Treatment (ORBIT) Association on Biological Processing of Organicals: Advances for a Sustainable Society 29 April – 5 May.
- Torrisi B., Recupero S., Caldarera F., Allegra M., Intrigliolo F. 2004. Comparison between different growing substrates for the ornamental citrus trees. 10th International Society of Citriculture (ISC) Congress. Agadir, Morocco, 15-20 February.
- Torrisi B., Canali S., Giuffrida A., Trinchera A., Stagno F., Pompili L., Nisini L., Intrigliolo F. 2004a. Application of organic fertilisers in a orange orchard in southern Italy: effects on soil fertility, trees nutritional status, fruits yield and quality. 10th International Society of Citriculture (ISC) Congress. Agadir, Morocco, 15-20 February.

Il compost come strumento di cooperazione: il progetto PAB INTERREG Italia - Albania

Claudio Coccozza¹ e Vincenzo Verrastrò

Istituto Agronomico Mediterraneo, Via Ceglie, 9 – 70010 Valenzano (Bari), Italy

¹ Corresponding author: Università degli Studi di Bari, DiBCA, Via Amendola 165/A, 70126 Bari,

tel. +39 080 5442823, fax. +39 080 5442850, c.coccozza@agr.uniba.it

Riassunto

Il programma di iniziativa comunitaria PAB Interreg III A – Italia Albania è un progetto finalizzato integrato per la diffusione ed assistenza tecnica all'implementazione di metodologie per la produzione di prodotti biologici. Una delle attività del progetto è studiare l'applicabilità, la dimostrazione ed il trasferimento di protocolli di sperimentazione tramite aziende dimostrative albanesi ed italiane. La parte del programma relativo alla dimostrazione del compostaggio aziendale ha visto coinvolti diversi partner, pubblici e privati, su entrambe le sponde dell'Adriatico: la Facoltà di Agraria dell'Università di Tirana, l'Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari, l'Associazione per l'Agricoltura Biologica Albanese, l'azienda zootecnica "Esat Bodgli" di Durazzo. Le aziende dimostrative sono state individuate sulla base di alcune specifiche peculiarità: a) disponibilità di biomasse di scarto in quantità sufficienti allo scopo e rappresentative della realtà agricola albanese; b) possibilità di applicare in campo il compost prodotto.

Letami di varia origine, paglia, segatura, cartoni e scarti degli insilati rappresentano le materie di partenza più diffuse nell'ambito agricolo albanese. Approntati i cumuli, il processo di compostaggio è stato monitorato tramite rilevamenti quotidiani delle temperature degli stessi e, in base a questi rilievi e all'andamento meteorico, è stato deciso il governo delle biomasse. La stretta collaborazione tra il personale italo-albanese coinvolto ha permesso di rispondere all'attività di formazione ed aggiornamento dei tecnici pubblici e privati coinvolti, come previsto dal progetto PAB. La formazione, oltre che sul campo, si è estrinsecata anche con incontri formativi. Al termine della fase di compostaggio il controllo analitico del prodotto finito è stato realizzato in Italia in quanto la legislazione albanese non contempla riferimenti normativi inerenti la qualità del compost. Inoltre, i laboratori albanesi interpellati, specializzati nel controllo dei concimi chimici, non disponevano delle attrezzature richieste da analisi specifiche per queste biomasse. Le analisi hanno rivelato come i compost prodotti rientravano nei limiti imposti dalla legislazione italiana e quindi potevano essere utilizzati come ammendanti senza alcuna preclusione per le successive prove di fertilizzazione.

Parole chiave: Compostaggio, Progetto PAB Interreg III A Italia - Albania, Cooperazione internazionale, Agricoltura biologica

Abstract

The European Community program PAB Interreg III A - Italy Albania is a project finalized to the spread and technical assistance in the implementation of the organic farming. One of the activities of the project is to study the feasibility, the demonstration and the transfer of experimental protocols through demonstrative farms. The part of the program related to the composting has involved several private and public partners: the Agricultural Faculty of the University of Tirana, the Mediterranean Agronomic Institute of Bari, the Albanian Association of Organic Agriculture and the private farm "Esat Bodgli". After an investigation on site, demonstrative farms were selected according to the representativeness and quantity of available biomasses. It has been found that in Albania the organic residues useful for composting are manures of different origin, sawdust, straws, cardboard and ensiled residues. The pruning wood is not available because of the scarce production (farmers do not prune every year) and the residual wood is burned since it is almost impossible to find a grinder. After the preparation of the windrows, the composting process has been managed according to the heap temperature and climate trends. Any analytical control has been realized at an Italian laboratory since the Albanian legislation still does not contemplate compost, therefore even Albanian laboratories are not completely equipped to carry out specific analyses on biomasses. The quality of the final composts has complied to the Italian legislation, therefore the biomasses can be used for the fertilization in organic farming.

Keywords: Composting, PAB Interreg III A Italy – Albania Project, International cooperation, Organic farming

Introduzione

Italia e Albania vantano un rapporto di cooperazione pluriennale finalizzato allo sviluppo economico e dell'occupazione attraverso misure che agiscono sullo sviluppo e la qualità del sistema agricolo e marino. Tra le misure tese a potenziare la cooperazione tra i due Paesi s'inserisce il programma di iniziativa comunitaria PAB Interreg III A 2000-2006, finalizzato e integrato per la diffusione e l'assistenza tecnica all'implementazione di metodologie per la produzione di prodotti biologici.

Il progetto PAB persegue lo sviluppo e il consolidamento dell'agricoltura biologica in Italia ed Albania rafforzando la competitività e l'ecocompatibilità delle imprese agricole italiane ed albanesi tramite il miglioramento delle funzionalità delle strutture istituzionali, l'adeguamento ed implementazione della normativa, lo scambio delle conoscenze scientifiche, l'avanzamento delle conoscenze tecniche e la qualificazione delle risorse umane.

Al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati, tutte le attività del progetto sono state raggruppate in quattro work-package suddivisi come segue:

- WP1, dedicato al rafforzamento del partenariato scientifico italo-albanese sull'Agricoltura Biologica al fine di migliorare le conoscenze e l'accesso alle informazioni scientifiche in agricoltura biologica;
- WP2, finalizzato al miglioramento dei servizi e delle strutture tecniche di supporto allo sviluppo dell'agricoltura biologica;
- WP3, destinato all'adeguamento delle capacità professionali del personale pubblico e privato preposto alla gestione del sistema;
- WP4, rivolto alla creazione ed al rafforzamento delle istituzioni pubbliche e private per lo sviluppo dell'agricoltura biologica.

In particolare, l'attività 2.3 è stata dedicata alla dimostrazione, allo studio di applicabilità e al trasferimento di protocolli di sperimentazione definiti con le attività di ricerca espletate con la Misura 6.2.a del precedente programma INTERREG II Italia-Albania, con l'ausilio di aziende dimostrative.

La parte del programma relativo alla dimostrazione del compostaggio aziendale in Albania ha visto coinvolte la Facoltà di Agraria dell'Università di Tirana e l'Associazione per l'Agricoltura Biologica Albanese, coordinate dal project leader, CIHEAM - Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari, e si è svolta nel corso del biennio 2004-2006.

Dimostrazione del protocollo sperimentale

La prima fase dell'attività è stata finalizzata alla conoscenza della realtà agricola albanese al fine di individuare gli scarti organici utili al compostaggio

aziendale. Diversi sopralluoghi, insieme ai referenti albanesi, hanno reso possibile l'individuazione dei seguenti residui aziendali potenzialmente compostabili: letami di varia origine, paglie, segatura, cartoni e scarti di insilati. Il legno di potatura non è risultato facilmente reperibile pur in presenza di diverse colture arboree quali olivo, vite e fruttiferi vari. I motivi di questa carenza sono legati al fatto che i) in alcuni casi la potatura non è praticata annualmente e quindi la disponibilità di legno è altalenante; ii) non sono facilmente reperibili macchine trituratrici, per cui l'eventuale legno non sarebbe utile ai fini del compostaggio; iii) il legno di potatura viene bruciato in campo o destinato ad usi energetici.

Le aziende sono state individuate sulla base della disponibilità, in quantità sufficienti, delle biomasse di scarto rappresentative, ed in particolare è stato selezionato un campo dimostrativo dell'Università di Tirana e l'azienda agricola "Esat Bodgli", afferente all'Associazione per l'Agricoltura Biologica Albanese.

Sono stati approntati due cumuli di compostaggio a differente composizione, in funzione della qualità e quantità degli scarti presenti presso le aziende dimostrative selezionate. In particolare, nel caso dell'azienda dell'Università di Tirana, si è potuto disporre di letame bovino, equino e ovi-caprino, segatura e paglia di grano, mentre nel caso dell'azienda "Esat Bodgli" le matrici di partenza sono state letame bovino, paglia, residui di mais insilato e cartoni.

Le dimensioni dei cumuli approntati sono state le seguenti: lunghezza 15 - 20 metri, larghezza 1,5 - 2 metri, altezza 1,5 - 2,5 metri.

Il processo di compostaggio è stato monitorato tramite rilevamenti quotidiani delle temperature dei cumuli e, in base a questi rilievi e all'andamento meteorico, sono stati decisi i rivoltamenti e le bagnature delle biomasse.

Al termine del compostaggio sono stati verificati alcuni parametri agronomici ed ambientali dei compost ottenuti ed, in particolare, il grado di reazione (pH), umidità, conducibilità elettrica (EC), contenuto di inerti, contenuto di carbonio organico, contenuto totale di N, P, K, e dei metalli pesanti Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn.

I campioni di compost sono stati analizzati presso il laboratorio della sezione di Chimica e Biochimica del DiBCA, Università degli Studi di Bari, secondo i metodi di analisi per i fertilizzanti riportati dalla legislazione italiana (Trinchera *et al.*, 2006). Le analisi sono state effettuate in Italia poiché la legislazione albanese non contempla metodiche analitiche inerenti la qualità dei compost e, inoltre, i laboratori albanesi specializzati nelle analisi sui fertilizzanti non disponevano delle attrezzature richieste da specifiche analisi per gli ammendanti.

Riprendendo quanto previsto dalla Misura 6.2.a del precedente programma INTERREG II Italia-Albania, si è provveduto alla fase dimostrativa di pieno campo, cioè ad ammendare una coltura primaverile-estiva che i referenti albanesi hanno individuato nel mais varietà Goldfox 120. La prova di campo si è svolta presso l'azienda didattico-sperimentale dell'Università di Tirana di Valias secondo lo schema delle parcelle randomizzate applicando dosi diverse del compost ottenuto presso l'Università di Tirana.

Sono state approntate 15 parcelle sperimentali, di 25 m² ognuna, così suddivise:

- 3 parcelle T, nessun ammendamento;
- 6 parcelle C1, 20 t di compost ha⁻¹, pari a 2 kg m⁻²;
- 6 parcelle C2, 40 t di compost ha⁻¹, pari a 4 kg m⁻².

Lo schema delle parcelle randomizzate è riportato in Figura 1.

Il compost è stato applicato al suolo ed interrato ad una profondità di circa 15 - 20 cm prima della semina, effettuata dopo pochi giorni con densità di circa 7 piante m⁻² (distanza di semina 70 x 20 cm).

Ogni parcella è stata analizzata relativamente alla produzione media di pannocchie (kg parcella⁻¹), alla produzione media di biomassa complessiva (kg parcella⁻¹), all'altezza media delle piante, al rapporto del numero di file di cariossidi per pannocchia, al rapporto del numero di cariossidi per fila, al peso dei mille semi.

Risultati e discussione

Le analisi dei principali parametri dei compost ottenuti presso le aziende dimostrative albanesi sono riportate in Tabella 1. I risultati analitici hanno rispecchiato le differenze dei materiali di partenza utilizzati per la realizzazione dei diversi cumuli. In particolare, il compost "Università" ha mostrato contenuti di P e Zn e valori di EC in linea con quanto atteso dall'utilizzo di letami di varia origine tra il materiale parentale, mentre il compost "Bodgli" ha presentato un più alto contenuto di K, presumibilmente legato ad una maggiore varietà della matrice vegetale durante la costituzione dei cumuli.

Entrambi i compost erano caratterizzati da valori non trascurabili di inerti, sebbene quello "Università" sia risultato più "sporco", e non è stato possibile ridurne il contenuto a causa della mancanza di vagliatura dei materiali finali. Anche in questo caso le differenze tra i due compost sono da ascrivere alla composizione dei materiali di partenza, dal momento che l'origine degli inerti era legata soprattutto ai letami utilizzati.

Ad eccezione del contenuto di umidità e degli inerti, tutti gli altri parametri analizzati rispettavano la normativa italiana relativa agli ammendanti commerciali e quindi si è proceduto alle prove dimostrative di campo, i cui risultati sono riportati in Tabella 2.

Tabella 1. Risultati delle principali analisi chimico-fisiche dei compost.

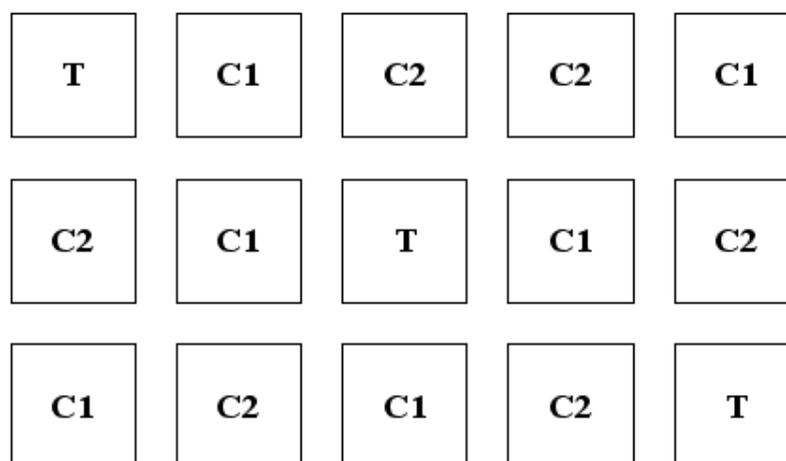
Table 1. Main physical and chemical features of composts

Parametro	Unità di misura	Compost Università	Compost Esat Bodgli
Inerti	% s.s.	9.8	3.8
Umidità	% t.q.	69.6	64.3
pH (in H ₂ O, 1:10)	-	8.5	7.9
EC (estratto, 1:10)	dS m ⁻¹	2.49	0.75
Ceneri	% s.s.	54.6	52.1
Carbonio organico	g kg ⁻¹ s.s	259.6	276.1
Sostanza organica	g kg ⁻¹ s.s	519,2	552,2
Azoto totale	g kg ⁻¹ s.s	16	16.7
C/N	-	16.2	16.5
Anidride fosforica (P ₂ O ₅) tot.	g kg ⁻¹ s.s	22	16.1
Potassio totale (come K)	g kg ⁻¹ s.s	2.3	13.1
Cadmio totale	mg kg ⁻¹ s.s	1.1	0.6
Nichel totale	mg kg ⁻¹ s.s	60.5	58.4
Rame totale	mg kg ⁻¹ s.s	52.3	81.4
Cromo totale	mg kg ⁻¹ s.s	77.3	65
Cromo esavalente	mg kg ⁻¹ s.s	<0.4	<0.4
Mercurio totale	mg kg ⁻¹ s.s	<0.5	<0.5
Piombo totale	mg kg ⁻¹ s.s	28.7	40.9
Zinco totale	mg kg ⁻¹ s.s	217.6	129.7

Tabella 2. Risultati delle prove dimostrative di applicazione di compost, anni 2005 e 2006.**Table 2.** Results of the applications of compost, years 2005 and 2006

Tesi	B	P	B - P	H	R	C	P medio
T (2005)	49,84	36,00	13,84	202,6	14,4	610,56	371,7
C1 (2005)	54,83	37,33	17,50	204,2	15,1	608,53	346,7
C2 (2005)	52,95	34,05	18,90	205,5	15,2	655,76	330,0
T (2006)	48,90	35,20	13,70	227,5	16,4	724,88	358,3
C1 (2006)	53,50	37,00	16,00	237,5	15,9	683,70	353,7
C2 (2006)	52,60	33,90	18,70	231,5	15,7	763,02	333,9

B: produzione media biomassa totale (kg parcella-1); P: produzione media pannocchie (kg parcella-1); H: altezza media piante (m); R: media ranghi pannocchia-1; C: media cariossidi pannocchia-1; P medio: peso mille cariossidi (gr).

**Figura 1.** Schema delle parcelle sperimentali. C1: 2 kg di compost m⁻²; C2: 4 kg di compost m⁻²; T: 0 kg di compost m⁻².**Figure 1.** Experimental plots scheme. C1: 2 kg of compost m⁻²; C2: 4 kg of compost m⁻²; T: 0 kg of compost m⁻²

La tesi C1 ha presentato le produzioni maggiori di pannocchie e di biomassa complessiva in entrambe le annate di dimostrazione, mentre la tesi C2, negli stessi periodi, ha mostrato le produzioni più alte di soli stocchi di mais (B-P). Questa evidenza potrebbe essere il risultato di una eccessiva disponibilità di nutrienti nelle parcelle C2 che ha avuto come effetto una leggera diminuzione della produzione di pannocchie a vantaggio della fase vegetativa.

La tesi non ammendata (T) ha mostrato il più alto peso medio della granella e questo, in rapporto alle più basse produzioni ottenute ed al numero medio di cariossidi per pannocchia, lascia presupporre una più bassa densità di pannocchie per parcella. D'altro canto, la tesi C2 ha presentato il peso dei mille semi più basso e il più alto numero di cariossidi per pannocchia che denotano una produzione di cariossidi in generale più piccole e leggere, a conferma di un relativo maggior sviluppo vegetativo piuttosto che riproduttivo. Infine, la tesi C1 ha mostrato un peso dei mille semi intermedio ed un numero di cariossidi per

pannocchia più basso che, unitamente alle più alte produzioni di pannocchie, lasciano intendere un più equilibrato rapporto tra numero di cariossidi e loro peso e una densità di pannocchie per parcella più elevata.

Conclusioni

Il progetto PAB Interreg III A Italia – Albania ha fornito la possibilità di dimostrare che il compostaggio è un processo fattibile nell'ambito dell'agricoltura albanese.

Maggiori sforzi, soprattutto in termini di formazione degli operatori, devono essere fatti per migliorare la qualità dei materiali parentali, al fine di ridurre sensibilmente il contenuto degli inerti soprattutto nei letami, particolarmente abbondanti nel contesto agricolo albanese.

Relativamente alla qualità dei compost, i parametri analizzati rientravano sì nei limiti della legislazione italiana ma, con riferimento al contenuto di alcuni metalli, non nei limiti imposti dalla normativa vigente

in agricoltura biologica (Reg. CEE 2092/91). Questo significa che, nonostante i materiali di partenza siano di origine prevalentemente agricola, può risultare particolarmente difficile rispettare i suddetti limiti comunitari a meno di ulteriori prove di compostaggio, o che tali limiti siano, in realtà, troppo restrittivi.

Le prove dimostrative di campo hanno confermato la bontà dell'utilizzo di compost nella fertilizzazione del mais e la tesi migliore tra quelle utilizzate è risultata la C1 (20 t di compost ha⁻¹).

La stretta collaborazione tra il personale italo-albanese coinvolto nella dimostrazione e i numerosi incontri formativi presso le sedi delle Istituzioni albanesi interessate dal progetto hanno permesso di rispondere anche all'attività di formazione ed aggior-

namento dei tecnici pubblici e privati coinvolti, come previsto dal progetto PAB.

Bibliografia

Regolamento (CEE) n. 2092/91 del Consiglio delle Comunità Europee, del 24 giugno 1991, relativo al metodo di produzione biologico di prodotti agricoli e alla indicazione di tale metodo sui prodotti agricoli e sulle derrate alimentari

Trincherà A., Leita L. e Sequi P. (2006). Metodi di Analisi per i Fertilizzanti. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante per conto del Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, Roma, Italy, 384 pp.

Il compost dalla frazione organica dei rifiuti urbani: il caso Egitto

Carlo Noto La Diega ¹ e Federico Valentini ²

¹ IES Co. - International Environment Services - 48 El Giza Street -
El Orman Tower – Dokki - Cairo – Egypt, e-mail: ladiega@gesenu.it
² GESENU SpA – Str. della Molinella, 7 – 06125 Perugia - Italy

Riassunto

La IES Co. - International Environment Services, una società di diritto egiziano partecipata dalla italiana GESENU SpA, gestisce dal 2003 l'impianto di selezione e compostaggio dei rifiuti solidi urbani della città di Giza, Egitto, che tratta quotidianamente circa 240 ton di rifiuti solidi urbani indifferenziati e rifiuti organici selezionati provenienti da attività commerciali e mercati ortofrutticoli. La gestione dell'impianto rientra nelle attività che la IES svolge per una popolazione di circa 1.300.000 abitanti (Giza Nord comprendente i distretti di Embaba, Dokki, Agouza) che comprendono anche la raccolta, trasporto e smaltimento dei rifiuti solidi urbani domestici, industriali e ospedalieri, lo spazzamento e lavaggio delle strade, vie, piazze e servizi connessi, la costruzione e gestione di una discarica controllata e la costruzione e la gestione di un impianto di incenerimento per i rifiuti ospedalieri. L'impianto di compostaggio è articolato in due linee di processo di dimensioni simili ed è caratterizzato da un lay-out impiantistico relativamente semplice che comprende una sezione di separazione manuale dei rifiuti non compostabili che si è dimostrato adeguato al contesto locale in termini di offerta e costo della manodopera. La composizione merceologica del rifiuto in ingresso è caratterizzata da una elevata percentuale di frazione organica compostabile e questo permette, nonostante la semplicità dell'apparato impiantistico l'ottenimento di un compost di elevata qualità merceologica ed agronomica. Il compost prodotto in due granulometrie differenti trova una completa allocazione nel mercato agricolo locale come ammendante ideale per il ripristino della fertilità in terreni sabbiosi e come fertilizzante organico in coltivazioni ortive di pieno campo e protette. La relazione illustra lo schema impiantistico, i criteri gestionali, le caratteristiche analitiche e gli impieghi del compost prodotto.

Parole chiave: Compostaggio, compost, rifiuti solidi urbani, frazione organica, Egitto

Abstract

IES Co. - International Environment Services, it is an Egyptian company, participated by the Italian GESENU SpA, that operate, from 2003, the unsorted Municipal Solid Waste (MSW) and separately collected organic wastes selection and composting plant. The plant management is one of the activities that IES run for a population of about 1.300.000 inhabitants (North Giza, including Embaba, Dokki, Agouza districts) together with collection, transportation and disposal of household MSW, industrial and hospital wastes, street sweeping and washing, building and management of a controlled sanitary landfill and of a hospital wastes incineration plant. The composting plant is made of two process lines of similar capacity and has a relatively simple technological lay-out, that includes a manual sorting section for the non-compostable wastes, that showed to be well suitable for the local context in terms of manpower cost and availability. Compositional analysis of the incoming waste shows a high percent of compostable organic fractions; this allows the production of a high quality final compost notwithstanding the simple plant lay-out. The compost is produced in two different size classes (fine and coarse) and is completely allocated in the local agricultural market as ideal amendment to restore sand soils fertility and as organic fertilizer in vegetable crops.

Key words: Composting, compost, municipal solid wastes, organic fraction, Egypt

Introduzione

In conseguenza della regimazione delle acque del Nilo attuata con la diga di Aswan la fertilità dei terreni agricoli posti a valle si è progressivamente ridotta per il mancato apporto di nutrienti che veniva garantito in passato dalle inondazioni periodiche. L'avanzata del deserto pone problemi molto seri

all'economia agricola egiziana, tradizionalmente una delle più ricche del Nord Africa. Il compostaggio dei rifiuti organici di derivazione urbana con conseguente produzione di un fertilizzante organico di elevata qualità agronomica ed ambientale è considerato uno dei possibili rimedi al degrado della fertilità dei suoli (EEAA & USAID, 2003).

Nello stesso tempo le Autorità Egiziane hanno da alcuni anni messo in atto una strategia (Ministry of State for Environmental Affairs, 2005) volta all'ammodernamento del sistema nazionale di gestione dei rifiuti solidi urbani anche tramite il coinvolgimento del settore privato limitando il ruolo delle autorità pubbliche al controllo e al monitoraggio del settore.

In questo quadro Il Governatorato di Giza, l'area metropolitana a sud del Cairo, ha bandito nel 2003 una gara internazionale per la gestione di un impianto di selezione e compostaggio che tratta quotidianamente circa 240 ton di rifiuti solidi urbani indifferenziati e rifiuti organici selezionati provenienti da attività commerciali e mercati ortofrutticoli. I servizi messi a gara comprendevano inoltre la raccolta, trasporto e smaltimento dei rifiuti solidi urbani domestici, industriali e ospedalieri, lo spazzamento e lavaggio delle strade, vie, piazze e servizi connessi, la costruzione e gestione di una discarica controllata e la costruzione e la gestione di un impianto di incenerimento per i rifiuti ospedalieri. La popolazione complessivamente servita è pari a circa 1.300.000 abitanti (Giza Nord comprendente i distretti di Embaba, Dokki, Agouza).

La IES Co. - International Environment Services, una società di diritto egiziano partecipata dalla italiana GESENU SpA, aggiudicataria della gara, gestisce quindi dal 2003 l'impianto di compostaggio di Abun Rwash oltre ai servizi sopra descritti.

L'impianto di Abun Rwash

L'impianto di compostaggio di Abun Rwash è in effetti costituito da due linee di trattamento gemelle ognuna delle quali con una potenzialità nominale di 120 tonn/giorno di rifiuto solido urbano in ingresso.

Le due linee erano state realizzate rispettivamente nel 1996 e nel 1999 con tecnologia danese DMT. Subentrando alla precedente gestione pubblica, la IES ha deciso di attuare una razionalizzazione del lay-out impiantistico semplificando la gestione delle fasi di maturazione ma senza stravolgere sostanzialmente l'originaria configurazione. Si è invece operata una decisiva ristrutturazione dell'assetto gestionale secondo i criteri di maggiore efficienza. Si è applicato inoltre un efficace regolamento interno codificato in Procedure Operative ed un rigido sistema di controllo degli accessi per limitare i rischi di natura igienico sanitaria derivanti dalla presenza di personale estraneo. Contemporaneamente è stato varato un piano di ammodernamento e potenziamento dei macchinari, che permettesse l'effettivo raggiungimento della potenzialità nominale, e un piano di manutenzione programmata per ridurre al minimo le diseconomie derivanti dai frequenti fermo-impianto.

Il Lay-out impiantistico, descritto nella Fig.1, comprende:

- una tramoggia di carico dalla quale il materiale mediante pala meccanica e nastro gommato è

inviato alla cernita;

- una fase di cernita manuale nella quale gli addetti intercettano i materiali non compostabili ed eventualmente avviati al recupero (plastiche, vetri, metalli) (fig. 2);
- una fase di pretrattamento biologico accelerato in cilindro ruotante con aria controcorrente (tipo DANO) che permette l'igienizzazione del materiale e la riduzione dimensionale della frazione organica che permette poi la successiva raffinazione (fig. 3);
- una fase di raffinazione dimensionale a 20 mm in cui il sopravaglio costituisce materiale di scarto da smaltire in discarica e il sottovaglio costituisce il compost immaturo;
- una fase di maturazione in cumuli longitudinali a sezione trapezoidale rivoltati periodicamente con macchina rivoltatrice semovente (fig. 4) (fig. 5).

Qualità del rifiuto e del compost

Il rifiuto solido urbano proveniente dalla città contiene una elevata percentuale di frazioni organiche compostabili (Tab. 1). Inoltre, la IES ha iniziato e sta potenziando, tra gli altri, un servizio di raccolta differenziata dei rifiuti organici presso le utenze speciali quali ortomercati, ristoranti, ecc. i cui rifiuti sono conferiti all'impianto di compostaggio.

Questo, insieme all'accuratezza raggiunta con la selezione manuale e ai trattamenti fisico meccanici, permette di ottenere una purezza merceologica del materiale finito di ottimo livello (Tab. 2).

Impieghi del compost e valore commerciale

Il compost prodotto viene commercializzato in due granulometrie diverse: "grossolano", avente cioè dimensioni massime < 20 mm, e "fine" con dimensioni massime < 10 mm.

Il compost grossolano è utilizzato prevalentemente in interventi nei quali è necessario ripristinare la fertilità del terreno con dosi elevate di sostanza organica in un'unica somministrazione per poterlo riconquistare all'uso agricolo; questa situazione si verifica frequentemente a causa del fenomeno citato nell'introduzione e relativo alla regimazione delle acque del Nilo e al conseguente avanzamento del deserto. Un altro impiego tipico del compost grossolano è all'impianto di coltivazioni arboree da frutto.

Il compost fine è utilizzato invece nella pratica agricola ordinaria con impieghi a dosi inferiori ma somministrazioni ripetute ogni anno. Le principali colture per le quali il compost è utilizzato e le dosi raccomandate sono elencate nelle Tabelle 3a e 3b.

Tutto il compost prodotto è agevolmente collocato nel mercato locale e il valore di mercato, che varia in funzione della stagione e della granulometria è riportato in tabella 4.

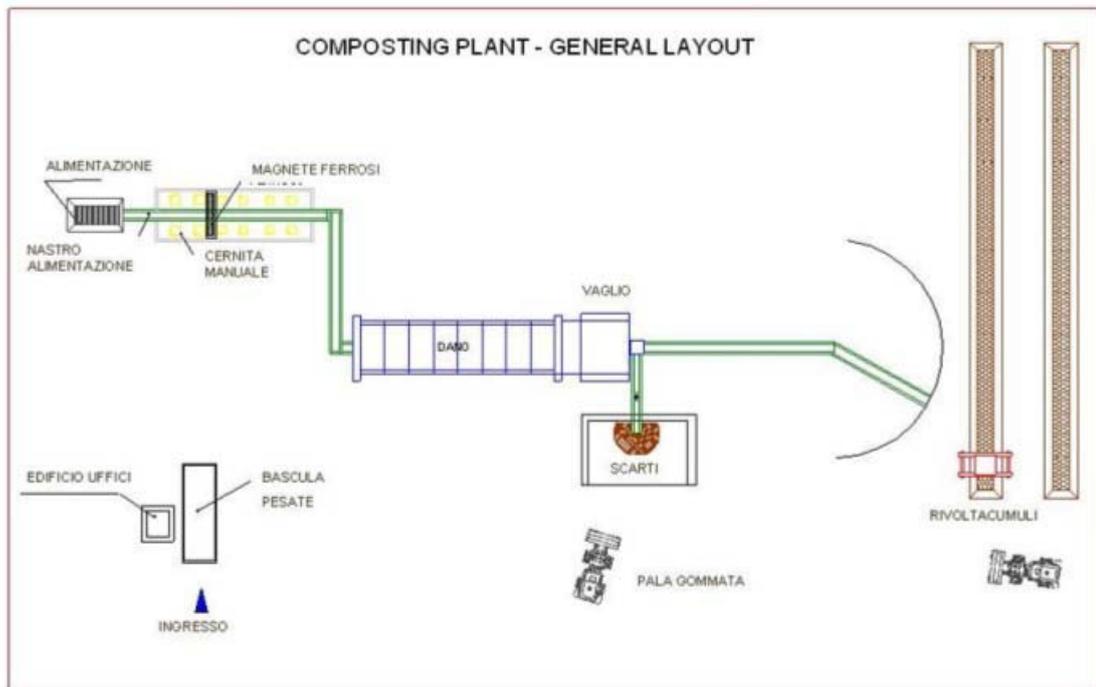


Figura 1. Lay-out dell'impianto di compostaggio

Figure 1. Composting plant general lay-out



Figura 2. La selezione manuale dei materiali recuperabili

Figure 2. Manual selection of recoverable materials

Figura 3. Pretrattamento biologico accelerato.

Figure 3. Accelerated biological pre-treatment





Figura 4. Cumulo di compost in maturazione

Figure 4. Compost curino pile

Figura 5. Rivoltatrice per la fase maturazione

Figure 5. Curing phase turning machine



Tabella 1. Analisi merceologica dei Rifiuti Solidi Urbani.

Table 1. MSW compositional analysis

Componente	%
Scarti organici alimentari	49
Carta	27
Plastiche	5,3
Tessuti	2,1
Ossa	0,5
Metalli	1,7
Vetro	2,2
Rifiuti pericolosi	0,2
Altri materiali	12
Totale	100

Tabella 2. Caratteristiche analitiche del compost.

Table 2. Compost analysis

Parametro	UdM	Valore	Limiti di legge (DM 100/67)
Densità apparente	kg	545	>750
Umidità	%	14,8	<30%
pH (1:10)		6,75	
EC (1:10)	dS/m	5,15	
Azoto ammoniacale	ppm	514	
Azoto nitrico	ppm	125	
Azoto totale	%	1,4	
Sostanza organica	%	42	>18%
Carbonio organico	%	33	
Ceneri	%	58	
Rapporto C:N		23,6	17-25
Fosforo	%	0,319	
Potassio	%	0,44	

Campionamento del 24 luglio 2006 - Analisi a cura dell'Agricultural Research Center

Tabella 3a. Dosi di impiego raccomandate. Colture orticole

Table 3a. Recommended usage doses. Horticultural crops

Crop	Recommended rate (t/feddan*)	
	New lands	Old lands
Field		
Potatoes, Pepper, Tomatoes, Artichoke	10.12	8.10
Onion, Garlic	8.10	6.08
Strawberry, Cucumber, Watermelon, Zucchini	6.08	4.06
Peas	8.10	6.08
Greenhouse		
Cucumber	4.05	3.04
Green Beans	3.04	2.03
Tomatoes, Pepper	4.06	4.05

Crop	Recommended rate (t/feddan*)		
	Less than 3 years	4:7 years	Above 7 years
Olive, Guava, Plums	10.15	15.40	40:60
Apple, Grenadine	10.15	15.20	20.30
Fig	15.20	20.40	40:80
Mango	5.10	10.20	20.30

* 1 feddan = 0,42 ha

Tabella 4. Prezzi di vendita del compost (€/t)

Table 4. Compost selling prices (€/t)

	Alta stagione	Bassa stagione
Compost fine	14	7
Compost grossolano	8	3

Conclusioni

La corretta gestione dei rifiuti organici urbani può costituire una risorsa importante per i sistemi agricoli permettendo di recuperare importanti quantità di sostanza organica sotto forma di fertilizzanti compostati di elevata qualità agronomica ed ambientale. Questo è ancora più vero in contesti quali quello Egiziano dove il clima naturale e l'azione dell'uomo sul suolo e sui corsi d'acqua porta spesso al verificarsi di fenomeni di degrado e depauperamento della fertilità naturale. L'esperienza della IES Co. - International Environment Services, una società mista Italo-Egiziana nella gestione dell'impianto di compostaggio di Abun Rwash,

Giza, ha mostrato che tale gestione può essere efficace sia dal punto di vista ambientale che economico e può costituire un elemento di innovazione tecnologica e culturale per il tessuto sociale locale.

Bibliografia

Egyptian Environmental Affairs Agency (EEAA) and United States Agency for International Development (USAID), 2003. Evaluation of composting facilities in Egypt.
 Egyptian Ministry of State for Environmental Affairs, 2005. Egypt State of the Environment Report 2005. <http://www.eaaa.gov.eg/English/main/about.asp>

La stabilità biologica del compost: indice di respirazione come parametro di processo

F. Adani^{1,2}

1 Dipartimento di Produzione Vegetale – Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano.

2 Comitato Scientifico Centro Ricerche Nazionale Biomasse, via S. Lucia, 20, 80132 Napoli.

fabrizio.adani@unimi.it.

Riassunto

La misura della stabilità biologica ha assunto ormai importanza fondamentale nella gestione dei processi biologici alla base della trasformazione dei rifiuti a matrice organica e per la qualificazione dei prodotti ottenuti, divenendo ormai strumento di controllo ma, soprattutto, indispensabile mezzo per la corretta gestione del processo. Il grado di stabilità biologica da informazioni sulla biomassa circa: la qualità dei prodotti ottenuti, il grado di autoriscaldamento (self-heating), la potenzialità a produrre odori, biogas e lisciviati inquinanti, la fitotossicità potenziale, la presenza di patogeni, la sua predisposizione ad esserne re-invasa da patogeni e le proprietà patogeno repressive dei substrati.

Per stabilità biologica dobbiamo intendere la misura del grado di decomposizione della sostanza organica facilmente degradabile contenuta in una matrice organica. Un metodo atto a tale misura deve essere in grado di esplicitare il grado di decomposizione della sostanza organica su una riconosciuta scala di valori. In tal senso, i metodi respirometrici sono ormai universalmente accettati ed affidabili. E' per tale motivo che sempre più si fa riferimento, anche in termini legislativi, al parametro "stabilità biologica", ed in particolare all'Indice di Respirazione Dinamico, per la definizione della qualità di matrici organiche ottenute d

La stretta corrispondenza tra misura delle stabilità biologica in condizioni ottimali e processo biologico è alla base della efficacia dell'utilizzo di metodi respirometrici ed in particolare della respirometria dinamica.

Parole chiave: compost; indice respirometrico dinamico; stabilità biologica; processo di compostaggio

Abstract

Composting is used in solid waste management in order to convert organic waste into agriculturally useful products, i.e., compost. Compost can be defined as a stable, mature and humified material. Terms such as stability, maturity and humification are well known in composting science and have been defined by the author in the past.

Biological stability indicates the extent to which readily biodegradable organic matter has decomposed. The importance of knowledge concerning the degree of biological stability of a compost is recognised because it affects the potential for odor generation, biomass re-heating, residual biogas production, re-growth of pathogens, phytotoxicity, plant disease suppression ability, and process parameters such as airflow rate and retention time.

From the many methods that have been proposed in the past, the respirometric test is recognized as being the best method to measure biological stability.

Adani *et al.*, (2001) proposed a new respirometric test to assess biological stability, i.e., the Dynamic Respiration Index. This method was proposed because of its advantages compared to others which are: i) the presence of continuous airflow rate during measurement (i.e., dynamic condition) does not limit oxygen transfer through the biomass layer and into the bacterial cell; ii) the ability to work on large masses (up to 13 kg) allows the use of full-scale particle size (up to 50 mm), therefore safeguarding the representativeness of the samples and avoiding the very complicated biomass size reduction or biomass sieving, as is particularly the case for wet samples; and iii) the dynamic condition adopted together with an optimal and standardized O₂ concentration in the biomass free air space allows measurement of the airflow rate required to degrade waste under optimal conditions.

Key words: Compost; respirometric index; biological stability; composting process.

Introduzione

La misura della stabilità biologica ha assunto ormai importanza fondamentale nella gestione dei processi biologici alla base della trasformazione dei rifiuti a matrice organica e per la qualificazione dei prodotti ottenuti, divenendo ormai strumento di controllo ma, soprattutto, indispensabile mezzo per la corretta gestione del processo. Il grado di stabilità biologica da informazioni sulla biomassa circa: il grado di autoriscaldamento (self-heating), la potenzialità a produrre odori, biogas e lisciviati inquinanti, la fitotossicità potenziale, la presenza di patogeni, la sua predisposizione ad esserne re-invasa da patogeni e le proprietà patogeno repressive dei substrati.

Per stabilità biologica dobbiamo intendere la

misura del grado di decomposizione della sostanza organica facilmente degradabile contenuta in una matrice organica (Lasaridi and Stentiford, 1996). Un metodo atto a tale misura deve essere in grado di esplicitare il grado di decomposizione della sostanza organica su una riconosciuta scala di valori (Lasaridi and Stentiford, 1996). In tal senso, i metodi respirometrici sono ormai universalmente accettati ed affidabili (The U.S. Composting Council, 1997; ASTM, 1996; Regione Lombardia, 2003; UNI, 2006). E' per tale motivo che sempre più si fa riferimento, anche in termini legislativi, al parametro "stabilità biologica" ed in particolare all'Indice di Respirazione Dinamico, per la definizione della qualità di matrici organiche ottenute dai processi di biotrasformazione (Tabella 1).

Tabella 1. Testi normativi relativi ai processi di compostaggio/biostabilizzazione ed alla messa in discarica dei rifiuti urbani residui che contemplano l'uso dell'IRD (Ubbiali e Adani, 2006, aggiornata).

Table 1. National and international rules reporting the use of the DRI

Ente	Documento
Unione Europea	Biological Treatment of biowaste 2nd draft DG ENV.A.2/LM/biowaste/2nd draft
Regione Lombardia	Linee guida alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost BURL - I supplemento straordinario 13 Maggio 2003
Regione Sicilia	Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio GURS I parte Supplemento Ordinario N°27 14 Giugno 2002
Regione Basilicata	Linee Guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio e di stabilizzazione BURB I Parte N° 32 08 Maggio 2002
Regione Puglia	Decreto del Commissario delegato emergenza ambientale 30.09.2002, n. 296. Decreto Commissariale 63.2001, n. 41 Piano di gestione dei Rifiuti e di bonifica delle Aree inquinate. Completamento, integrazione e modificazione. - BUR Puglia n. 135 del 23.10.2002
Regione Veneto	Norme tecniche ed indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti urbani ed altre matrici organiche mediante compostaggio, biostabilizzazione e digestione anaerobica. Osservatorio regionale per il compostaggio modifiche alla direttiva tecnica regionale n. 766 del 10.03 2000 Bozza del 10.06.2004
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Provincie Autonome	Documento interregionale per la predisposizione entro il 24 Marzo 2004 del programma di riduzione dei rifiuti biodegradabili da smaltire in discarica ai sensi dell'art. 5 del D. lgs N°36/03
Regione Lombardia	Integrazione della d.g.r. N° 16983 del 31 Marzo 2004: Programma regionale per la riduzione del rifiuto urbano biodegradabile da collocare in discarica. II Supplemento Straordinario 4 Giugno 2004
Regione Puglia	Piano di riduzione del conferimento in discarica dei rifiuti urbani biodegradabili in Puglia ex. Art. 5 D. lgs N° 36/2003. Integrazione e pianificazione regionale. BURP N° 43 - 08 Aprile 2004
Regione Campania	Criteri e linee guida per l'utilizzo della frazione organica stabilizzata Comitato tecnico ex Ordinanza Commissariale N° 058/2002
Regione Sardegna	Programma della Regione Sardegna per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica- integrazione del piano regionale di gestione dei rifiuti- art. 5 comma 1 D. Lgs. 36/03.
Regione Basilicata	Programma di riduzione dei rifiuti da smaltire in discarica
UNI	Determinazione della Stabilità Biologica di Rifiuti e Compost mediante l'Indice di Respirazione Dinamico (Metodo Di.Pro.Ve.) UNI/ST 11182
prEN prCEN/TS 15590	Solid recovered fuels: Determination of current rate of potential microbial self-heating using the real dynamic respiration index: CEN/TC 343 (approved)

Tabella 2. Coefficienti di variazione percentuale della riproducibilità e della ripetibilità per i parametri analizzati (N = 6 laboratori) (Adani e Scaglia, 2004).

Table 2. Variation coefficients of reproducibility and repetibility (Adani e Scaglia, 2004)

IRD (mg O ₂ kg SV ⁻¹ h ⁻¹)	Coefficiente di variazione della ripetibilità (%)	Coefficiente di variazione della riproducibilità (%)
IRD = 2409	11.77	30.13
IRD = 508	9.64	11.8
IRD = 2438	4.33	3.63

Recentemente è stato proposto un metodo respirometrico definito “dinamico” che raccoglie in sé alcuni pregi tali da renderlo affidabile, pratico ed in grado di descrivere i processi biologici aerobici allo stato solido (es. compostaggio, biostabilizzazione e bioessiccamento) (Adani *et al.*, 2004). La metodologia suggerita ha trovato ormai ampia applicazione e si contano circa 25 laboratori equipaggiati in tal senso, distribuiti sul territorio nazionale e non. Importanza maggiore assume il fatto che laboratori di chiara fama scientifica, quali l’ISS e l’ARPAV, siano stati tra i primi ad adottare tale nuova metodologia, accumulando nel corso di un biennio, conoscenze scientifiche, tecniche, nonché esperienza in termini di campioni analizzati. A ciò va aggiunto il sempre maggior interesse di altre nazioni (Regno Unito e Spagna) verso sistemi di misura della stabilità biologica analoghi a quello proposto in Italia, tanto da divenire parametri di riferimento legislativo.

IRD: le basi teoriche

Un biologico aerobico viene correttamente descritto per mezzo del consumo di ossigeno, identificando la seguente relazione semplificata:

$$OUR(t) = \sqrt{\frac{\beta_{eff}}{\beta_{eff} + e^{-\mu_{eff} \cdot t}}} \cdot OUR_{i\max} e^{-\zeta} + A_h \quad (1)$$

in cui

A_h: attività idrolitica semplificata;

β_{eff}: concentrazione adimensionale della biomassa iniziale effettiva;

μ_{eff}: massima rata di crescita microbica (h⁻¹);

OUR_{i,max}: massima domanda di ossigeno;

t: tempo

ζ: dimensione scalare della particella.

Essendo la misura dell’Indice di Respirazione Dinamico (IRD) una misura diretta del consumo di ossigeno di una biomassa in condizioni reali ed ottimali, la medesima equazione può essere utilizzata per descrivere l’andamento dell’IRD durante un processo

biologico, come meglio esemplificato nella figura 1. Ciò significa sostituire al parametro OUR nell’equazione 1, il parametro IRD (eq.2).

$$DRI(t) = \sqrt{\frac{\beta_{eff}}{\beta_{eff} + e^{-\mu_{eff} \cdot t}}} \cdot DRI_{i\max} e^{-\zeta} + A_h \quad (2)$$

Partendo da quanto sopra osservato, vedremo che la completa corrispondenza tra la misura dell’IRD e le basi chimico e biologiche dei processi di trasformazione biologica allo stato solido, consente di utilizzare l’IRD quale parametro di controllo di processo, ma anche, quale misura dei diversi impatti che l’utilizzo di una biomassa, sia essa compost, biostabilizzato o bioessiccato, inevitabilmente comporta. Infatti, tutti i potenziali impatti di una matrice organica: produzione di biogas, di lisciviati organici, di odori, di attrattività per animali, di autocombustione etc., sono frutto di attività biologiche la cui entità dipende dal contenuto in frazioni organiche prontamente disponibili, che può essere correttamente descritta dall’uso dell’IRD.

Nel prosieguo della presente relazione, dimostremo come l’IRD è in grado di descrivere e misurare ognuno degli impatti potenziali prima indicati, divenendo un potente mezzo per la loro misura.

L’IRD e riproducibilità del metodo: deviazione standard della ripetibilità (s_r) e riproducibilità (S_r)

La validazione di un metodo è definita come il processo secondo il quale la rilevanza e l’applicabilità di un metodo sono stabiliti. Una procedura standardizzata per la validazione di un metodo è stata proposta da organismi internazionali (ISO, 1994).

L’applicazione corretta di tali procedure consente di trarre un giudizio circa la metodologia analitica proposta. In tal senso, semplici ring-test, che non tengono conto di tali procedure e non sono condotte da organismi scientifici di riconosciuta capacità, non dovrebbero essere presi in considerazione se non allo scopo di assicurare che i laboratori che operano lo facciano cor-

rettamente. In tale ottica si può affermare che l'applicazione di un metodo passa attraverso 4 steps:

1. messa a punto del metodo e suo riconoscimento scientifico a livello internazionale (pubblicazione su riviste *peer review*);
2. validazione del metodo mediante procedure standardizzate (es. ISO, 1994);
3. riconoscimento del metodo da organismi di standardizzazione Nazionali e/o Internazionali;
4. divulgazione del metodo e training dei laboratori.

Il punto 1 è ormai da molti anni assodato tanto che oramai numerose sono le pubblicazioni, non solo dello scrivente, che trattano l'argomento in modo completo ed esaustivo. Il punto 2 è ad uno stadio avanzato di esecuzione e di questo si parlerà di seguito; circa il punto 3 sono ormai molti i riconoscimenti sia per mezzo di atti legislativi regionali sia di organi di standardizzazione nazionali (UNI/TS 11184) ed internazionali (prCEN/TS 15590) (Tabella 1). Circa il punto 4, sono più di 40 gli strumenti presenti in diversi laboratori d'Italia e d'Europa. Meno si sa circa l'effettiva capacità degli stessi laboratori di condurre l'analisi in modo corretto: è su tale punto che bisognerebbe insistere, indirizzando risorse, soprattutto da parte degli organi deputati al controllo e delle associazioni di produttori. In tale ottica, e con riferimento all'IRD, bisognerebbe preoccuparsi non tanto della validità del metodo, ormai assodata, ma della capacità dei laboratori di fornire dati affidabili.

Il metodo di determinazione dell'IRD è divenuto oramai Specifica Tecnica UNI (UNI-TS 11184) e da circa due anni, il DiProVe, in collaborazione con altri laboratori, è promotore di un lavoro di validazione dell'IRD che si completerà entro il 2007 (Adani e Scaglia, 2004). La validazione è effettuata a norma ISO (ISO, 1994) ed i primi risultati sono riportati in Tabella 2.

In breve, la validazione di un metodo biologico consiste nella determinazione dei valori di ripetibilità e riproducibilità, identificabili come la massima differenza accettabile tra due misure eseguite consecutivamente da uno stesso laboratorio (ripetibilità, r) o da due differenti laboratori (riproducibilità, R). I parametri statistici da ricercare sono la misura della deviazione standard della ripetibilità (s_r)

$$s_r = \sqrt{s_r^2} \quad (1)$$

dove

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_i - 1) \cdot s_i^2}{\sum_{i=1}^p (n_i - 1)} \quad (2)$$

dove p è il numero di laboratori, n_i è il numero di prove sperimentali per ciascun laboratorio i , e s_i è la varianza calcolata per ciascun laboratorio i .

e della riproducibilità (s_R):

$$s_r = \sqrt{s_r^2} \quad (3)$$

dove

$$s_R^2 = s_L^2 + s_r^2 \quad (4)$$

in cui s_L^2 è la varianza tra laboratori (5) e s_r^2 (2) è la varianza della ripetibilità.

La varianza tra laboratori è uguale a

$$s_L^2 = \frac{s_d^2 - s_r^2}{n} \quad (5)$$

in cui

$$s_d^2 = \frac{1}{1-p} \left[\sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i)^2 - (\bar{y})^2 \sum_{i=1}^p n_i \right] \quad (6)$$

dove \bar{y} è il valore medio delle n_i prove sperimentali (y) fatte da ogni laboratorio i.e. \bar{y} è la loro grande media (7).

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p n_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^p (n_i - 1)} \quad (7)$$

I valori di r e R espressi come variazioni percentuali, sono molto contenuti soprattutto se si considera la natura biologica del metodo che, in genere, si contraddistingue per l'elevata variabilità.

Vi è da concludere, quindi, l'ottima affidabilità del metodo di misura dell'IRD.

In futuro, sarà importante operare una campagna per la corretta applicazione del metodo, così come avviene per qualsiasi nuova metodologia analitica proposta.

L'IRD nel controllo dei processi di biostabilizzazione e compostaggio in impianti di scala reale

I processi di trattamento dei rifiuti che ordinariamente sono condotti in impianti di biostabilizzazione e compostaggio necessitano di un frequente loro

monitoraggio per verificare l'eventuale presenza di problemi di processo.

Diverse possono però essere le cause del cattivo andamento del processo (Ubbiali e Adani, 2005):

- insufficiente portata d'aria, e quindi carenza di ossigeno con creazione di condizioni semi-anaerobiche;
- insufficiente manutenzione e pulizia delle condotte di insufflazione dell'aria;
- errata preparazione della miscela (l'eccessiva densità della biomassa può limitare anche notevolmente la - diffusione dell'aria e quindi dell'ossigeno);
- eccessiva altezza dei cumuli (l'innalzamento oltre certi limiti dell'altezza del cumulo porta al compattamento del materiale oltre che ad una eccessiva perdita di carico dell'insufflazione dell'aria);
- il non corretto umettamento della biomassa durante il trattamento (a livelli di umidità troppo bassi i processi degradativi rallentano o addirittura si bloccano).

La determinazione della stabilità biologica nei vari stadi di trattamento permette di monitorare l'andamento del processo e rilevare le problematiche eventualmente presenti, a carico del sistema di trattamento stesso. In particolare, la corretta quantità d'aria fornita alla biomassa oltre a garantire il corretto svolgimento delle degradazioni ossidative, consente di contenere al minimo le emissioni odorigene incremen-

tate dall'instaurarsi di condizioni semi-anaerobiche.

In questo contesto l'IRD, oltre ad essere ormai un parametro prescrittivo in sede di autorizzazione degli impianti di trattamento biologico dei rifiuti, è un valido aiuto per meglio gestire il processo di trattamento aerobico.

In genere, nel corso dei processi di bio-trasformazione condotti in condizioni ottimali, si osserva una diminuzione sostanziale della "fermentescibilità" dei rifiuti fino al raggiungimento di discreti gradi di stabilità biologica ($IRD < 1000 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$) già dopo la fase attiva del processo (15-30 giorni) (Tabella 3).

In condizioni sub-ottimali di gestione del processo tale risultato è difficilmente raggiungibile con conseguente danno economico (richiesta di trattamento supplementare) o, peggio, produzione di prodotti ad elevato impatto ambientale (Tabella 3).

Naturalmente, la cattiva gestione delle prime fasi del processo si riflette direttamente anche sulla fase di maturazione (Tabella 3). Infatti, se la biomassa alla fine della fase attiva non è correttamente e sufficientemente stabilizzata, la successiva fase di maturazione, tipicamente condotta in condizioni semplificate risulterà ancor più inefficace per il raggiungimento degli obiettivi posti (es. compost maturo). In questo contesto, il compost raffinato che ne deriverà, sarà verosimilmente poco stabile (elevati IRD), maleodorante e probabilmente fitotossico, con riflessi negativi anche sull'igiene pubblica (presenza di patogeni).

Tabella 3. IRD misurato in processi di bio-trasformazione (Ubbiali e Adani, 2005, riadattata).

Table 3. DRI measure for different biological processes

		pH	IRD ($\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
Matrice organica non trattata		$5.75 \pm 1.25^*$	3588 ± 1077
Processo condotto in condizioni ottimali	Dopo fase attiva (30 dd)	8.03 ± 0.43	1000 ± 211
	Dopo fase di curing (90 dd)	8.49 ± 0.22	446 ± 196
Processo condotto in condizioni non ottimali	Dopo fase attiva (30 dd)	6.66 ± 0.89	3134 ± 759
	Dopo fase di curing (90 dd)	6.45 ± 0.84	2983 ± 635

*Medie calcolate sulla base del monitoraggio di 23 processi

Tabella 4. Valori di potenziale self-heating (current rate of aerobic microbial activity) per un combustibile derivato dai rifiuti (da Adani e Scaglia, 2006; Working document CEN/TC 343 N. 146).

Table 4. Potential self-heating values expressed as DRI

RDRI $\text{mg O}_2 \text{ kg TS}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Current rate of aerobic microbial activity
< 500	very low
500 - 1000	low
1000 - 2000	moderately high
2000	high
> 3000	very high

Un controllo più attento dei parametri di processo, permette di gestire al meglio il processo di trattamento. A tal fine il corretto monitoraggio dell'IRD permette di capire se stiamo operando correttamente o meno.

Essendo l'IRD una misura dell'attività biologica ed essendo le reazioni biologiche aerobiche esotermiche, la caratteristica principale di un processo aerobico, è la produzione di calore. In tale ambito, la misura dell'IRD così come proposto dalla metodica UNI/TS 11184, offre l'opportunità di misurare un altro importante parametro strettamente correlato al processo biologico: la temperatura (Figura 2).

La conoscenza delle proprietà di self-heating (autoriscaldamento delle biomassa) di una biomassa trova applicazione soprattutto nella prevenzione dei fenomeni d'autocombustione dei rifiuti durante il loro stoccaggio o trasporto; infatti, l'attività biologica aerobica funge da innesco delle reazioni d'autocombustione come ben esemplificato in Figura 3.

In tale contesto, il metodo di determinazione dell'IRD è in fase di accoglimento quale metodo europeo per la misura del "potenziale self-heating" di rifiuti derivati da combustibili ((prCEN/TS 15590) (Tabella 4).

Un'altra applicazione dell'IRD, è la stima della portata d'aria potenziale per il corretto svolgimento di un processo aerobico, come esemplificato nella Figura 4.

La produzione di odori dipende dall'attività biologica. È evidente che maggiore è il contenuto di frazioni organiche prontamente degradabili maggiore potrà essere la produzione di odori. Essendo l'IRD una misura del contenuto di frazioni prontamente degradabili ecco che lo stesso parametro potrà essere utilizzato quale indice di produzione potenziale di odori. In tal senso è evidente che la produzione di odori sarà maggiore per biomasse caratterizzate da IRD superiori (bassa stabilità biologica) e viceversa. In tal senso, interessante appare la stretta relazione ottenuta tra l'IRD e la misura di odore per mezzo di Unità odorimetriche (OU). Interessante è notare che la relazione che lega i due parametri è di tipo esponenziale e che quindi il raggiungimento di valori elevati di stabilità biologica (bassi IRD) si traduce in una forte riduzione di presenza di odori (Figura 5). Nell'intervallo IRD 0-1000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹, due sono i valori d'IRD da considerare con maggior attenzione: 500 e 1000, ovvero i valori da sempre indicati quali indice di media ed elevata stabilità biologica. A tali valori corrispondono valori di OU pari a 300-400 e 1000 OU (Figura 6). Tali valori appaiono in linea con i limiti di unità odorimetriche ritenuti accettabili per gli impianti di trattamento biologico (300 OU per gli impianti di trattamento biologico in Italia e 500 OU per gli impianti tedeschi).

Il contenuto in microrganismi patogeni è un parametro estremamente importante nella valutazione

della qualità del prodotto dal punto di vista igienico sanitario per un sicuro utilizzo in agricoltura o per l'allocazione delle frazioni organiche stabilizzate in discarica. Con particolare riferimento alla qualità biologica del compost, l'integrazione della Legge 748/84 col DM 27/03/1998 (Modifica Allegato 1C) ha introdotto la determinazione, ed i relativi valori limite, del contenuto di microrganismi ritenuti potenzialmente patogeni o indicatori di contaminazione fecale: presenza/assenza di *Salmonella*, contenuto di *Streptococchi fecali* e di *Enterobacteriaceae* totali.

Circa la qualità dei biostabilizzati, purtroppo non esiste nulla quale riferimento, se non il vecchio DCI 27/07/84, il quale prevede l'assenza della salmonella.

Un recente studio (D'Imporzano e Adani, 2005) evidenzia come la gestione del processo di trattamento può influenzare direttamente il contenuto di *Enterobacteriaceae* nel compost maturo.

In condizioni non ottimali di processo, la stabilità biologica del rifiuto trattato viene meno e tale condizione si riflette anche sulla qualità del compost. In tale situazione, infatti, il compost presenta ancora una elevata attività biologica (elevati IRD), condizione tale, da consentire la ricolonizzazione ed in particolare la mancata riduzione del contenuto in *Enterobacteriaceae*, che nonostante i suoi limiti analitici, rimane sempre un parametro di legge.

Si osserva quindi che la stabilità biologica, e quindi la determinazione dell'indice di respirazione dinamico può aiutare a meglio comprendere il grado di qualità del compost, in quanto elevate stabilità biologiche sono correlabili direttamente ad un basso contenuto di *Enterobacteriaceae* (Figura 10).

Un compost o una FOS che presenta elevati valori di IRD (e.g. > 3000 mg O₂ kg SV⁻¹ h⁻¹) spesso è positivo al test della salmonella. Ciò è più evidente quando condizioni anaerobiche o semianaerobiche si instaurano durante il processo. Valori di IRD bassi, garantiscono, al contrario, l'assenza di salmonella.

A livello nazionale, la Legge 748/84 riporta i parametri di qualità ed i relativi limiti che il compost deve rispettare per essere commercializzato ed utilizzato in agricoltura. Questi parametri, definiscono la qualità del compost dal punto di vista dell'impatto sulla pianta, sul suolo sull'ambiente e sull'igiene pubblica. Tra questi parametri non è contemplata la stabilità biologica, cioè, non viene considerato nessun parametro in grado di descrivere lo stato di avanzamento del processo stesso. Per assurdo, le biomasse non compostate potrebbero, meglio delle compostate, rispettare i parametri di Legge.

Ad esempio, recenti studi (Tambone e Adani, 2004) dimostrano che la stabilità biologica è direttamente correlata con le principali caratteristiche chimiche del compost.

In particolare, i parametri Carbonio organico

(Corg), azoto organico (Norg), contenuto in acidi umici e fulvici e pH presentano una variazione direttamente correlabile con la stabilità biologica. Da dati in possesso, si evince che per valori di stabilità biologica bassa (processo mal condotto) si ottengono elevati contenuti di Carbonio e ancora, che per valori di stabilità biologica elevati si riscontrano, paradossal-

mente, bassi contenuti di acidi umici e fulvici.

Vi è da concludere, quindi, che la sola determinazione dei parametri di Legge non è garanzia di qualità del prodotto in quanto nulla ci dice circa il processo. A tal fine sarebbe bene che la legge 748/84 fosse integrata col parametro stabilità biologica, come, peraltro, ormai previsto in molte regioni italiane.

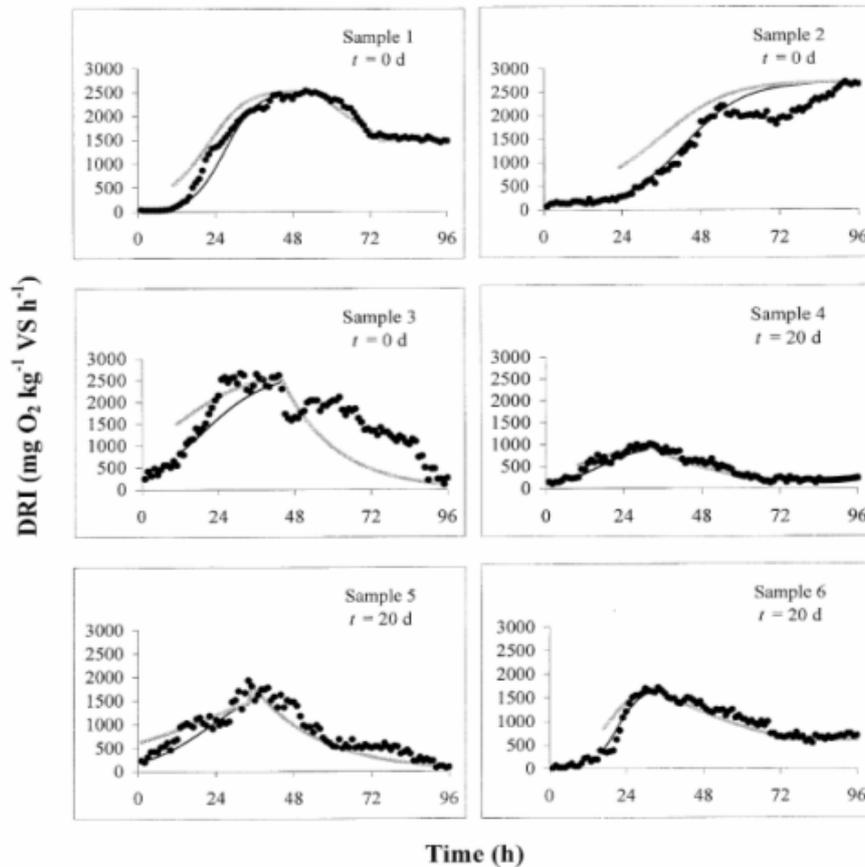


Figura 1. Andamento dell'IRD misurato e calcolato con l'equazione 1 per alcuni processi biologici (Adani et al., 2004)

Figure 1. DRI trend for different processes measured and calculated with the equation 1 (see text)

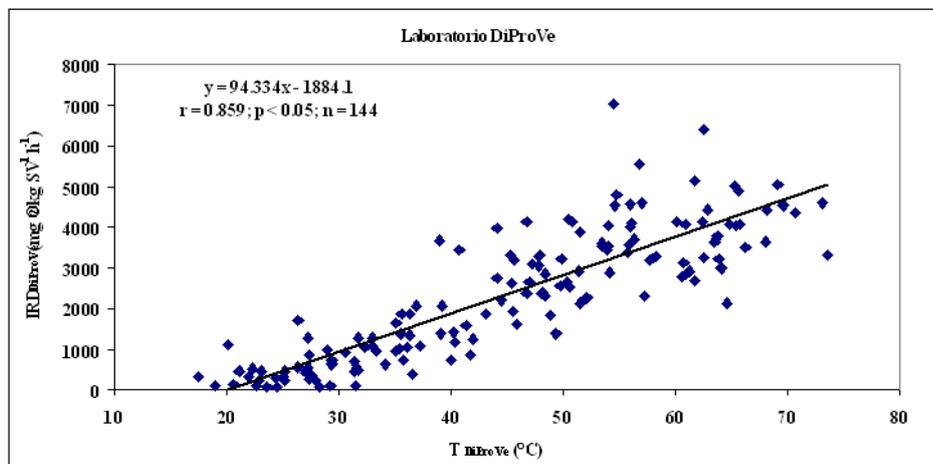


Figura 2. Correlazione Temperatura vs IRD ottenuta durante la misura dell'IRD

Figure 2. Temperature vs DRI correlation

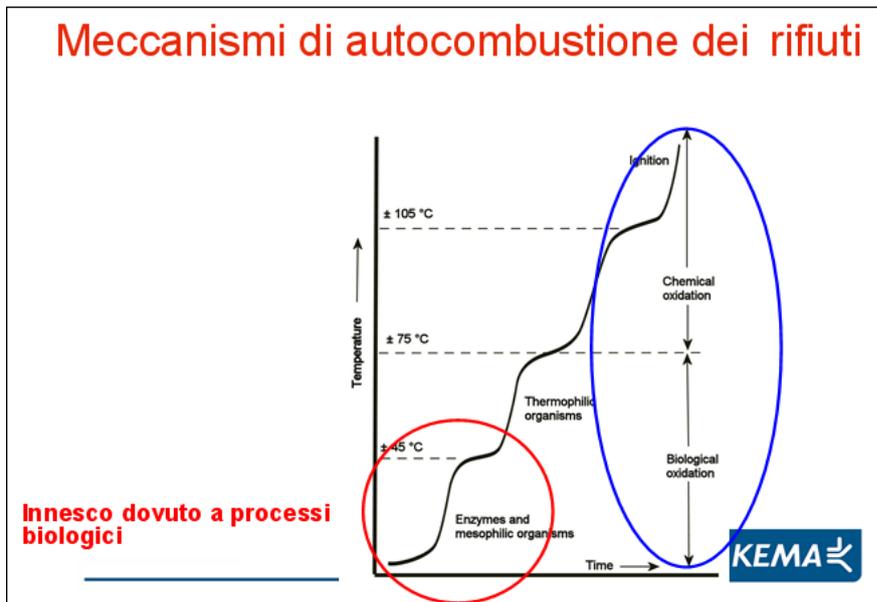


Figura 3. Contributo dei processi fisici, biologici e chimici ai fenomeni di self-heating di un rifiuto derivato da combustibili (da Kema, 2005, non pubblicato)

Figure 3. The contribution of physical, biological and chemical processes to the self-heating of waste (da Kema, 2005, non pubblicato)

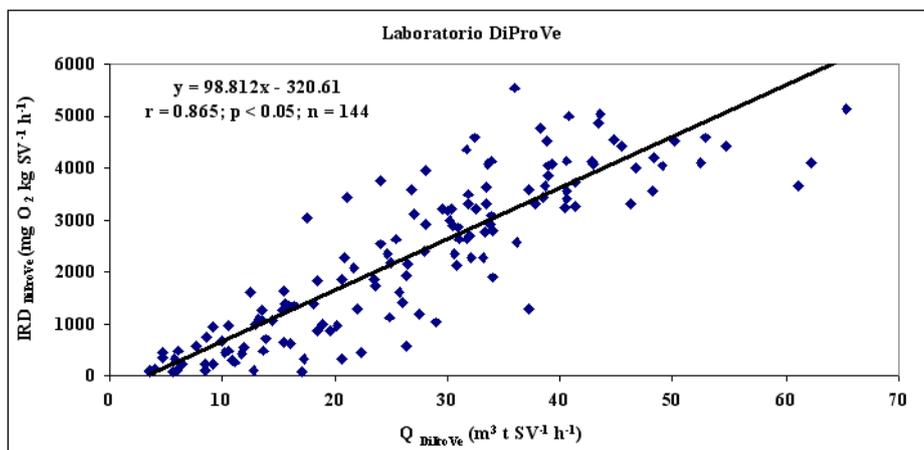


Figura 4. Correlazione Q (portate d'aria) vs IRD (Adani et al., 2004) durante la misura dell'IRD. La portata d'aria è tale da mantenere condizioni ottimali di ossigenazione nel free-air space della biomassa ($O_2 = 140 \text{ mL L}^{-1}$)

Figure 4. DRI vs airflow-rate correlation ($O_2 = 140 \text{ mL L}^{-1}$)

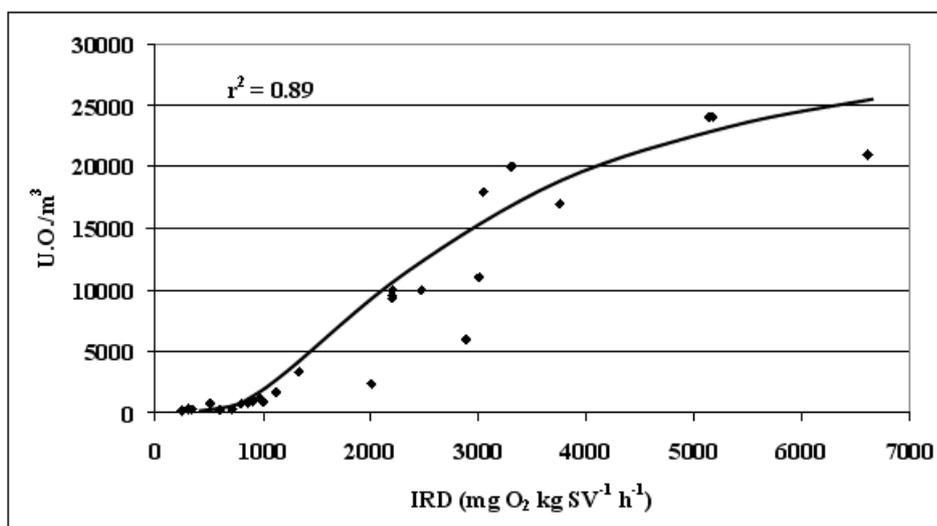


Figura 5. Correlazione tra IRD e U.O. (28 misure)

Figure 5. Correlation between DRI and U.O. (28 measures)

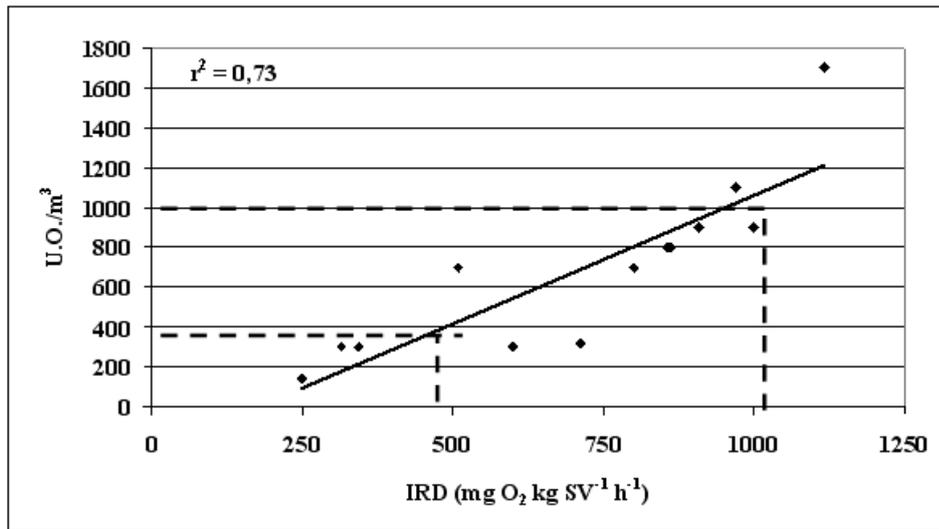


Figura 6. Correlazione tra IRD e U.O. (13 misure)

Figure 6. Correlation between DRI and U.O. (13 measures)

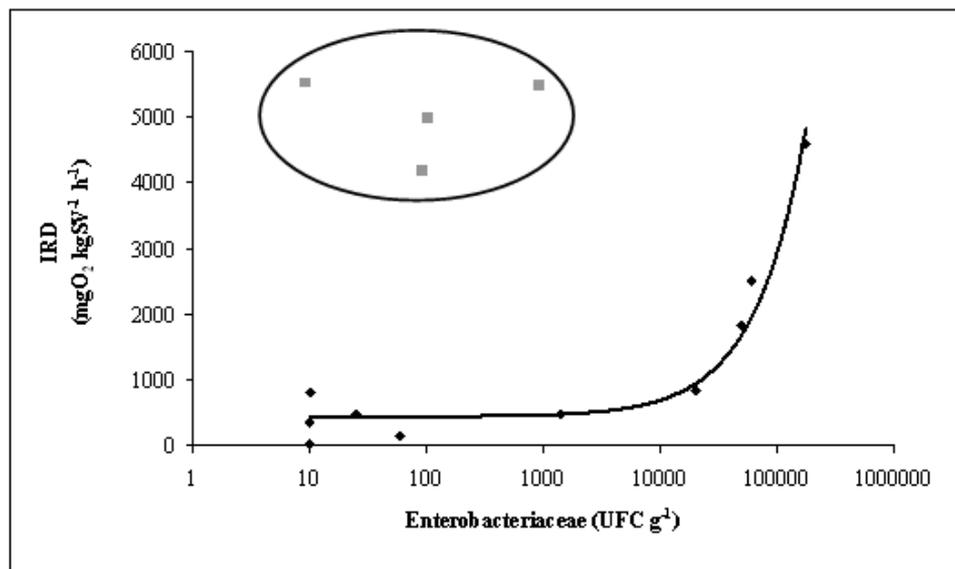


Figura 7. Correlazione tra i valori di IRD ($\text{mg O}_2 \text{ kgSV}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e i valori di Enterobacteriaceae totali (UFC/g) misurati sui compost (i dati cerchiati indicano compost con $\text{pH} < 5.5$)

Figure 7. Correlation between DRI ($\text{mg O}_2 \text{ kgVS}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and Enterobacteriaceae (CFU/g) for compost (values in the circle represent compost with $\text{pH} < 5.5$)

Bibliografia

- Adani e Scaglia (2004). IRD: gruppo di lavoro interlaboratorio. <http://users.unimi.it/~ricicla/ricicla.htm>.
- Adani F., Confalonieri R., Tambone, F. (2004). Dynamic respiration index as descriptor of the biological stability of organic wastes, *Journal Environmental Quality*, 33: 1866-1876.
- Adani F., Favoino F., Scaglia B. (2004). I processi di biostabilizzazione dei rifiuti urbani. In: *I processi aerobici per il trattamento dei rifiuti urbani* (Adani F. Ed.). *I processi aerobici allo stato solido*. Quaderni Ingegneria Ambientale, CIPA, Milano, 40: 47-64
- ASTM. 1996. Standard test method for determining the

stability of compost by measuring oxygen consumption. American Society for testing and materials, D 5975- 96.

PrEn 15590. Solid recovered fuels: Determination of current rate of potential microbial self-heating using the real dynamic respiration index: CEN/TC 343 (approved).

Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Provincie Autonome, (2003). Documento interregionale per la predisposizione entro il 24 Marzo 2004 del programma di riduzione dei rifiuti biodegradabili da smaltire in discarica ai sensi dell'art. 5 del D. lgs N°36/03.

D'Imporzano G., Adani F. (2005). Qualità del compost:

- influenza del grado di stabilità biologica sul contenuto di enterobatteriacee totali. *Rifiuti Solidi*, XIX (6): 371-373.
- ISO, 1994. ISO 5725-2, Accuracy (trueness and precision) of measurements methods and results, - Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, pp. 42.
- Lasaridi, K.E., and E.D. Stentiford. 1996. Respiriometric techniques in the context of compost stability assessment: Principles and practice In *The science of composting. Part 1*. M. de Bertoldi *et al.* ed., Blackie Academic & Professional, London), pp. 567-576.
- Regione Lombardia (2003). "Linee guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost". Revoca della D.G.R. 16 luglio 1999, n. 44263, BURL 1° supplemento straordinario al n. 20, 13 maggio 2003, 10.
- Tambone F., Adani F. (2003). Stabilità biologica, legge 748/84 e qualità dei compost. *Rifiuti solidi*, vol. XVII: n. 6: 1-5.
- The U.S. Composting Council, 1997. *Respirometry*. In: *Test methods for the examination of composting and compost* (Leege, P.B. and Thompson, W.H. eds., the Composting Council, USA) 9-165/9-194.
- Ubbiali C., e Adani F., 2005. la misura della stabilità biologica in impianti di trattamento per la produzione di compost e di biostabilizzato.. In: *La produzione di ammendante compostato in italia*. (M. Centemero ed, CIC, Bologna), pp. 113-136.
- UNI (2006). "Determinazione della Stabilità Biologica di Rifiuti e Compost mediante l'Indice di Respirazione Dinamico" (Metodo Di.Pro.Ve.), UNI/TS 11184.

L'evoluzione delle tecniche analitiche per la valutazione della qualità agronomica del compost

Claudio Ciavatta, Luciano Cavani, Paola Gioacchini, Camilla Giovannini,
Daniela Montecchio e Andrea Simoni

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Italy
Corresponding author: Claudio Ciavatta, viale Fanin n. 40, 40127 Bologna (Italy)
Tel. +39 051 2096201, Fax +39 051 2096203, e-mail: claudio.ciavatta@unibo.it

Riassunto

In Italia la produzione e la commercializzazione del “compost”, termine per definire le categorie merceologiche riconducibili all’“Ammendante compostato verde”, all’“Ammendante compostato misto”, all’“Ammendante torboso composto” e al “Vermicompost da letame” sono normati dal Decreto Legislativo n. 217 del 29 aprile 2006 (D.Lgs. 217/06).

La qualità agronomica di un “compost” è alla base del successo del suo impiego. I produttori in primis, così come gli utilizzatori e gli organi deputati al controllo devono possedere strumenti analitici in grado di verificarne la qualità, attraverso la determinazione di tutta una serie di parametri chimico-fisici e biologici.

I metodi di analisi per il controllo dei titoli e dei parametri di legge, ma non solo, hanno seguito una evoluzione per molti aspetti parallela. La determinazione di parametri agronomici dal pH, ai metalli importanti per la nutrizione, ovvero a quelli potenzialmente tossici, hanno beneficiato di una costante evoluzione delle tecniche analitiche tra le quali, ad esempio, di spettrometri di emissione al plasma ICP (inductively coupled plasma) sequenziali.

Certamente chi ha beneficiato maggiormente dell'evoluzione delle tecniche analitiche è stata la componente principale dei compost: la sostanza organica. La stabilità, molto utile per la valutazione di compost per la preparazione di substrati di coltura, può essere valutata impiegando l'analisi termica (TG e DTA). Lo studio chimico-strutturale del carbonio organico totale e di quello umico o umosimile in particolare è stato possibile grazie all'impiego di tecniche elettroforetiche (EF) e soprattutto spettroscopiche (FT-IR, ^1H - ^{13}C -NMR, ^{13}C CP-MAS). L'analizzatore elementare accoppiato alla massa isotopica (CHNS-O, IRMS) può consentire la misura della mineralizzazione lorda dell'azoto organico mediante la tecnica della diluizione isotopica del ^{15}N . L'analisi isotopica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) del compost potrebbe essere estremamente utile per la rintracciabilità e la tracciabilità delle matrici e del compost stesso sfruttando, ad esempio, l'arricchimento naturale isotopico derivante da residui di piante a ciclo C3 o C4.

Parole chiave: Ammendanti, Analisi termica, Cromatografia, Spettroscopia, ^{13}C , ^{15}N , Rapporto isotopico

Abstract

In Italy production and trading of “compost”, term to define the “Ammendante compostato verde, viz. Green compost”, the “Ammendante compostato misto, viz. Mixed compost”, the “Ammendante torboso composto, viz. Compost containing peat” and the “Vermicompost da letame, viz. Earthworm compost”, are settled by the Legislative Decree n. 217 of the 29 April 2006 (D.Lgs. 217/06).

The agronomic quality of compost is essential for its use. Producers and consumers, together with the official organs deputies to the control of compost, must possess good analytical methods to check the quality through the determination of chemical-physical and biological parameters.

The methods of analysis for the control of both compulsory and other parameters have followed a parallel evolution. The determination of agronomic parameters such as pH, electrical conductivity, nutrients and toxic heavy metals have benefited of a constant evolution of the analytical methods and simultaneously ICP (inductively coupled plasma) equipment is one of the main example.

Among the others, the characterisation of the organic matter (total organic carbon, humic and humic-like substances) has remarkably increased due to the application of new analytical techniques. The compost stability, one of the major problem in growing media, can be estimated employing thermal analysis (TG and DTA). The chemical-structural study of the organic matter and humic and humic-like substances can be carried out using the electrophoretic (EF) and mainly the spectroscopic techniques (FT-IR, ^1H - ^{13}C -NMR, ^{13}C CP-MAS). The coupled elemental analyzer and isotopic mass (CHNS-O, IRMS) can be applied in measurement of the “gross mineralization” of the organic nitrogen by means of the isotopic dilution technique of the ^{15}N . The isotopic analysis ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of compost samples could be extremely useful for the traciability of the matrices and the compost itself. This approach can take advantage, for

instance, by the natural enrichment of $\delta^{13}\text{C}$ deriving from residues deriving from plants with photosynthetic system C3 and C4.

Key words: Organic amendments, Thermal analysis, Chromatography, Spectroscopic analysis, ^{13}C , ^{15}N , Isotopic ratio

Introduzione

La produzione e la commercializzazione del “compost”, termine per definire le categorie merceologiche riconducibili a 1) “Ammendante compostato verde”; 2) “Ammendante compostato misto”; 3) “Ammendante torboso compostato” e 4) “Vermicompost da letame”, in Italia sono normate dal Decreto Legislativo n. 217 del 29 aprile 2006 (D.Lgs. 217/06). Si tratta di categorie merceologiche non comprese nel Regolamento Europeo 2003/2003 e quindi non ancora normate a livello comunitario.

La qualità agronomica di un “compost” è alla base del successo del suo impiego sia in pieno campo sia in ambiente controllato, con particolare riferimento all’ortoflorovivaismo. La possibilità di impiegare compost, anche solo parzialmente, in sostituzione alla torba nei substrati di coltura è di sicuro interesse, ma l’obiettivo potrà essere raggiunto solo garantendo compost di elevata qualità e di riconosciute caratteristiche fisico-chimiche e biologiche (Grigatti *et al.*, 2007d).

Il compost è per sua natura prodotto da una miscela eterogenea di materiali di diversa origine: da vegetale ad animale, da eccellenti sottoprodotti di origine agroindustriale a fanghi di depurazione di acque reflue civili. All’estrema eterogeneità delle materie prime vanno aggiunte le numerose combinazioni di miscele ottenibili e i processi di compostaggio ad esse applicabili che fanno aumentare enormemente la possibile casistica di compost ottenibili (Zmora-Nahum *et al.*, 2007).

Questa eterogeneità di certo non aiuta chi deve mettere a punto metodi di analisi idonei al controllo delle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche del compost per darne una sorta di “carta d’identità” (a tale riguardo si auspica che per il compost, e non solo, si fissino sempre più parametri che lo caratterizzino per quello che è e non per quello che non deve essere). I metodi analitici per la caratterizzazione non potranno che essere combinati. Dovranno essere utilizzate diverse tecniche analitiche, dalle più semplici e consolidate, alle più fini e innovative (Dell’Abate *et al.*, 2004; Francioso *et al.*, 2005; Zmora-Nahum *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2007).

I produttori in primis, così come gli utilizzatori e gli organi deputati al controllo devono possedere strumenti analitici in grado di verificarne le qualità, attraverso la determinazione di tutta una serie di parametri chimico-fisici e biologici. In questo senso la ricerca deve fare ancora molto, e sarà indispensabile una

stretta sinergia con i produttori, in particolare con coloro che si occupano di parametri di processo, per attendersi buoni risultati.

Qualità agronomica

La qualità agronomica di un “compost” non è assoluta, ma varia in relazione al suo impiego. Tuttavia si può ricondurre ai seguenti parametri principali (l’ordine non è indice di priorità):

- pH;
- Salinità (conducibilità elettrica);
- Peso specifico;
- Capacità di trattenere acqua (soprattutto in forma disponibile);
- Capacità di trattenere aria;
- Stabilità e maturità
- Contenuto in carbonio organico di origine biologica;
- Contenuto in sostanze umiche (laddove previsto);
- Contenuto in elementi nutritivi;
- Disponibilità degli elementi nutritivi (modalità di cessione), in particolare dell’azoto;
- Presenza di sostanze indesiderate (per es. metalli pesanti).

Ad esempio, nel settore ortoflorovivaistico, con particolare riferimento alla sostituzione anche solo parziale della torba, risultano molto importanti fattori come densità, salinità e pH. La scarsa costanza e la bassa uniformità a livello qualitativo e soprattutto l’insufficiente grado di maturità, spesso associato alla presenza di sostanze fitotossiche, oltre alle forti variazioni della porosità, sono altrettanto importanti.

I parametri di legge

Il D.Lgs. 217/06 prevede la determinazione di tutta una serie di parametri obbligatori e facoltativi, oltre a parametri di natura fisica, chimica e biologica di controllo (tabella 1).

Parametri che, tuttavia, non sono sufficienti a definire compiutamente le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche del compost, soprattutto per un corretto impiego in settori diversi dall’agricoltura convenzionale di pieno campo. In particolare vanno migliorate le metodologie e le tecniche analitiche per la determinazione della stabilità e della maturità del compost (contributi specifici anche nell’ambito di questo convegno da parte di Adani *et al.*, 2007 e Grigatti *et al.*, 2007a), la valutazione della mineralizzazione della sostanza organica, con particolare rife-

rimento all'azoto organico (Grigatti *et al.*, 2007c), le proprietà fotoinduttive (Amine-Khodja *et al.*, 2006) e soppressive (Termorshuizen *et al.*, 2006; Danon *et al.*, 2007; van der Gaag *et al.*, 2007) e da ultimo, non certo per importanza, la complessa valutazione delle caratteristiche chimico-strutturali della sostanza organica e delle sostanze umiche che tanta importanza hanno sulle proprietà agronomiche del compost (AA.VV., 1992).

Proprio con l'ottica di studiare le relazioni e le interazioni fra substrato-pianta e metodi analitici atti a predire fenomeni che potranno accadere all'atto della coltivazione è stato finanziato dal MiUR nel

2005 un progetto di ricerca PRIN (Progetto di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale - prot. 2005078931) su "Definizione di un data set per la valutazione delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche di substrati di crescita da matrici organiche non convenzionali" (Coord. Prof. P.L. Genevini), al quale hannopartecipato unità di ricerca delle Università di Bari (Prof. Loffredo), di Udine (Prof. De Nobili) e Bologna (Proff. Ciavatta-Giorgioni) su "Caratterizzazione chimico-strutturale della sostanza organica e valutazione bioagronomica di matrici organiche non convenzionali usate come substrati per specie ornamentali".

Tabella 1. Parametri obbligatori e facoltativi* previsti dal D.Lgs. 217/06.

Table 1. Compulsory and optional* parameters settled by the D.Lgs. 217/06

Parametri	Ammendante compostato verde	Ammendante compostato misto	Ammendante torboso composto	Vermicompost da letame
Umidità	X	X	X	X
pH	X	X		X
Salinità	X	X	X	X
C organico	X	X	X	X
C umico e fulvico	X	X	X	X
Sostanza organica				X
Sostanza organica estraibile/SO				X
Tasso di umificazione				X
N totale	X	X	X	X
N organico	X	X	X	X
N, altre forme	X*	X*	X*	
Rapporto C/N	X	X	X	X
Fosforo totale	X*	X*	X*	
Potassio totale	X*	X*	X*	
Cu totale	X	X	X	X
Zn totale	X	X	X	X
Parametri biologici ¹	X	X	X	
Torba			X	
Note	X ²	X ^{2,3}	X ²	X ⁴

1. Sono inoltre fissati i seguenti parametri di natura biologica: -Salmonelle: assenti in 25 g di campione tal quale, dopo vivificazione; Enterobacteriaceae totali: massimo $1,0 \times 10^2$ unità formanti colonie per g.; Streptococchi fecali: massimo $1,0 \times 10^3$ (MPN x g); Nematodi: assenti in 50 g sul tal quale; Trematodi: assenti in 50 g sul tal quale; Cestodi: assenti in 50 g sul tal quale.
2. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,45% sulla sostanza secca. Il tenore di materiale plastico, eventualmente presente del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,05% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro fino a 3,33 mm non può superare lo 0,9% sulla sostanza secca. Il tenore di altri materiali inerti, eventualmente presenti, del diametro maggiore di 3,33 mm e minore di 10 mm non può superare lo 0,1% sulla sostanza secca. Materiali plastici ed inerti di diametro superiore a 10 mm devono essere assenti.
3. Per "fanghi" di 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 dei fanghi di depurazione in agricoltura. I fanghi, tranne quelli agroindustriali, non possono superare il 35% (P/P) della miscela iniziale.
4. Per sostanza organica estraibile si intende la sostanza organica solubile in soda e pirofosfato di sodio 0,1 Molari. La sostanza organica umificata si determina per assorbimento selettivo su cromatografici (es.: polivinilpirrolidone).

Metodi innovativi

Dall'analisi elementare (C,H,N,S,O) alla determinazione del contenuto in elementi nutritivi, il settore ha potuto beneficiare di una costante evoluzione delle tecniche analitiche e soprattutto di strumentazioni sempre più potenti in termini di qualità e di quantità di dati prodotti nell'unità di tempo.

Nel settore della caratterizzazione chimico-strutturale della sostanza organica l'evoluzione è stata notevole. A partire dall'impiego di supporti cromatografici solidi (per es. PVP) per la separazione delle sostanze umiche (SU) da quelle non umiche estratte dal compost nella frazione fulvica (Sequi *et al.*, 1986; Ciavatta *et al.*, 1993) che ha permesso l'elaborazione di alcuni parametri di umificazione (De Nobili e Petrusi, 1988; Ciavatta *et al.*, 1990; Ciavatta e Govi, 1993), all'impiego della isoelettrofocalizzazione (De Nobili *et al.*, 1983; Ciavatta e Govi, 1993), si è giunti all'utilizzo di tecniche spettroscopiche ((FTIR; ^1H - ^{13}C -NMR; CP-MAS ^{13}C -NMR; ESR) che, seppure con tutte le difficoltà legate all'eterogeneità della

matrice e alle sostanze interferenti, consentono una buona caratterizzazione chimico-strutturale della sostanza organica e della frazione umica e umo-simile (Senesi *et al.*, 1996; Provenzano *et al.*, 1998; Ciavatta *et al.*, 2000).

Anche l'analisi termogravimetrica (TG) e termico differenziale (DTA) e la calorimetria a scansione differenziale (DSC) possono essere molto utili ai fini della valutazione della maturità del compost (Dell'Abate *et al.*, 1998, 2000; Provenzano *et al.*, 1998, 2000).

Nella figura 1, ad esempio, sono riportate le curve DTA di alcuni substrati di coltura (A, B, C, D, F, G, I - Tab. 2) eseguita all'inizio (i) e alla fine del ciclo colturale (f) di *Callistephus chinensis* (PRIN - prot. 2005078931). L'analisi termica (TG-DTA) dei substrati (Fig. 1) ha evidenziato, a fine prova, significative modificazioni del substrato rilevabili in una riduzione della frazione termicamente più labile (picco esotermico a circa a 330 °C), mentre la frazione termicamente più stabile (picco esotermico > 400 °C) è rimasta sostanzialmente invariata.

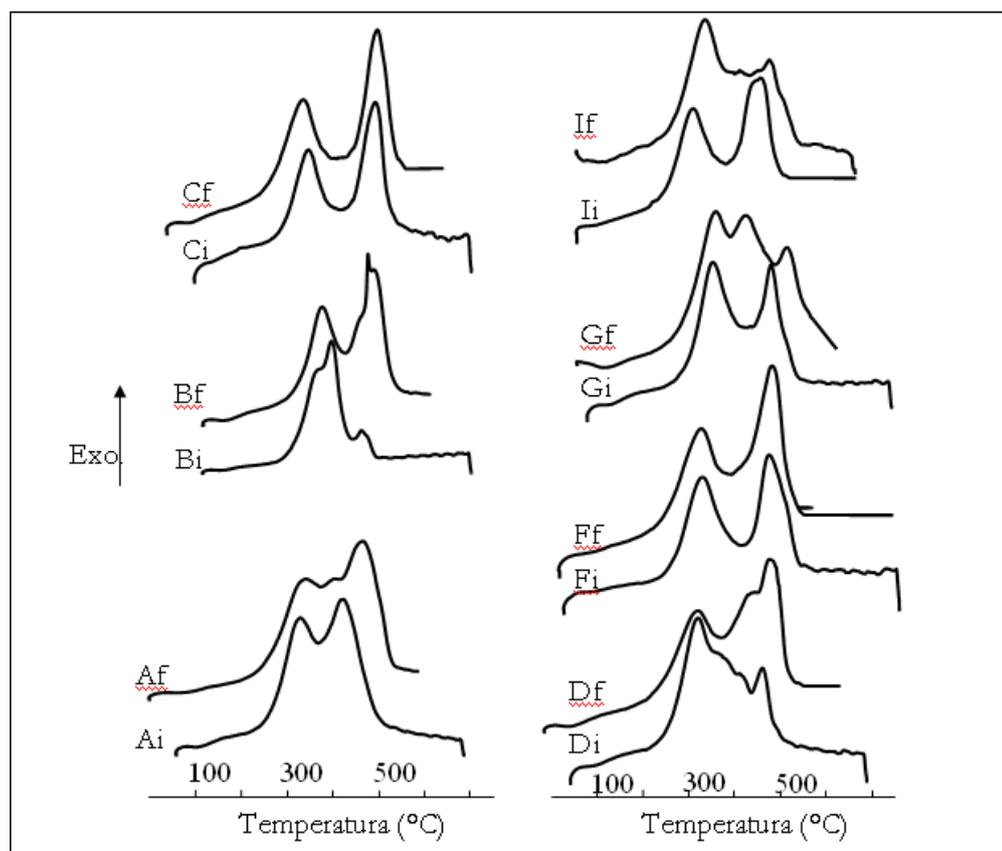


Figura 1. Analisi DTA dei substrati A, B, C, D, F, G ed I eseguita all'inizio (i) e alla fine della coltura (f) di *Callistephus chinensis* (condizioni sperimentali: campione pesato, 5 mg; crogiolo di allumina; intervallo di temperatura, 30÷750 °C; rampa di riscaldamento 10 °C min⁻¹; atmosfera, aria dinamica; materiale di riferimento, caolinite calcinata)

Figure 1. DTA of substrates A, B, C, D, F, G and I carried out at the beginning (i) and at the end of the growing (f) of *Callistephus chinensis* (experimental conditions: sample weight about 5 mg; crucible of alumina; heating range, 30÷750 °C; heating rate 10 °C min⁻¹; dynamic air; calcinated caolinite, as reference material)

Tabella 2. Substrati di coltivazione impiegati nella sperimentazione per la coltivazione di *Callistephus chinensis***Table 2.** Growing media used in the cultivation of *Callistephus chinensis*

Sigla	Matrice
A	Torba (T) 100% (matrice)
B	Fibra di cocco (FC) 100% (matrice)
C	Ammendante compostato misto (ACM) al 100% (matrice)
D	Miscela (v/v) 20% ACM e 80% T
E	Miscela (v/v) 40% ACM e 60% T
F	Miscela (v/v) 60% ACM e 40% T
G	Miscela (v/v) 20% ACM e 80% FC
H	Miscela (v/v) 40% ACM e 60% FC
I	Miscela (v/v) 60% ACM e 40% FC

Tale comportamento è stato riscontrato in tutti i substrati analizzati tranne che nella tesi C dove la miscela ha provocato la morte delle piante. Con questa tecnica è possibile ottenere importanti informazioni sulla variazione di stabilità della sostanza organica analizzando il campione tal quale e sulle modifiche indotte dalla presenza del vegetale.

Ulteriori passi avanti nella valutazione del compost si potranno ottenere con l'uso dell'analisi isotopica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). È ragionevole ritenere che è possibile caratterizzare il compost in termini di rintracciabilità e tracciabilità delle matrici e del prodotto finale sfruttando, ad esempio, per l'arricchimento isotopico naturale del materiale di partenza, ad esempio la presenza di residui di piante a diverso ciclo fotosintetico (C_3 o C_4). Così come la velocità con cui l'N minerale viene rilasciato a seguito dei processi di mineralizzazione può essere misurata utilizzando la tecnica della diluizione isotopica (pool dilution) che consente la misura della mineralizzazione lorda (gross mineralization). Questo tipo di misura, possibile solo grazie all'impiego di N-NH_4^+ arricchito in isotopo pesante ^{15}N , permette di quantificare la mineralizzazione come processo in sé, e non solo come risultato di un equilibrio tra i due opposti e simultanei processi di mineralizzazione e d'immobilizzazione (Ambus *et al.*, 2002). La conoscenza della cinetica di mineralizzazione della sostanza organica e la dinamica di rilascio dell'N organico è importante per le colture di pieno campo o in serra e per il settore florovivaistico.

Ringraziamenti

Lavoro eseguito nell'ambito del progetto di ricerca PRIN (prot. 2005078931).

Bibliografia

AA.VV. Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. (Senesi N. and

Miano T.M. eds.). Proceedings of the 6th International Meeting of the International Humic Substances Society, Monopoli, Italy, 20-25 September 1992, 1390 pp.

Adani F., La stabilità biologica del compost: indice di respirazione come parametro di processo. *Fertilitas Agrorum* (2007), 2, vol. 1: 55-64

Ambus P., Kure L.K., Jensen E.S. (2002). Gross N transformation rates after application of household compost or domestic sewage sludge. *Agronomie*, 22:723-730.

Amine-Khodja A., Trubetskaya O., Trubetskoj O., Cavani L., Ciavatta C., Guyot G., Richard C. (2006). Humic-like substances extracted from composts can promote the photodegradation of Irgarol 1051 in solar light. *Chemosphere*, 62:1021-1027).

Ciavatta C., Francioso O., Tugnoli V., Gessa C. (2000). Evaluation of the quality of organic matter of compost using spectroscopic techniques (DRIFT and ^1H NMR). In: Proceedings of the 9th Workshop of the network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Gargnano (Italy), pp. 223-225.

Ciavatta C., Govi M. (1993). Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humic substances in soils and organic wastes: a review. *Journal of Chromatography*, 643:261-270.

Ciavatta C., Govi M., Sequi P. (1993). Characterization of organic matter in compost produced with municipal solid wastes: An Italian approach. *COMPOST: Science & Technology*, 1:75-81.

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

Crespi M.S., Silva A.R., Ribeiro C.A., Oliveira S.C., Santiago-Silva M.R. (2003). Composting of urban solid residues (USR) by different dispositions.

- Journal of Thermal Analytical Calorimetry, 72:1049–1056.
- Danon M., Zmora-Nahum S., Chen Y., Hadar Y. (2007). Prolonged compost curing reduces suppression of *Sclerotium rolfsii*. *Soil Biology and Biochemistry*, 39:1936-1946.
- De Nobili M., Petrusi F. (1988). Humification index (HI) as evaluation of the stabilization degree during composting. *Journal of Fermentation Technology*, 66(5):577-583.
- De Nobili M., Petrusi F., Ceccanti B., Sequi P. (1983). Use of the isoelectric focusing technique (IEF) for the characterization of organic substances of different origin and as a mean of following Humification. *Transaction International Symposium on Humus et Planta*. VIII, UISGP.
- Decreto Legislativo 29 aprile 2006, n. 217. Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti. Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n. 141 del 20 giugno 2006.
- Dell'Abate M.T., Canali S., Trinchera A., Benedetti A., Sequi P. (1998). Thermal analysis in the evaluation of compost stability: a comparison with humification parameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51:217-224.
- Dell'Abate M.T., Benedetti A., Sequi P. (2000). Thermal methods of organic matter maturation monitoring during a composting process. *Journal of Thermal Analytical Calorimetry*, 6:389-396.
- Fernández J.M., Plaza C., Senesi N., Polo A. (2007). Acid–base properties of humic substances from composted and thermally-dried sewage sludges and amended soils as determined by potentiometric titration and the NICA-Donnan model. *Chemosphere*, 69(4):630-635.
- Francioso O., Montecchio D., Gioacchini P., Ciavatta C. (2005). Thermal analysis (TG-DTA) and isotopic characterization (^{13}C - ^{15}N) of humic acids from different origins. *Applied Geochemistry*, 20:537-544.
- Grigatti M., Ciavatta C., Gessa C. (2004). Evolution of organic matter from sewage sludge and yard trimming during composting. *Bioresource Technology*, 91:163-169.
- Grigatti M., Blok W.J., Veeken A., Ciavatta C. (2007a). Un metodo standardizzato per la determinazione della stabilità della sostanza organica da compost. *Fertilitas Agrorum* (2007), 2, vol. 1: 71-80.
- Grigatti M., Cavani L., Ciavatta C. (2007b). A multivariate approach to the study of the composting process by means of analytical electrofocusing
- Grigatti M., Dios Pérez M., Blok W.J., Ciavatta C., Veeken A. (2007c). A standardized method for the determination of the intrinsic carbon and nitrogen mineralization rates of natural organic matter sources. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(7):1493-1503.
- Grigatti M., Giorgioni M.E., Cavani L., Ciavatta C. (2007d). Vector analysis in the study of nutritional status of *Philodendron* cultivated in compost-based media. *Scientia Horticulturae*, 112(4):448-455.
- Provenzano M.R., Senesi N., Piccone G. (1998). Thermal and spectroscopic characterization of composts from municipal solid-wastes. *Compost Science & Utilization*, 6:67-73.
- Regolamento CE 2003/2003 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 ottobre 2003, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L 304/1 del 21.11.2003 - IT.
- Senesi N., Miano T.M., Brunetti G. (1996). Humic-like substances in organic amendments and effects on native soil humic substances In: *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. A. Piccolo (Ed.), Elsevier, Amsterdam. pp. 531-593.
- Sequi P., De Nobili M., Leita L., Cercignani G. (1986). A new index of humification. *Agrochimica*, 30:175-179.
- Termorshuizen A.J., van Rijn E., van der Gaag D.J., Alabouvette C., Chen Y., Lagerlöf J., Malandrakis A.A., Paplomatas E.J., Rämert B., Ryckeboer J., Steinberg C., Zmora-Nahum S. (2006). Suppressiveness of 18 composts against 7 pathogens: Variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(8):2461-2477.
- van der Gaag D.J., van Noort F.R., Stapel-Chui The use of composted green waste in peat-based

Un metodo standardizzato per la determinazione della stabilità della sostanza organica da compost

Marco Grigatti^{1*}, Wim J. Blok², Adrie Veeken³, Claudio Ciavatta¹

¹ Department of Agro-environmental Science and Technology Alma Mater Studiorum University of Bologna, viale G. Fanin 40, 40127 Bologna, Italy

² Biological Farming Systems Group, Plant Sciences Department, Wageningen University, Marijkeweg 22, 6709 PG Wageningen, The Netherlands

³ Urban Environment Group, Wageningen University, Generaal Foulkesweg 13, 6703 BJ Wageningen, The Netherlands

*Corresponding author. Tel.: +39 051.209.62.17; Fax: +39 051.209.62.03; e-mail: marco.grigatti@gmail.com

Riassunto

Le maggiori qualità degli ammendanti usati in agricoltura sono date dall'apporto di sostanza organica (SO) e di elementi nutritivi. In particolare, la pratica richiederebbe un test semplice, veloce ed economico per la determinazione della stabilità e della mineralizzazione potenziale dell'azoto (N) organico della SO. In questo lavoro è riportata l'applicazione di un nuovo metodo per la determinazione simultanea della capacità di mineralizzazione del carbonio (C) e dell'N attraverso l'impiego di una incubazione aerobica in sospensione. Il metodo, meglio discusso di recente da Grigatti *et al.* (2007) in *Soil Biology & Biochemistry*, è basato sulla determinazione indiretta del consumo di O₂ tramite rilievo manometrico e sulla determinazione della mineralizzazione dell'N attraverso la misurazione periodica dell'N-NH₄⁺ in fase liquida dei campioni. La sospensione è standardizzata in termini di contenuto in elementi nutritivi e di pH ed è sottoposta a incubazione in ambiente controllato. I parametri di processo possono essere modificati come desiderato. Questo metodo esclude gli effetti del suolo sulle cinetiche di mineralizzazione e questo permette di determinare le proprietà intrinseche della SO. In questo sistema è molto importante l'inibizione della nitrificazione per evitare consumo di ossigeno molecolare (O₂) da parte dei batteri nitrificanti e prevenire la formazione di composti azotati gassosi. L'impiego di N-Allylthiourea ha completamente soppresso la nitrificazione senza inibire l'attività eterotrofa dei batteri, consentendo una corretta determinazione dell'oxygen uptake rate (OUR). L'inibizione della nitrificazione ha soppresso la formazione di N₂O confermando così la totale inibizione della nitrificazione e la trascurabile attività di denitrificazione. La mineralizzazione dell'N è stata determinata tramite campionamenti del solo N-NH₄⁺ nella fase liquida, senza interferire con la misura della pressione. Il metodo proposto rende possibile la determinazione in matrici di diversa origine in modo affidabile, veloce ed economico. Il metodo è più veloce e maggiormente riproducibile rispetto alle tradizionali incubazioni con impiego di suolo e può essere applicato non solo da laboratori tecnologicamente avanzati, ma anche dai produttori di compost e dagli utilizzatori finali. Misure eseguite su diverse miscele in compostaggio a tempi diversi hanno mostrato l'efficacia del metodo nella misurazione della stabilità, accoppiata alla mineralizzazione dell'N organico.

Parole chiave: tasso di respirazione, carbonio, azoto, mineralizzazione incubazione in ambiente liquido, stabilità della sostanza organica.

Abstract

Important characteristics for agricultural soil improvers are the supply of organic matter and plant nutrients. Practice asks for simple, quick and cheap methods to determine the stability and N-mineralization potential of composts and soils. A standardized method for the simultaneous determination of the intrinsic carbon and nitrogen mineralization rates of natural organic matter sources (soils, composts, manures, etc.) was developed by means of an aerobic incubation in a suspension of the sample in a nutrient solution. The proposed method is based on determination of the oxygen consumption, monitored indirectly via pressure drop measurement, and on determination of nitrogen mineralization, through the periodical measurement of NH₄⁺-N in the liquid suspension. The method is described in more detail in *Soil Biol. and Biochem.* (Grigatti *et al.*, in press). This method rules out the effect of soil conditions or compost bed characteristics and thus reflects the intrinsic properties of the organic matter. The method is faster and more reproducible than soil incubation tests that are currently used. In such a system it is important that nitrification is inhibited to avoid oxygen consumption by nitrifiers and prevent the production of gaseous nitrogen compounds. In this test, N-Allylthiourea was found to completely suppress NO₃⁻ formation without suppressing the heterotrophic microbial activity, thus allowing the correct

determination of the OUR. When nitrification inhibitor was added, N₂O could not be detected anymore in the gas phase of the system, which confirms that nitrification was inhibited and indicates that denitrification and nitrifier denitrification activity was negligible. The method cannot only be applied by advanced laboratories but also by e.g. compost producers (to monitor and optimize their composting process) and end-users (to assess compost quality). On basis of measurements of different types of composting mixtures at various composting time, the suitability of the method for evaluation of carbon and nitrogen mineralization potential is shown.

Keywords: respiration rate, carbon, nitrogen, mineralization, liquid environment incubation, organic matter stability.

Introduzione

Suoli agricoli e coltivazioni fuori suolo prevedono spesso l'impiego di sostanza organica (SO) attraverso la somministrazione di residui colturali, letame e compost (Erhart *et al.*, 2005) al fine di apportare elementi nutritivi per migliorare le caratteristiche agronomiche (Cookson *et al.*, 2005). L'impiego di SO può però provocare nel sistema suolo/substrato-pianta effetti negativi quali temporaneo decremento del contenuto in ossigeno molecolare (O₂), denitrificazione e immobilizzazione dell'azoto (N) minerale (Yamulki, 2006). Per massimizzare gli effetti positivi delle biomasse è necessario distribuire le quantità necessarie, al tempo opportuno e con le adatte caratteristiche di stabilità. Per una buona gestione delle attività agricole è necessario conoscere, attraverso un test veloce, le caratteristiche di stabilità delle biomasse con lo scopo di permettere la migliore scelta per ogni situazione. Inoltre, la crescente sostituzione di torba con compost in orto-floricoltura impone la selezione di prodotti con le caratteristiche desiderate, onde evitare effetti fitotossici e d'immobilizzazione dell'N (Iannotti *et al.*, 1994). Nella determinazione della stabilità della SO, del carbonio (C) e dell'N organici sono determinanti, in quanto ne guidano la trasformazione. I metodi principalmente impiegati per lo studio della mineralizzazione della SO prevedono l'impiego d'incubazioni con suolo che, oltre ad essere laboriose, hanno lo svantaggio che le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche dello specifico suolo influenzano i risultati ottenuti (Agehara e Warncke, 2005.). Inoltre, vi possono essere problemi di creazione di micrositii anaerobici nei quali si può avere anche denitrificazione (Wrage *et al.*, 2001). Metodi alternativi prevedono la misura del consumo di O₂ (Lasaridi e Stentiford, 1998). Le migliori condizioni per la misura del consumo di O₂ sono in ambiente liquido, questo elimina le differenze nel potenziale matriciale, aumenta la omogeneizzazione delle sostanze e massimizza la crescita batterica (Lasaridi e Stentiford, 1998).

In questo studio è stato impiegato il sistema OxiTop[®] (WTW, Wilhelm, Germany) nel quale il

consumo di O₂ è misurato attraverso la diminuzione di pressione in un sistema chiuso in cui la CO₂ è asportata tramite una trappola. La nitrificazione è inibita per cui il consumo di O₂ lo si può imputare alla sola respirazione e quindi alla mineralizzazione del C. L'inibizione della nitrificazione è importante per evitare perdite azotate sottoforma, ad esempio, di N₂O e permettere di seguire la mineralizzazione dell'N tramite il monitoraggio del solo N-NH₄⁺. Lo scopo del presente lavoro è stato quello di applicare un metodo standardizzato e veloce per la determinazione della capacità intrinseca di mineralizzazione della SO di alcune miscele di compost.

Materiali e metodi

Scelta del metodo

In letteratura sono riportati molti metodi per la misurazione della stabilità della SO che generalmente è definita come la sua capacità di resistere alla degradazione microbica in ambiente aerobico. La stabilità può essere determinata attraverso i) la produzione di CO₂, ii) la misurazione del consumo di O₂ oppure iii) la produzione di calore. Allo stesso modo esistono diverse tecnologie in grado di misurare i suddetti parametri in questa sperimentazione è stato impiegato il sistema OxiTop[®] in quanto economico e molto pratico (fig. 1).

Standardizzazione del metodo

La stabilità della SO può essere determinata in ambiente solido o liquido, i vantaggi e gli svantaggi sono stati ampiamente discussi da Lasaridi e Stentiford (1998), ma le proprietà intrinseche della SO possono essere determinate solamente quando sono fornite le condizioni ottimali alla popolazione batterica e quando la stabilità della SO è il solo fattore limitante l'attività respiratoria. Queste condizioni sono soddisfatte quando:

- l'intera superficie è coinvolta dall'attacco microbico, condizione soddisfatta con il campione sospeso in acqua;
- la disponibilità degli elementi nutritivi non deve essere limitante, vengono quindi forniti macro e microelementi;
- il pH della soluzione deve essere ottimale e sta-

bile, viene quindi tamponato;

- altre vie di consumo di O_2 devono essere sopresse; la nitrificazione che rappresenta il processo più importante viene inibito tramite l'impiego di N-Allylthiourea.

Il trasferimento di massa dell' O_2 dalla fase gassosa a quella liquida non deve essere limitante (Rudrum, 2005). Nelle mineralizzazioni condotte in suolo i principali svantaggi sono:

- la superficie non è sempre completamente esposta all'attacco microbico in quanto vi è la presenza di aggregati, inoltre vi è una forte influenza dell'umidità e della densità del sistema;
- le condizioni sopra elencate portano spesso ad una riduzione della diffusione dell'ossigeno non si raggiunge in questo caso il massimo dell'oxygen uptake rate (OUR);
- in una matrice solida risultano più problematiche le addizioni di elementi nutritivi ed altri composti.

Queste considerazioni portano alla conclusione che la determinazione in ambiente liquido permette l'aggiunta di tutti gli elementi necessari a massimizzare la risposta batterica, inoltre questo porta a ridurre in maniera considerevole i tempi necessari per l'incubazione. Nella figura 2 sono riportati gli andamenti del Cumulative Oxygen Uptake (COU) e dell'OUR di tre campioni di riferimento sui quali è stato stan-

dardizzato il test prima dell'applicazione ai campioni di compost. Nel corso della standardizzazione sono stati valutati gli effetti della nitrificazione sul consumo di O_2 e successivamente gli effetti di due inibitori della nitrificazione (N-Allylthiourea e 2-Ethynylpiridine), a diverse dosi, sia sulla inibizione dell'attività nitrificante che sull'attività eterotrofa dei batteri, su tre campioni di riferimento: suolo, corteccia (bark) e letame bovino. Nel corso della standardizzazione del metodo è stata anche accertata l'assenza di N_2O nella fase gassosa, condizione che ha premesso un corretto bilancio dell'N all'interno del sistema. La soppressione della nitrificazione e l'assenza di prodotti gassosi azotati hanno permesso di seguirne la mineralizzazione tramite il solo monitoraggio dell' $N-NH_4^+$. Per ulteriori maggiori approfondimenti si rimanda a Grigatti *et al.* (2007).

Il sistema OxiTop®

Lo studio ha previsto l'impiego del sistema OxiTop® adattato a bottiglie Schott da 1000 cm^3 dotate di foro di ispezione nel quale è installato un ago per il campionamento dalla fase liquida. L'apparato consiste di un misuratore di pressione che memorizza in continuo i dati. Il recipiente è provvisto di una trappola per la CO_2 (fig. 1). La raccolta dei dati avviene in maniera semplice tramite l'impiego di una strumentazione a raggi infrarossi.

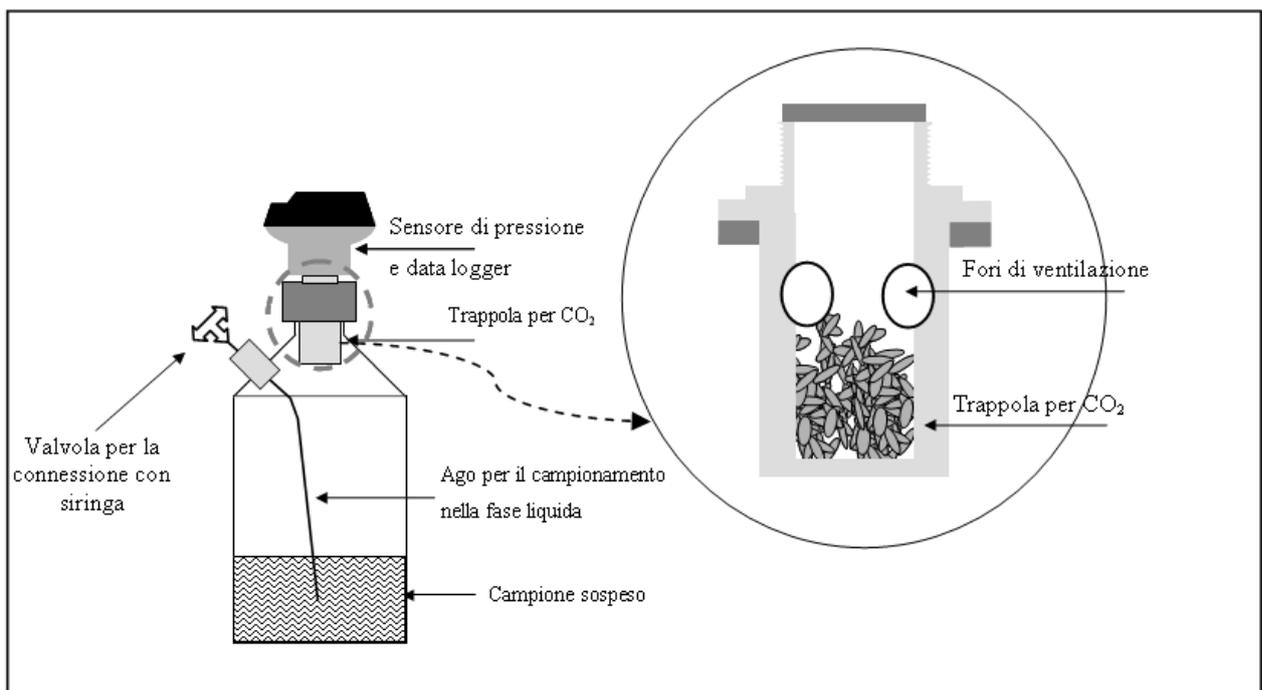


Figura 1. Rappresentazione schematica del sistema adottato in questa sperimentazione

Figure 1. Schematic representation of the test system used in this study

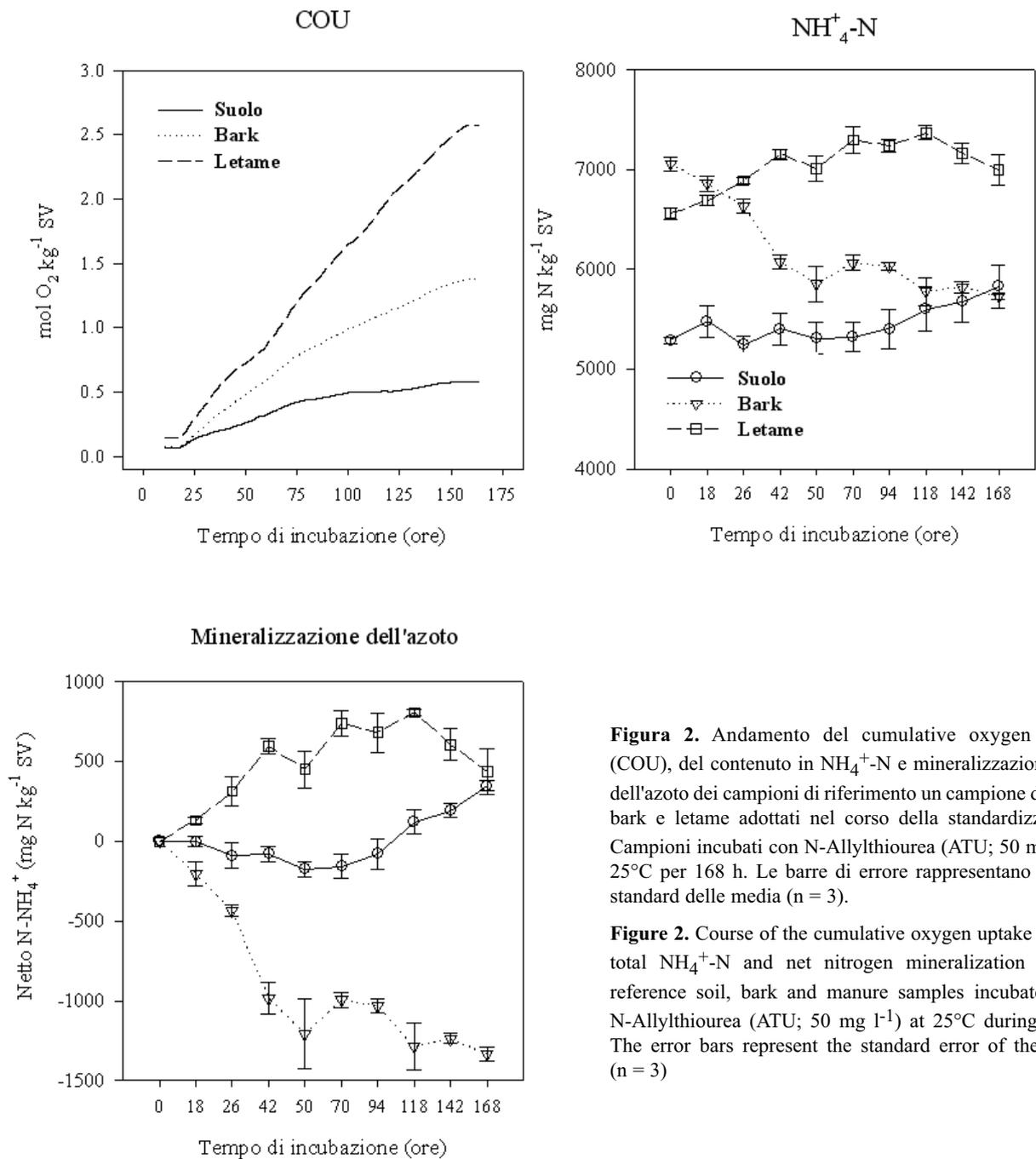


Figura 2. Andamento del cumulative oxygen uptake (COU), del contenuto in NH₄⁺-N e mineralizzazione netta dell'azoto dei campioni di riferimento un campione di suolo, bark e letame adottati nel corso della standardizzazione. Campioni incubati con N-Allylthiourea (ATU; 50 mg l⁻¹) a 25°C per 168 h. Le barre di errore rappresentano l'errore standard delle media (n = 3).

Figure 2. Course of the cumulative oxygen uptake (COU), total NH₄⁺-N and net nitrogen mineralization for the reference soil, bark and manure samples incubated with N-Allylthiourea (ATU; 50 mg l⁻¹) at 25°C during 168 h. The error bars represent the standard error of the means (n = 3)

Condizioni sperimentali standard

Gli esperimenti sono stati condotti su una quantità di campione pari a 2 g di solidi volatili (SV) dissolvendo il campione in 180 mL di acqua deionizzata con l'aggiunta di 10 mL di soluzione nutritiva contenente i seguenti macronutrienti: NH₄Cl (4,31 g L⁻¹), CaCl₂·6H₂O (5,39 g L⁻¹), MgSO₄·7H₂O (4,31 g L⁻¹), FeCl₃·6H₂O (54,0 mg L⁻¹). Come micronutrienti: FeCl₃·4H₂O (2000 mg L⁻¹), CoCl₂·6H₂O (2000 mg L⁻¹), MnCl₂·4H₂O (500 mg L⁻¹), CuCl₂·2H₂O (30 mg L⁻¹), ZnCl₂ (50 mg L⁻¹), H₃BO₃ (50 mg L⁻¹), (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O (90 mg L⁻¹), Na₂SeO₃·5H₂O (100 mg L⁻¹), NiCl₂·6H₂O (50 mg L⁻¹), EDTA (1000

mg L⁻¹), HCl al 36% (1 mL L⁻¹). Sono stati poi aggiunti 10 mL di tampone fosfato a pH 7,00. Durante le incubazioni come inibitore della nitrificazione è stata impiegata N-Allylthiourea (50 mg L⁻¹).

L'Oxygen Uptake Rate (OUR) deriva direttamente dal calcolo del Cumulative Oxygen Uptake (COU, eq. 1) e viene espresso in mmol O₂ kg⁻¹ SV h⁻¹.

$$COU = \frac{\Delta P \cdot V_{gas}}{8.314 \cdot (273.13 + T) \cdot W \cdot TS \cdot VS} \quad (1)$$

dove:

ΔP = diminuzione di pressione nella fase gassosa (kPa);
 T = temperatura alla quale viene condotta l'incubazione;
 273,13 = costante per passare a gradi Kelvin;
 V_{gas} = volume della fase gassosa (L);
 W = peso del campione (kg);
 TS = contenuto di solidi totali (kg kg^{-1} TQ);
 VS = contenuto di solidi volatili (kg kg^{-1} TS).

Mantenendo la temperatura dell'incubazione costante, la diminuzione di pressione risulta direttamente proporzionale alla diminuzione di O_2 , in accordo con la legge dei gas ($pV = nRT$). Calcolato il COU, la misura dell'OUR ($\text{mmol kg}^{-1} \text{SV h}^{-1}$) può essere calcolato in base alla pendenza della retta di regressione nella regione lineare dell'andamento della caduta di pressione.

Formazione delle miscele e loro caratteristiche

Le tesi sottoposte a compostaggio erano 3, formate da una miscela di fanghi agroindustriali (AI),

un fango civile (CIV) e una miscela di entrambi (AI+CIV) in addizione a materiale ligno-cellulosico (scarti di potature). Le combinazioni sono state poste a stabilizzare in cumulo in platea. Il rivoltamento è avvenuto con cadenza settimanale. Nella tabella 1 sono riportate le percentuali dei singoli componenti. I campioni per le analisi sono stati prelevati secondo la metodologia I.P.L.A. (1998). La percentuale di saturazione in O_2 delle masse in cumulo è stata determinata con apposita sonda (Bio.Ge.Co., Italy). La determinazione dell'umidità è stata eseguita a 105°C fino a peso costante. Il pH e la conduttività elettrica sono stati determinati su estratto acquoso (1:10, m/v) dopo 30 min. di agitazione. Il C organico totale (TOC), la frazione estratta (TEC) e quella umificata (HA+FA) e il grado di umificazione (DH%) sono stati determinati secondo il metodo proposto da Ciavatta *et al.* (1990). L'azoto totale Kjeldahl (TKN) e i metalli totali secondo i metodi ufficiali per l'analisi dei fertilizzanti (MiPAF, 2001). Le caratteristiche delle miscele durante il compostaggio sono riportate nella tabella 2.

Tabella 1. Composizione delle miscele di partenza e relative abbreviazioni

Miscela (v/v)	Abbreviazione
Fango agroindustriale 20% + ligno-cellulosico 80%	AI
Fango agroindustriale 10% + Fango civile 10% + ligno-cellulosico 80%	AI + CIV
Fango civile 20% + ligno-cellulosico 80%	CIV

Tabella 2. Principali caratteristiche fisico-chimiche delle miscele durante il compostaggio

Miscela	Giorni di compostaggio	Umidità (%)	pH	EC (dS m^{-1})	Temp. ($^\circ\text{C}$)	Saturazione in O_2 (%)	TOC (%)	TKN (%)	C/N	TEC (%)	HA+FA (%)
AI	0	53.6	7.35	1.12	25.0	90.7	32.5	1.47	22.1	14.7	9.5
	7	44.7	8.02	0.95	74.0	79.3	26.3	1.51	17.4	11.0	8.6
	15	44.3	7.19	1.10	65.0	81.7	25.5	1.29	19.8	11.3	8.2
	30	44.2	7.56	1.03	56.0	85.3	25.3	1.33	19.0	9.9	7.9
	60	37.7	7.55	1.02	42.0	89.3	18.7	1.13	16.5	10.1	7.3
	90	36.7	7.53	1.02	35.0	90.7	18.7	1.13	16.5	10.0	7.3
AI + CIV	0	56.8	8.03	1.25	27.0	87.3	30.2	1.75	17.3	13.3	10.9
	7	54.5	7.85	1.20	72.0	80.7	28.9	1.47	19.7	10.9	7.7
	15	49.6	7.56	0.76	66.0	83.7	26.1	1.49	17.5	10.5	7.0
	30	48.1	7.34	0.90	55.0	86.3	25.6	1.49	17.2	9.4	7.2
	60	39.6	7.32	0.93	42.0	90.3	20.9	1.43	14.6	10.8	7.7
	90	39.1	7.32	0.93	36.0	91.7	20.9	1.43	14.6	10.4	7.4
CIV	0	62.5	7.58	1.60	25.0	90.7	28.2	1.75	16.1	11.8	9.5
	7	58.6	7.24	0.57	73.0	80.3	27.2	1.58	17.2	10.6	7.6
	15	50.3	7.29	0.52	67.0	81.7	26.5	1.52	17.4	9.7	7.2
	30	48.1	7.16	0.69	55.0	86.7	26.2	1.45	18.1	9.4	7.2
	60	42.0	7.13	0.70	41.0	89.0	22.0	1.38	15.9	11.1	7.9
	90	41.5	7.11	0.70	37.0	90.7	22.1	1.38	16.0	10.6	7.5

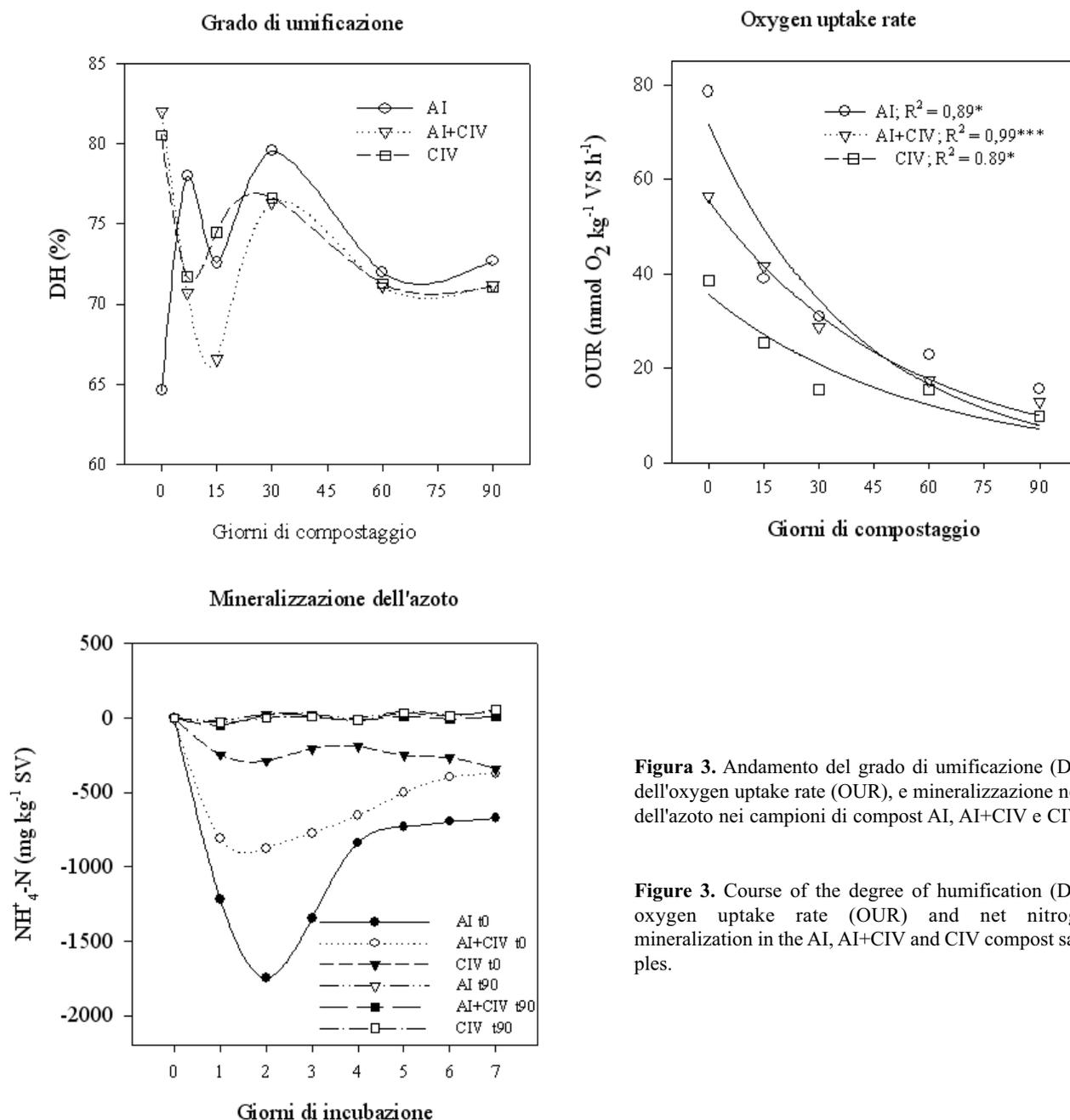


Figura 3. Andamento del grado di umificazione (DH), dell'oxygen uptake rate (OUR), e mineralizzazione netta dell'azoto nei campioni di compost AI, AI+CIV e CIV.

Figure 3. Course of the degree of humification (DH), oxygen uptake rate (OUR) and net nitrogen mineralization in the AI, AI+CIV and CIV compost samples.

Determinazione simultanea della mineralizzazione di carbonio e azoto

Dopo l'ottimizzazione delle condizioni sperimentali sopra descritte, la determinazione simultanea della mineralizzazione di C e N è stata condotta in un esperimento di 7 gg. con l'impiego di N-Allylthiourea (50 mg l⁻¹). La pressione è stata monitorata in continuo su campioni prelevati ad ogni data di campionamento (0, 7, 15, 30, 60, 90), mentre l'N-NH₄⁺ con prelievi dopo 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 giorni sui campioni al giorno 0 ed al giorno 90.

Risultati

Determinazione del tasso di respirazione

La collezione dei dati tramite lo strumento a IR è risultata estremamente pratica permettendo la lettura

in ogni momento senza disturbare il corso dell'esperimento. Estremamente pratico è poi risultato il trasferimento dei dati al personal computer.

Mineralizzazione del carbonio e dell'azoto

Le miscele all'inizio del compostaggio (t₀) presentavano tassi di respirazione ben differenziati. Tra i campioni AI risultava essere meno stabile in quanto l'aggiunta di fango civile ha ridotto sensibilmente l'attività dei microrganismi ad indicare una significativa diminuzione di sostanza organica biodegradabile. All'inizio del processo il tasso di respirazione (OUR) era pari 78,6, 56,5 e 38,5 mmol O₂ kg⁻¹ SV h⁻¹, rispettivamente, in AI, AI+CIV e CIV. La miscela contenente fango civile (CIV) era la più stabile (fig. 3). Alla fine del processo (t₉₀) tutte le miscele presenta-

vano valori simili mediamente intorno a 13 mmol O₂ kg⁻¹ SV h⁻¹. Contrariamente a quanto evidenziato dai parametri di umificazione, il cui andamento non mostrava risultati significativi, la relazione dell'OUR con il tempo di maturazione era ottima. I dati analizzati in base al modello di decadimento esponenziale $y = ae^{-kx}$ presentavano significativi valori di regressione (fig. 3). La costante relativa metteva in evidenza che l'impiego di fango agroindustriale imponeva al processo un'attività microbica molto intensa.

La mineralizzazione dell'N presentava andamenti completamente diversificati sia tra le miscele che nei due campionamenti eseguiti. I campioni AI e AI+CIV prelevati al giorno zero mostravano una forte immobilizzazione, rispettivamente, pari a 1750 e 878 mg N kg⁻¹ SV. Dopo questa fase mostravano una fase di mineralizzazione positiva, ma che nel corso totale rimaneva sempre negativa pari -674, -375 mg N kg⁻¹ SV, rispettivamente, in AI e AI+CIV. Al contrario CIV mostrava una costante immobilizzazione pari a -343 mg N kg⁻¹ SV. L'incubazione condotta sui campioni maturi (t90) mostrava invece una mineralizzazione positiva molto lenta pari 43, 13, 54 mg N kg⁻¹ SV, rispettivamente, in AI, AI+CIV e CIV.

Discussione

Valutazione pratica della procedura sviluppata

Il metodo sviluppato ha permesso una rapida e pratica determinazione della mineralizzazione di C e N in condizioni standardizzate. Il pH della sospensione è rimasto attorno a 7 favorendo al massimo la crescita microbica e inibendo perdite di N sottoforma di ammoniacca (NH₃). L'eventuale impiego di tamponi più forti può essere preso in considerazione nel solo caso dell'analisi di campioni con pH estremi come, ad esempio, nel caso di torbe acide.

Determinazione del tasso di mineralizzazione di carbonio e azoto della SO

La procedura impiegata per la determinazione simultanea della mineralizzazione di C e N della SO è risultata estremamente pratica. La gestione dei campioni nelle singole bottiglie, senza l'adozione di cavi di collegamento, ha favorito la lettura dei dati e non ha intralciato il prelievo del liquido per le analisi dell'N-NH₄⁺. L'analisi dei dati relativi all'OUR riportati al tempo di compostaggio ha mostrato una significatività molto elevata al contrario di quanto mostrato dal grado di umificazione. La mineralizzazione dell'N ha fatto rilevare un andamento consona sia al livello di maturazione che alle caratteristiche dei campioni analizzati e in accordo con quanto riportato in letteratura (Bernal *et al.*, 1998). Come mostrato nella tabella 2, infatti, sia i valori di C/N che di TEC erano superiori nelle miscele contenenti fango AI. La presenza di C facilmente aggredibile in una situazione di "carenza" di N ha portato alla iniziale forte

immobilizzazione. La maturazione di tutte le miscele ha portato ad una drastica riduzione delle cinetiche di mineralizzazione sia del C che dell'N ed inoltre ha evidenziato come nei campioni maturi il processo di mineralizzazione dell'N abbia assunto sempre valori positivi e caratterizzato da un rilascio molto lento.

Conclusioni

Esiste una generale richiesta di procedure affidabili per la determinazione della stabilità di fonti di sostanza organica in termini di capacità di mineralizzazione di carbonio e/o azoto con lo scopo di migliorare la loro gestione. Spesso vengono impiegate a tale scopo incubazioni condotte in suolo con il risultato che le cinetiche ottenute non sono proprie della SO, ma mediate dalle caratteristiche del suolo stesso, inoltre sono difficilmente standardizzabili. Con il metodo qui applicato l'incubazione si può condurre in condizioni standardizzate tali da favorire la crescita microbica. In tali condizioni l'unico fattore limitante è l'intrinseca possibilità della matrice ad essere attaccata dai microrganismi.

La strumentazione per l'applicazione del metodo, inoltre, è economica e permette la gestione contemporanea di un numero di campioni elevato. Questo permette la conduzione di esperimenti a diverse temperature, pH o concentrazione di elementi nutritivi. Il campionamento ripetuto sulla stessa bottiglia, inoltre, riduce molto le ripetizioni di norma adottate nei campionamenti distruttivi durante le incubazioni con suolo. Infine, la conduzione dell'esperimento dura pochi giorni rispetto alle diverse settimane di norma richieste nei casi d'incubazione con suolo.

Bibliografia

- Agehara S., Warncke D.D. (2005). Soil Moisture and Temperature Effects on Nitrogen Release from Organic Nitrogen Sources. *Soil Science Society of America Journal*, 69:1844-1855.
- Bernal M.P., Navarro A.F., Sánchez-Monodero M.A., Roig A., Cegarra J. (1998). Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 30:305-313.
- Ciavatta C., Govi M., Vittori Antisari L., Sequi P. (1990). Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *Journal of Chromatography*, 509:141-146.
- Cookson W.R., Abaye D.A., Marschner P., Murphy D.V., Stockdale E.A., Goulding, K.W.T. (2005). The contribution of soil organic matter fractions to carbon and nitrogen mineralization and microbial community size and structure. *Soil Biology and Biochemistry*, 37:1726-1737.

- Erhart E., Hartl W., Putz B. (2005). Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. *European Journal of Agronomy*, 23:305-314.
- Grigatti M., Dios Pérez M., Blok W.J., Ciavatta C., Veeken A. (2007). A standardized method for the determination of the intrinsic carbon and nitrogen mineralization capacity of natural organic matter sources. *Soil Biology and Biochemistry* (doi: 10.1016/j.soilbio.2006.12.035).
- I.P.L.A. - Istituto per le Piante da Legno e per l'Ambiente (1998). *Metodi di analisi dei compost. Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche*. Torino pp. 186.
- Iannotti D.A., Grebus M.E., Toth B.L., Madden L.V., Hoitink H.A.J. (1994). Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. *Journal of Environmental Quality*, 23:1177-1183.
- Lasaridi K.E., Stentiford E.D. (1998). A simple respirometric technique for assessing compost stability.