

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Alimenti, Risorse naturali, Animali e Ambiente

DAFNAE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE E TECNOLOGIE ANIMALI

Matrici organiche di origine animale e vegetale per l'orticoltura biologica

Relatore: Prof. Paolo Sambo

Correlatori: Dott. Carlo Nicoletto

Dott.ssa Valentina Gobbi

Laureanda: Alice Bellan

Matricola n. 1181949

Anno accademico 2018/2019

“L'uomo appartiene alla terra. La terra non appartiene all'uomo”

Toro Seduto

“Il miracolo non è quello di camminare sulle acque, ma di camminare sulla terra verde nel momento presente e d'apprezzare la bellezza e la pace che sono disponibili ora.”

Thich Nhat Hanh

INDICE

RIASSUNTO	7
ABSTRACT	9
1. INTRODUZIONE	11
1.1 ECONOMIA CIRCOLARE E BIOECONOMIA IN AGRICOLTURA.....	11
1.2 AGROECOLOGIA.....	14
1.3 L' AGRICOLTURA BIOLOGICA.....	16
1.4 LA PRODUZIONE ANIMALE BIOLOGICA.....	17
1.6 SOSTANZA ORGANICA NEL SUOLO E LA FERTILIZZAZIONE.....	18
1.7 FERTILIZZANTI ORGANICI.....	19
1.7.1 EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO.....	21
1.7.2 DIGESTATO ANAEROBICO.....	26
1.7.3 SUBSTRATO SPENTO DI FUNGAIA.....	30
1.7.4 VEGAND.....	33
2. SCOPO DEL LAVORO	35
3 MATERIALI E METODI	37
3.1. ANALISI STATISTICA	42
4 RISULTATI	43
5 DISCUSSIONE	47
6 CONCLUSIONI	53
7 BIBLIOGRAFIA	57
8 TABELLE E FIGURE	63

RIASSUNTO

Nella società odierna valorizzare gli scarti prodotti dal settore agro-industriale è diventato un aspetto fondamentale per la tutela ambientale. In campo agronomico è ormai essenziale sfruttare i rifiuti dell'industria agroalimentare, delle aziende agricole e zootecniche per la produzione di generi alimentari.

L'agricoltura industrializzata preleva risorse provenienti da più parti del mondo (petrolio, concimi fosfatici, ecc.) e le concentra nelle zone di coltivazione. Vengono così asportate risorse da aree geografiche estese e lontane per essere utilizzate in aree produttive circoscritte e i prodotti alimentari ottenuti sono nuovamente dislocati in altre aree. All'interno di questo sistema gli scarti e gli sprechi di cibo e delle attività agricole non sono reintegrati nelle aree produttive come avverrebbe in un ciclo biologico. Per queste ragioni l'agricoltura odierna non rispetta i principi dell'economia circolare.

Lo scopo di questa tesi è stato quello di caratterizzare alcune matrici organiche di origine animale e vegetale (pollina, digestato anaerobico, substrato spento di fungaia e Vegand, un concime pellettato di origine vegetale) inserite in un contesto di economia circolare e valutarne gli effetti produttivi nella produzione di specie orticole. Sono state coinvolte due aziende in cui sono state effettuate le prove di coltivazione: una in cui le matrici, successivamente alla loro caratterizzazione chimica, sono state confrontate con una tesi non concimata e una tesi minerale, mentre nella seconda azienda le matrici sono state confrontate con la normale pratica aziendale a conduzione biologica. Infine sono state calcolate le rese produttive delle specie orticole scelte.

In generale si può affermare che tutte e quattro le matrici organiche prese in considerazione sono dei buoni fertilizzanti e ammendanti in quanto hanno tutte un buon contenuto di S0 (>50%), che comporta due importanti effetti: un miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno, apportando una serie di noti benefici che vanno dalla prevenzione di fenomeni erosivi all'aumento della capacità della ritenzione idrica, e all'immagazzinamento del carbonio (carbon sink) nell'ambito della lotta all'effetto serra. L'efficacia della concimazione organica è stata dimostrata attraverso le rese produttive che si sono rivelate maggiori rispetto a quelle prodotte dalla sola concimazione minerale. È opportuno sottolineare che gli effetti della concimazione organica sono visibili solo dopo alcuni anni dall'applicazione al suolo, quindi le prospettive future suggeriscono ulteriori miglioramenti in relazione ai risultati ottenibili.

ABSTRACT

Today, in our society, enhancing the waste produced by industries has become a fundamental aspect for environmental protection. In the agronomic field it is essential to exploit the agri-food waste of agricultural and zootechnical companies foodstuffs' production.

Industrial agriculture takes resources from many parts of the world (oil, phosphatic fertilizers, etc.) and concentrates them in cultivation areas. In this way resources are removed from extensive and distant geographical areas to be used in limited production areas and the products obtained are dislocated in other areas.

Within this system, food waste and agricultural activities are not reintegrated into production areas as would be the case in a biological cycle. For these reasons, today's agriculture does not respect the principles of the circular economy. In this work, four organic matrices of animal and vegetable origin were used (chickens' manure, anaerobic digestate, spent mushroom substrate and Vegand: a pellet fertilizer of vegetable origin) and an inorganic fertilizer to produce two varieties of vegetables in greenhouse: lettuce and radicchio.

The characteristics of each fertilizer were analysed in the laboratory and production yields have been calculated at the end of each cycle. The purpose of this thesis was to characterize and evaluate organic and vegetable matrixes in greenhouses and calculate the yields of the selected vegetable varieties. In general it can be stated the organic matrices considered are good fertilizers and soil improvers as they all have a good SO content (> 50%), which has two important effects: an improvement in the chemical-physical characteristics of the soil, bringing a series of known benefits as the protection from erosion, the increase in water retention capacity, and the storage of carbon (carbon sink) in the sphere of the fight against the greenhouse effect. The effectiveness of organic fertilization has been demonstrated through the yields produced, that turned out to be greater than those produced by only mineral fertilization. It should be emphasized that the effects of organic fertilization are visible only a few years after application to the soil, so future perspectives suggest improvements regarding the achievable results.

1. INTRODUZIONE

1.1 ECONOMIA CIRCOLARE E BIOECONOMIA IN AGRICOLTURA

L'industrializzazione dell'agricoltura ha portato ad un aumento delle dimensioni aziendali e ad un'importante diminuzione delle aree non coltivate (naturali e seminaturali), sia nelle aziende agricole sia nelle zone limitrofe, causando un alto livello di omogeneità e disequilibrio. La semplificazione degli agroecosistemi causa la diminuzione di biodiversità e la perdita di interesse e di rilievo dei sistemi agrosistemici, i quali sono indispensabili per l'agricoltura e per la società (Peano e Sottile, 2000). L'agricoltura industrializzata tende a concentrare nelle aree di coltivazione risorse provenienti da più parti del mondo (petrolio, concimi fosfatici, ecc.). Si asportano così risorse da aree geografiche estese e lontane, le quali sono destinate ad aree produttive circoscritte e i prodotti alimentari ottenuti sono nuovamente dislocati in altre aree (Peano e Sottile, 2000).

All'interno di questo sistema gli scarti e gli sprechi di cibo e delle attività agricole non sono reintegrati nelle aree produttive come avverrebbe in un ciclo biologico, ma sono nuovamente trasportati in altri spazi. Per queste ragioni l'agricoltura odierna, che ha ormai assunto i contorni di una vera e propria attività industrializzata, non rispetta i principi dell'economia circolare.

Le conseguenze ambientali e sociali di questo tipo di agricoltura sono:

- eutrofizzazione delle acque superficiali e sotto-superficiali causata da uso eccessivo e non oculato di fertilizzanti e concimi;
- perdita della biodiversità;
- aumento dell'emissione dei gas serra;
- creazione di zone morte negli oceani;
- possibile presenza di sostanze inquinanti negli alimenti;
- esposizione ai fitofarmaci, sia per gli operatori agricoli, sia per i consumatori attraverso la dieta;
- cambiamenti climatici e maggiore vulnerabilità al loro impatto;
- aumento del debito indotto da diversi fattori, tra cui l'aumento dei costi per gli agricoltori associati all'uso di pesticidi;
- l'oligopolio dei fattori produttivi da parte delle multinazionali;
- l'incapacità dei piccoli produttori di competere nel mercato globale;
- la perdita di accesso alla terra, e quindi disomogeneità nella distribuzione delle risorse;

- impoverimento/degradazione del suolo, dovuto alla perdita di nutrienti e diminuzione della sostanza organica.

Questo ultimo aspetto è causato da un'agricoltura intensiva che utilizza fertilizzanti minerali incapaci di esplicare tutte quelle funzioni biologiche e fisico-chimiche che avvengono grazie alla presenza di sostanza organica nel terreno. Nel secolo scorso, l'uso combinato di fertilizzanti minerali, pesticidi e massiccia irrigazione, ha generato grande prosperità nel mondo agricolo, soddisfacendo la crescente domanda di prodotti (Creo et al., 2018). Da qualche anno, il trend si è invertito: la produttività dei terreni non solo non è cresciuta di pari passo con la popolazione mondiale, ma si è addirittura ridotta (Ellen MacArthur Foundation, 2013) anche a causa di nuove problematiche, quali la scarsità di acqua e il cambiamento climatico (Creo et al., 2018).

Nel dicembre 2015 la Commissione Europea pubblica la Comunicazione "L'anello mancante – Piano di Azione dell'Unione Europea per l'economia circolare" (Commissione Europea, 2015). Con il termine "anello mancante" si fa riferimento alla mancata valorizzazione dei rifiuti originati dall'economia lineare attraverso il processo di produzione di materie prime e beni. Una crescita incoraggiata dal consumismo ha generato un consumo eccessivo di risorse non rinnovabili oltrepassando notevolmente la capacità del pianeta e dei singoli ecosistemi di ripristinarle (Peano e Sottile, 2000), accumulando inoltre quantità elevate di rifiuti, spesso non riciclabili. Nel sistema agricolo moderno i flussi di materiali biologici diventano rifiuti inquinanti, come ad esempio il letame che, se distribuito in quantità eccessive, non diventa fertilizzante, ma fattore di inquinamento.

Nella concezione circolare dell'economia gli scarti e i rifiuti potrebbero ancora essere valorizzati, tramite il loro riutilizzo e prolungando al massimo la vita utile di ogni bene prodotto, considerando la possibilità di eventuali riparazioni e/o sostituzione delle singole parti, al posto della dismissione anticipata. In quest'ottica i rifiuti vengono fortemente limitati: i materiali e i componenti di un prodotto sono concepiti per far parte di un progetto che mira a ridefinire le funzionalità e gli scopi al termine della vita utile dei prodotti, in modo tale da mantenere la massima utilità il più a lungo possibile (Creo et al., 2018). Un aspetto fondamentale di questo tipo di economia associata all'ambito agricolo è quello di ricreare il legame tra le attività zootecniche e la terra, riportando al suolo la sostanza organica che è necessaria per scongiurare l'impoverimento. Questo modello economico applicato all'agricoltura si pone l'obiettivo inoltre di trovare una soluzione a queste problematiche, incrementando le performance produttive e migliorando le qualità del suolo, dell'acqua e dell'aria.

Ciò si può raggiungere anche attraverso lo sfruttamento del potenziale di riutilizzo dei residui agricoli e zootecnici. Uno dei punti chiave consiste, dunque, nel riconoscere l'effettivo potenziale che possiedono i sottoprodotti e gli scarti generati alla fine del processo produttivo, identificandoli come fonte di guadagno e non come un costo che deve essere sostenuto per il loro smaltimento.

Questo approccio innovativo impone una nuova visione dei processi produttivi, che dovrebbero produrre beni i cui componenti possano essere facilmente riutilizzabili, mirando alla massima riduzione dei rifiuti non riciclabili.

Tale modello è intenzionalmente rigenerativo: utilizza fonti di energia rinnovabili, riduce le distanze fisiche tra le varie fasi nel processo produttivo, elimina l'uso di sostanze tossiche e riadatta la concezione di rifiuto.

Patrick ten Brink dell'Istituto per la Politica Ambientale Europea (IEEP) afferma: "La transizione verso un'economia circolare permetterà di mantenere il valore delle risorse naturali e dei materiali all'interno dell'economia, minimizzando gli sprechi. Inoltre, salvaguarderà le risorse, limiterà l'impatto ambientale dell'inquinamento atmosferico, e aiuterà a creare nuovi posti di lavoro tramite lo sviluppo di nuove competenze" (Creo et al., 2018)

La valorizzazione di rifiuti organici e di processi fondati su bio-prodotti per un comparto industriale sostenibile (Provenzano e Seminara, 2013), getta le basi di una teoria economica definita "bioeconomia". Il suo ideatore, Nicholas Georgescu-Roegen, è stato tra i primi economisti a capire che le attività economiche e produttive avevano ridotto il processo economico a un semplice schema meccanico, senza considerare il possibile esaurimento delle risorse naturali.

In particolare, viene criticata l'inadeguatezza dell'economia tradizionale nell'approfondire l'importanza dell'utilizzazione, sfruttamento e riproducibilità delle risorse naturali. La bioeconomia, quindi, si riferisce ad un sistema che si fonda sull'uso intelligente delle risorse biologiche e rinnovabili provenienti dalla terra e dal mare come input industriali. La bioeconomia comprende la produzione di risorse biologiche rinnovabili e la loro trasformazione in prodotti a valore aggiunto quali alimenti, mangimi, bio-prodotti e bioenergie; per il suo approccio multisetoriale ha un forte potenziale d'innovazione ed è particolarmente attenta alla gestione sostenibile delle risorse naturali e degli scarti delle produzioni a qualsiasi titolo effettuati (Provenzano e Seminara, 2013).

Ha le caratteristiche di un modello inclusivo e multisetoriale, dove convergono diverse discipline; presuppone da un lato conoscenze più approfondite a livello settoriale, ma dall'altro necessita di

rendere la ricerca ampiamente interdisciplinare, in modo tale da scomporre in elementi semplici problemi complessi.

1.2 AGROECOLOGIA

L'agroecologia si riferisce allo studio analitico, comparativo o sperimentale dei processi biologici, ecologici e sociali che influenzano i sistemi agro culturali (Altieri, 1991).

Negli anni Settanta grazie a una forte spinta ambientalista, l'agroecologia assunse una forte importanza, traducendosi nella "riscoperta" delle tecnologie dell'agricoltura indigena, che adatta le colture alla variabilità ambientale, biologica ed economica per ridurre i rischi e preservare il suolo nel corso del tempo. Gli input rinnovabili sono alla base di questi processi, e coinvolgono la gestione di risorse diverse dalla coltura principale (Peano e Sottile, 2000).

In quest'ottica, il campo coltivato è un ecosistema in cui avvengono gli stessi processi biologici ed ecologici che si ritrovano nel ciclo delle sostanze nutritive, nel rapporto preda/predatore, nelle successioni colturali, ecc. (Altieri, 1991).

L'agroecologia analizza la forma, la dinamica e la funzione delle relazioni ecologiche in modo da "manipolare" gli agroecosistemi «per produrre meglio, con minori impatti negativi, con maggiore sostenibilità e con meno apporti esterni» (Altieri, 1991).

Uno degli aspetti più interessanti dell'agroecologia è la consapevolezza che l'agroecosistema non è influenzato e determinato esclusivamente da fattori biologici o ambientali, ma anche da importanti fattori sociali (ad esempio il coinvolgimento delle comunità locali, il contesto culturale, il rapporto tra produttore e consumatore) che impongono una lettura del sistema di produzione non solamente da un punto di vista agronomico, ma attraverso una prospettiva più ampia.

A differenza dell'approccio agronomico convenzionale, che si concentra sulla diffusione di tecnologie uniformi (uguali in tutti i contesti), l'agroecologia sottolinea principi vitali quali la biodiversità, il riciclo dei nutrienti, la sinergia e l'interazione tra colture, animali, suoli, la rigenerazione e la conservazione delle risorse. Le tecnologie promosse dall'agroecologia si basano sulle competenze locali e si adattano alle condizioni agro ecologiche e socioeconomiche di ogni contesto. In questo sistema ogni singolo elemento è interconnesso e dipendente dagli altri, interagisce sinergicamente con l'ambiente fisico circostante e fornisce le risorse e i servizi fondamentali per l'agricoltura e l'allevamento (Peano e Sottile, 2000).

Anche se il termine agroecologia ha assunto significati diversi in base agli autori di riferimento (Altieri, 1991; Wezel e Soldat, 2009; Stassart et al., 2012) è tuttavia possibile identificare una serie di principi comuni descritti ed enfatizzati da tutti gli autori:

- aumentare il riciclaggio della biomassa e ottenere un flusso in equilibrio di sostanze nutritive, ad esempio attraverso l'utilizzo di compost e l'applicazione di tecniche colturali quali il sovescio;
- assicurare condizioni favorevoli per il terreno (colture di copertura, policoltura, pacciamature con materiale organico), garantendo un alto livello di sostanza organica nei suoli e un'elevata attività biologica negli stessi;
- minimizzare la perdita di nutrienti attraverso l'attuazione di sistemi chiusi in cui l'interazione fra allevamento, produzione e fertilizzazione permetta il mantenimento e/o la crescita di sostanza organica e vitalità nei suoli senza ricorrere a input esterni e/o semi-chiusi in cui, magari in assenza di allevamento animale, si fa ricorso a sovesci, rotazioni e policoltura per salvaguardare la fertilità dei suoli;
- promuovere la biodiversità funzionale del sistema (specie, razze, microrganismi del suolo, paesaggi);
- promuovere le interazioni biologiche all'interno dei sistemi (riduzione input esterni), in particolare prestando attenzione alla presenza di entomofauna utile per creare ambienti con popolazioni di insetti in equilibrio, riducendo/modificando la necessità di input per la difesa delle colture.

L'applicazione di tali principi riduce l'uso di risorse non rinnovabili che possono causare danni per l'ambiente o la salute di agricoltori e consumatori (Pretty, 2008) e attiva dinamiche endogene di sviluppo anche da un punto di vista sociale.

L'agricoltura stessa, infatti, è una coevoluzione di cultura e natura, uomo e paesaggio (Zimmerer e Basset, 2003; Wells, 2011)

L'agricoltura industriale e il sistema alimentare globalizzato hanno invalidato sempre più questa relazione, ampliando le distanze fisiche e cognitive tra produttori, consumatori e ambiente. Occuparsi di agricoltura sostenibile, di conseguenza, significa porre attenzione alla sua natura socio-ecologica, e comprendere che l'agricoltura produce paesaggi sociali, culturali ed ecologici (Peano e Sottile, 2000).

1.3 L' AGRICOLTURA BIOLOGICA

La produzione biologica è un sistema globale di gestione dell'azienda agricola e di produzione agroalimentare basato sull'interazione tra le migliori pratiche ambientali, un alto livello di biodiversità, la salvaguardia delle risorse naturali, l'applicazione di criteri rigorosi in materia di benessere degli animali e una produzione confacente alle preferenze di taluni consumatori per prodotti ottenuti con sostanze e procedimenti naturali. Il metodo di produzione biologico esplica pertanto una duplice funzione sociale, provvedendo da un lato a un mercato specifico che risponde alla domanda di prodotti biologici dei consumatori e, dall'altro, fornendo beni pubblici che contribuiscono alla tutela dell'ambiente, al benessere degli animali e allo sviluppo rurale.

Essa si basa sull'utilizzo di risorse rinnovabili, la conservazione della biodiversità, non utilizza sostanze chimiche di sintesi né colture transgeniche. La produzione biologica è contraddistinta dal logo rilasciato dall'ente certificatore di appartenenza.

Il contributo del settore dell'agricoltura biologica è in aumento nella maggior parte degli Stati membri della Comunità Europea. La domanda dei consumatori è cresciuta notevolmente negli ultimi anni. Le recenti riforme della Politica Agricola Comune, con l'accento da esse posto sull'orientamento al mercato e sull'offerta di prodotti di qualità confacenti alle esigenze dei consumatori, saranno probabilmente un ulteriore stimolo per il mercato dei prodotti biologici. In questo contesto, la normativa sulla produzione biologica assume una funzione sempre più rilevante nell'ambito della politica agricola ed è strettamente correlata all'evoluzione dei mercati agricoli (Reg. CEE 834/2007, Consiglio 28 giugno 2007).

Gli organismi geneticamente modificati (OGM) e i prodotti derivati od ottenuti da OGM sono incompatibili con il concetto di produzione biologica e con la percezione che i consumatori hanno dei prodotti biologici. Essi non devono quindi essere utilizzati nell'agricoltura biologica o nella trasformazione di prodotti biologici.

L'agricoltura biologica dovrebbe fare affidamento prevalentemente sulle risorse rinnovabili nell'ambito di sistemi agricoli organizzati a livello locale. Al fine di limitare al minimo l'uso di risorse non rinnovabili, i rifiuti e i sottoprodotti di origine animale e vegetale dovrebbero essere riciclati per restituire gli elementi nutritivi alla terra.

La produzione animale diventa così una componente essenziale dell'organizzazione della produzione agricola nelle aziende biologiche, in quanto fornisce la materia organica e gli elementi

nutritivi necessari alle colture e quindi contribuisce al miglioramento del suolo e allo sviluppo di un'agricoltura sostenibile.

Al fine di evitare l'inquinamento dell'ambiente, in particolare delle risorse naturali come il suolo e l'acqua, la produzione animale biologica dovrebbe prevedere, in linea di principio, uno stretto legame tra tale produzione e la terra, idonei sistemi di rotazione pluriennale e l'alimentazione degli animali con prodotti vegetali provenienti dall'agricoltura biologica coltivati nell'azienda stessa o in aziende biologiche vicine (Reg. CEE 834/2007, Consiglio 28 giugno 2007).

1.4 LA PRODUZIONE ANIMALE BIOLOGICA

Secondo il Regolamento 834/07 e il Regolamento 889/08, un allevamento basato sul metodo biologico mostra un legame indissolubile con la terra, tanto da non prevedere in alcun modo la produzione animale "senza terra". Gli animali allevati in regime biologico, inoltre, devono avere a disposizione un terreno esclusivamente bio, in modo da evitare possibili residui nei prodotti poi somministrati agli animali.

La produzione zootecnica biologica si basa sul rigoroso rispetto del benessere animale, attraverso la scelta di razze che possano ben adattarsi alle condizioni del territorio locale, la tutela della salute e il "fattore terra", cioè la presenza di un terreno per il pascolamento.

Ogni specie allevata deve poter esprimere il proprio comportamento naturale, usufruendo di uno spazio minimo definito dal regolamento. Nel rispetto del benessere animale è vietata qualsiasi tipo di mutilazione che provochi danno o sofferenza.

Deve essere inoltre garantita la libertà di movimento, sia nei ricoveri sia all'esterno con la possibilità di accedere a pascoli o paddock.

Anche l'alimentazione deve essere ponderata nel rispetto dei fabbisogni nutrizionali di ciascuna specie e prodotta esclusivamente con alimenti di origine biologica controllata, dai foraggi ai mangimi (in assenza totale di Organismi Geneticamente Modificati o derivati da O.G.M.); lo scenario ideale propone che le materie prime provengano dalla stessa azienda stessa zona in cui si trova l'allevamento.

Per legge infine, vengono preferite le cure omeopatiche e fitoterapiche. Ma nel caso in cui queste non siano sufficienti, e la cura sia necessaria per evitare sofferenze o disagi all'animale, è consentito usare antibiotici o medicinali veterinari allopatrici con l'isolamento dell'animale trattato.

Se sono necessari più di tre cicli nell'arco di 12 mesi (o più di uno per individui di età inferiore a un anno), l'animale o i prodotti derivati non possono essere venduti come biologici e occorre prevedere un periodo di conversione per tornare ai parametri prestabiliti. Sono inoltre vietati l'utilizzo di stimolatori di crescita o trattamenti ormonali per incrementare le rese produttive.

1.6 SOSTANZA ORGANICA NEL SUOLO E LA FERTILIZZAZIONE

La Soil Science Society of America (SSSA, 1987) definisce la sostanza organica (SOM) come la frazione organica del suolo con l'esclusione dei residui animali e vegetali non decomposti.

Il carbonio è il primo elemento della SOM (48%-58% del peso totale) gli altri elementi comprendono l'idrogeno (H), l'ossigeno (O), l'azoto (N), il fosforo (P) e lo zolfo (S).

I componenti chimici della SOM comprendono quelli derivati dai residui animali e vegetali, e dai microrganismi e dai loro prodotti di trasformazione (sostanze umiche).

Tra le principali funzioni della sostanza organica troviamo:

- aumento della capacità di ritenzione dei nutrienti evitandone la lisciviazione e rendendoli disponibili attraverso il processo di mineralizzazione;
- nutrizione indiretta (incremento della capacità di scambio cationico);
- aumento della ritenzione idrica;
- miglioramento delle proprietà fisiche del terreno;
- riduzione dell'erosione del suolo;
- favorire il sequestro di carbonio;
- ridurre l'inquinamento (detossificazione, ritenzione e adsorbimento dei fitofarmaci);

La fertilizzazione dei terreni, quindi, è fondamentale per mantenere buone caratteristiche del terreno che consentano rese soddisfacenti e qualità dei prodotti. La carenza di sostanze nutritive provoca una crescita irregolare della pianta, scarsa resistenza alle malattie e scarsa produzione, sia in termini di quantità che di qualità ma, d'altra parte, i nutrienti in eccesso determinano uno dispendio di risorse, oltre a influire in maniera negativa sull'inquinamento delle acque sotterranee e sull'accumulo di sostanze pericolose (come i metalli pesanti) nei prodotti agricoli (Creo et al., 2018).

L'agricoltura moderna inizia a scontare la separazione tendenziale tra attività zootecniche e coltivazioni e quest'ultime si trovano spesso in deficit di sostanza organica, soprattutto in zone a

forte specializzazione e con attività intensive che utilizzano essenzialmente la concimazione minerale (Centemero, 2002).

Tra le buone pratiche di concimazione (le quali hanno anche come scopo quello di ridurre l'impatto ambientale generato dall'agricoltura) è presente l'impiego di materiale organico come le deiezioni animali (letame, pollina ecc.), compost, digestati da impianti di digestione anaerobica e fanghi di depurazione. Questo induce ad un'importante riduzione dell'uso di prodotti di sintesi e chimici, riducendo al contempo le spese per la concimazione e il volume di rifiuti da smaltire (Creo et al., 2018). In questo modo i sottoprodotti della zootecnia e dell'agricoltura vengono valorizzati ed integrati pienamente nell'ottica dell'economia circolare. La concimazione organica, quindi, ha lo scopo di apportare artificialmente al terreno sostanza organica (di origine vegetale, animale o mista) per migliorarne la fertilità in senso lato (Giardini, 2003).

I concimi organici possono avere:

- origine mista: letame, terricciati, compost, ecc.;
- origine animale: deiezioni solide, ossa, sangue, cornunghia, residui di cuoio, ecc.;
- origine vegetale: residui colturali, piante verdi, torba, pannelli, vinacce, alghe, borlande, ecc.

1.7 FERTILIZZANTI ORGANICI

Sono composti del carbonio, di origine animale o vegetale, legati chimicamente in forma organica agli elementi principali della fertilità; vengono pertanto distinti in azotati e azoto-fosfatici.

Il valore fertilizzante dei concimi è dovuto alla presenza di uno o più elementi chimici della fertilità, classificati in base alle esigenze delle piante in:

- 1.Principali: Azoto (N), Fosforo (P), Potassio (K);
- 2.Secondari: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Zolfo (S), Sodio (Na);
- 3.Oligoelementi o Microelementi: Boro (B), Manganese (Mn), Rame (Cu), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Molibdeno (Mo), Cobalto (Co).

I concimi organici possono essere suddivisi in:

- **concimi organici azotati** (solidi e liquidi): il titolo minimo di azoto organico, di origine vegetale o animale, risulta variabile, a seconda del prodotto considerato, dal 3 al 10% (ad eccezione della borlanda fluida con l'1,5%) (**Tab.1**);

- **concimi organici NP**: la somma del tenore di azoto organico e di quello di P₂O₅ deve essere pari ad almeno il 5% (**Tab.1**).

Tab.1 Composizione chimica dei concimi organici. CRPA, 2004

Concimi organici azotati	N	P₂O₅	K₂O	N+P₂O₅	C organico
Pennone	10	-	10	-	-
Cornunghia torrefatta	9	-	-	-	-
Cornunghia naturale	9	-	-	-	-
Pelli e crini (pellicino o pellicini)	5	-	-	-	-
Cuoiattoli	5	-	-	-	-
Cuoio torrefatto	5	-	-	-	-
Crisalidi	5	-	-	-	-
Sangue secco	9	-	-	-	-
Farina di carne (carniccio)	4	-	-	-	-
Panelli	3	-	-	-	-
Borlanda essiccata	3	-	6	-	20
Cascami di lana	8	-	-	-	-
Miscela di concimi organici azotati	5	-	-	-	-
Epitelio animale idrolizzato	4	-	-	-	15
Letame essiccato	3	-	-	-	25
Cuoio e pelli idrolizzati	10	-	-	-	-
Concimi organici azotati fluidi	-	-	-	-	-
Borlanda fluida	1,5	-	4	-	10
Carniccio fluido in sospensione	3	-	-	-	10
Sangue fluido	4	-	-	-	14
Concimi organici NP	-	-	-	-	-
Guano	3	3	-	6	-
Farina di pesce	5	3	-	8	-
Farina d'ossa	2	18	-	20	-
Farina d'ossa degelatinata	1	15	-	20	-
Rufetto d'ossa	3	12	-	15	-
Concime d'ossa	2	11	-	13	-
Pollina essiccata	2	2	-	5	-
Miscela di concimi organici NP	3	3	-	6	-
Residui di macellazione idrolizzati	3	2	-	5	22
Letame suino essiccato	2,5	2	-	5	30

Una delle prescrizioni che il D. Lgs.75/2010 impone per tutte le tipologie di concime organico è che il contenuto di piombo totale non deve essere superiore a 30 mg/kg sul tal quale (Allegato 1B, comma 1.7 bis).

Le altre prescrizioni specifiche per tipologia di prodotto riguardano:

- i contenuti di rame assimilabile e zinco assimilabile che non devono essere superiori, rispettivamente, a 750 mg/kg sulla sostanza secca e 1500 mg/kg sulla sostanza secca nel "letame essiccato" e nel "letame suino essiccato";
- il contenuto di cromo estraibile che non deve essere superiore a 1800 mg/kg sul tal quale nel prodotto definito "cuoio e pelli idrolizzati".

1.7.1 EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO

Si tratta delle deiezioni del bestiame o una miscela di lettiera e di deiezioni di bestiame, anche sotto forma di prodotto trasformato (direttiva nitrati CEE n. 676/1991). Sono composti da: feci, urine, lettiera, scarti di alimenti, acque di diluizione (piovana o lavaggio degli impianti).

Le deiezioni liquide e solide degli animali allevati possono essere pienamente utilizzate in agricoltura indipendentemente dalla produzione di letame, perché fonti di sostanza organica ed elementi nutritivi.

Le caratteristiche degli effluenti di allevamento cambiano in funzione della specie allevata, del tipo di alimentazione (riproduzione o ingrasso), delle modalità di alimentazione che determinano la consistenza e la quantità delle deiezioni, ma anche in funzione delle tecniche di allevamento (la tipologia di stabulazione determina la presenza o assenza di paglia, acque di diluizione), dei sistemi di rimozione delle deiezioni, degli impianti di trattamento, delle modalità di stoccaggio e delle condizioni climatiche.

Gli effluenti di allevamento possono essere classificati in:

- **SOLIDI O PALABILI**

Sono l'insieme delle deiezioni e del materiale di lettiera in uno stato tale da riuscire a formare cumuli. La sostanza secca varia dal 20 al 30% in funzione del grado di maturazione.

- **LIQUIDI O NON PALABILI**

Sono l'insieme delle deiezioni e dell'acqua di lavaggio, di diluizione ed eventuale lettiera.

La sostanza secca inferiore al 20%, ne consente il pompaggio e in genere vengono stoccati in grosse vasche.

Gli effluenti di allevamento hanno in generale due funzioni:

a) NUTRITIVA: i nutrienti sono presenti sotto forma:

- solubile e quindi prontamente assimilabile (frazione minerale);
- incorporati nella sostanza organica con legami più o meno forti, e come tali utilizzabili dalla coltura solo dopo mineralizzazione (frazione organica);

b) STRUTTURALE: la sostanza organica migliora le caratteristiche fisiche del terreno (ammendante) e la struttura del terreno, favorendo la stabilità degli aggregati (diversi effetti indiretti...). L'effetto strutturale dipende dalla quantità di sostanza organica apportata e dal grado di umificazione

L'azoto negli effluenti di allevamento può essere presente in tre forme: azoto minerale, azoto organico mineralizzabile e azoto organico residuale (**Fig.1**).

L'azoto minerale è la quota solubile e prontamente assimilabile dalla pianta.

L'azoto organico invece si suddivide in:

- Azoto organico mineralizzabile: frazione facilmente degradabile ma risulta utile alle piante nella stessa stagione di coltura;
- Azoto organico residuale: frazione di più difficile degradabilità, che perdura nel terreno e viene reso disponibile solo in periodi di tempo successivi.

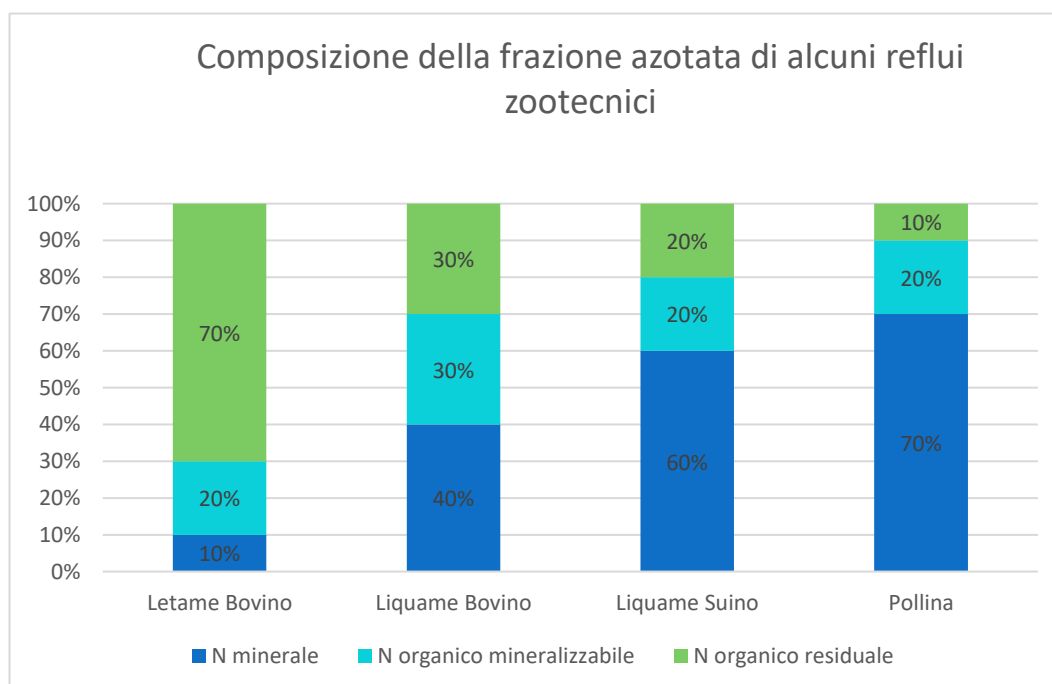


Fig.1. Composizione della frazione azotata di alcuni reflui zootecnici (DAPPV, Università di Padova Padova)

1.7.1.1 LIQUAMI BOVINI E SUINI

Il liquame è un prodotto zootecnico fluido ottenuto dalle deiezioni solide e liquide degli animali negli allevamenti bovini e suini, a cui si è aggiunta acqua di bevanda e acqua di lavaggio.

Il contenuto di sostanza secca varia in base al tipo di animale allevato, alla conservazione e alla quantità di acqua di lavaggio impiegata in azienda (**Tab.2**).

Gli elementi nutritivi contenuti nella sostanza organica sono disponibili con gradualità nel suolo grazie alla mineralizzazione. Questo processo è relativamente rapido, favorito da un rapporto C/N abbastanza stretto.

Inoltre, il 15-20% della sostanza secca è sotto forma minerale, attribuendo ai liquami una durata d'azione intermedia tra quella del letame e quella dei concimi chimici (Giardini, 2003).

I liquami in condizioni anaerobiche possiedono un elevato livello di ammoniaca, generano diversi prodotti fermentativi (es. H₂S, CH₄; acido butirrico, ecc.) e sono dotati di un quantitativo di N organico, il quale è facilmente mineralizzabile.

In condizioni aerobiche l'N organico è presente in parte sotto forma di proteine batteriche piuttosto che come composti ammoniacali.

Tab.2 Caratteristiche chimiche dei liquami prodotti da diverse specie animali (CRPA, 1980)

	Sostanza Secca (%t.q.)	Solidi Volatili (% SS)	Azoto (Kg·t ⁻¹ t.q.)	Fosforo (Kg·t ⁻¹ t.q.)	Potassio (Kg·t ⁻¹ t.q.)	Rame (mg·kg ⁻¹ SS)	Zinco (mg·kg ⁻¹ SS)
Bovini da latte	ott-16	75-85	3,9-6,3	1,0-1,6	3,2-5,2	40-70	150-750
Bovini da carne	07-ott	75-85	3,2-4,5	1,0-1,5	2,4-3,9	40-70	150-750
Suini	1,5-6,0	65-80	1,5-5,0	0,5-2,0	1,0-3,1	250-800	600-1000

1.7.1.2 LETAME BOVINO

Il letame di stalla o stallatico è formato dalle deiezioni solide e liquide degli animali in stabulazione, combinate a materiali costituenti la lettiera.

È un fertilizzante organico tra i più impiegati, sia perché prodotto in notevoli quantità, sia perché possiede un alto valore agronomico.

La composizione del letame varia a seconda della specie animale allevata, dell'età degli animali, dal loro stato di salute, dal tipo di alimentazione, dal materiale di lettiera (paglia, stocchi, torba, segatura, ecc.) **(Tab.3)**.

Il letame ha sempre avuto un ruolo determinante nell'agricoltura del passato, tanto da essere state messe a punto tecniche molto precise per la preparazione e la conservazione dello stesso per contenere al massimo le perdite di azoto (N) per volatilizzazione e ottenere un concime (cosiddetto burro nero) con caratteristiche agronomiche esaltate.

La moderna agricoltura non è in grado di riservare al letame le giuste attenzioni per renderlo un potente concime, perché viene considerato ancora un semplice sottoprodotto aziendale ed è poco sfruttato a livello agronomico (Giardini, 2003).

In generale si può affermare che il letame degli equini e degli ovini tende ad essere piuttosto asciutto, ricco di elementi nutritivi e produce calore con la fermentazione; viene principalmente utilizzato in orto-floricoltura (Giardini, 2003). Quello suino è piuttosto acquoso e poco pregiato per la possibile presenza di metalli pesanti dovuta alla dieta somministrata ai suini, spesso ricca in zinco e rame; inoltre è relativamente scarso in calcio ed è caratterizzato da un basso trasferimento termico, utile in caso dell'orticoltura e floricoltura per la formazione dei cosiddetti "letti caldi". È sconsigliato l'utilizzo di questo refluo in terreni acidi poiché ne abbasserebbe ulteriormente il pH.

Il letame bovino invece possiede caratteristiche intermedie ed è indiscutibilmente il più utilizzato. Solitamente la quota di letame utilizzato in campo corrisponde a 20-60 t/ha e viene sparso prima dell'aratura. Per contenere al minimo le perdite per ossidazione della sostanza organica e la volatilizzazione di ammoniaca, si limita al minimo l'esposizione all'aria. La sua azione si protrae fino al terzo o quarto anno con intensità decrescente, la quale dipende, comunque, anche dal tipo di terreno, dalla dose, dalla profondità di interrimento, dal clima, dal grado di maturazione e dall'epoca di distribuzione (Giardini, 2003).

Esistono diverse modalità di gestione del letame:

- distribuzione di letame fresco (sheet composting);
- letame in condizioni non controllate: l'urea è convertita in ammonio con l'ossidazione della sostanza organica; i carboidrati vengono fermentati con relativa produzione di calore e gas (es. metano, CO₂); avviene l'umificazione della sostanza organica e l'immobilizzazione dell'N nei batteri; le condizioni sono variabili (anaerobiosi/aerobiosi);
- letame freddo: il letame viene compattato in modo tale da creare condizioni anaerobiche; la temperatura rimane sui 30°C; ostacola la volatilizzazione di NH₃;
- letame caldo: condizioni controllate aerobiche-anaerobiche: graduale aggiunta ogni 2-4 giorni di letame, il quale si decompone aerobicamente, raggiungendo i 40-50°C fino all'aggiunta di altro letame; lo strato sottostante diventa anaerobico e la temperatura diminuisce a circa 30°C;
- compostaggio: decomposizione aerobica (similmente a quanto avviene negli ecosistemi naturali). La temperatura in genere supera i 60°C.

Grazie ad un elevato contenuto di azoto residuale, l'azione del letame permane per 3-4 anni.

La sua azione residua varia in funzione di:

- a) Tipo di terreno: in particolare nei terreni sabbiosi l'azione del letame permane molto meno rispetto ai terreni argillosi.
- b) Andamenti climatico: a temperature elevate l'ammoniaca contenuta nel letame evapora facilmente.
- c) Grado di maturazione
- d) Epoca di distribuzione

Tab.3. Caratteristiche del letame bovino (CRPA, 1980)

	Sostanza Secca (%t.q.)	Solidi Volatili (% SS)	Azoto (kg·t ⁻¹ t.q.)	Fosforo (kg·t ⁻¹ t.q.)	Potassio (kg·t ⁻¹ t.q.)
Letame Bovino	20-30	70-75	3-7	0,4-1,7	3,3-8,3

1.7.1.3 POLLINA

La pollina è un concime organico ottenuto dal riciclaggio per trattamento industriale delle deiezioni degli allevamenti avicoli.

Il prodotto tal quale, così come asportato dai capannoni di allevamento, presenta un elevato contenuto di sostanza secca e di conseguenza un quantitativo di sostanza organica ed elementi nutritivi maggiore rispetto ai liquami, i quali sono caratterizzati da un'alta percentuale di umidità (Giardini, 2003).

L'elemento fertilizzante più rappresentativo è l'azoto (N), sottoforma di sali dell'acido urico (50%), ma anche in forma organica (40%) e ammoniacale.

Possiede una buona dotazione di fosforo. Il rapporto C/N e la forma di N fanno della pollina un fertilizzante ad azione relativamente rapida; questo rende possibile la distribuzione in pre-epicatura, prima della semina, oppure, nel caso di grandi quantità da distribuire, prima dell'aratura per evitare effetti fitotossici a causa dell'eccessiva salinità (Giardini, 2003).

1.7.2 DIGESTATO ANAEROBICO

Gli impianti di biogas hanno lo scopo di generare energia elettrica attraverso il metano, il quale viene prodotto con la fermentazione anaerobica delle biomasse immesse nel digestore.

Le biomasse possono essere classificate, a seconda dell'origine, come da "colture dedicate", quali mais e cereali autunno vernini o "da sottoprodotti", come gli effluenti di allevamento, i residui delle lavorazioni agroindustriali (vinacce, sanse e scarti di lavorazione dell'industria agroalimentare), i residui organici originati dalla raccolta differenziata, sottoprodotti di origine animale (SOA), i fanghi di depurazione e la frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) (Negri e Maggiore, 2012). Al termine del processo di fermentazione anaerobica il materiale di risulta prende il nome di digestato.

Rispetto agli effluenti di allevamento questo prodotto ha il vantaggio di non rilasciare odori particolarmente molesti e di avere un buon rapporto tra l'azoto totale e l'azoto ammoniacale (**Fig.2**). Infatti, il letame e altri sottoprodotti di origine zootecnica contengono composti organici volatili (acido butirrico, acido valerico e altri 80 composti) che possono produrre odori sgradevoli (Lukehurst et al., 2010).

La digestione anaerobica riduce notevolmente la concentrazione di questi composti e il potenziale rilascio di odori persistenti durante lo stoccaggio, è notevolmente ridotto (Hansen et al., 2004).

Il digestato può essere usato tal quale prelevandolo da una vasca di accumulo oppure dopo un'opportuna divisione all'uscita del digestore, in separato solido e separato liquido (Negri e Maggiore, 2012). Sottoponendo il digestato a separazione solido/liquido si ottengono due frazioni:

1) frazione chiarificata, fertilizzante e con buona disponibilità di azoto. Contiene un'elevata percentuale di azoto ammoniacale sull'azoto totale, il rapporto N/P piuttosto elevato (**Fig.4**)

2) frazione solida, con buone proprietà ammendanti. Concentra la sostanza organica del digestato e contiene un'elevata percentuale di azoto organico sull'azoto totale e buona parte del fosforo. (**Fig.3**)

La digestione anaerobica determina una riduzione della sostanza organica, ma non riduce la dotazione di azoto, fosforo e potassio della biomassa caricata nel digestore, rendendola utilizzabile come fertilizzante nelle principali culture agrarie (Rossi e Mantovi, 2012).

In agricoltura biologica la fertilità dei suoli è uno degli elementi centrali che da sempre hanno caratterizzato tale metodo di produzione agroalimentare. I principali sistemi utilizzati per favorire la fertilità dei suoli includono:

a) la rotazione colturale,

b) la giusta concimazione, realizzata tramite l'utilizzo della sostanza organica preferibilmente compostata o di concime naturale di origine animale. Qualora con tali metodi non si riescano a soddisfare le esigenze nutrizionali delle colture, il produttore biologico può ricorrere anche al digestato (D'Imporzano et al., 2018).

L'utilizzo del digestato in agricoltura biologica è dato dall'allegato I al Reg. CE 889/08, in conformità alla norma del Reg. CE 834/07 che autorizza l'utilizzo del "*digestato da biogas contenente sottoprodotti di origine animale codigestati con materiale di origine vegetale o animale*".

Le condizioni poste dal regolamento sono che "*i sottoprodotti di origine animale (anche di animali selvatici) di categoria 3 e il contenuto del tubo digerente di categoria 2 [categorie 2 e 3 definite nel regolamento (CE) n. 1069/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio] non devono provenire da allevamenti industriali (per tali si intendono quegli allevamenti in cui si verifica almeno una delle seguenti condizioni: animali tenuti in assenza di luce naturale o in condizioni di illuminazione*

controllata artificialmente per tutta la durata del loro ciclo d'allevamento o animali permanentemente stabulati su pavimentazione esclusivamente grigliata oppure che durante l'intero ciclo di allevamento non dispongono di una zona di riposo dotata di lettiera vegetale). I processi devono essere conformi al regolamento (UE) n. 142/2011 della Commissione. Non applicabili alle parti commestibili della coltura.”

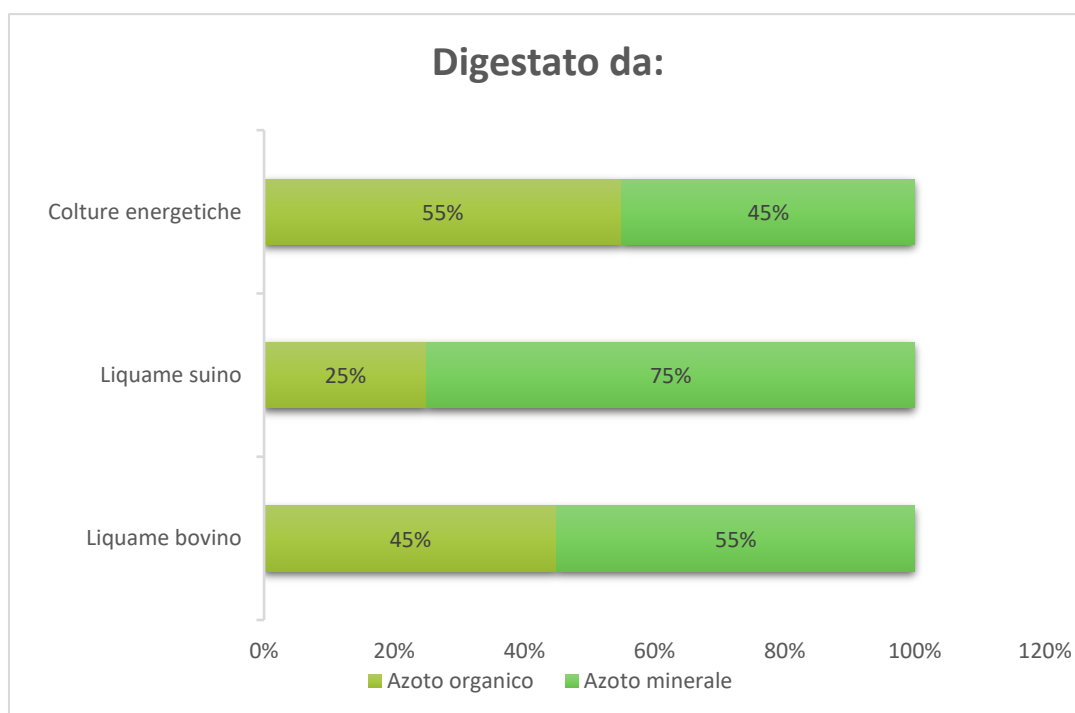


Fig.2. Concentrazione percentuale di azoto organico e minerale in digestato proveniente da colture energetiche, liquame suino e liquame bovino. (Banca dati CRPA)

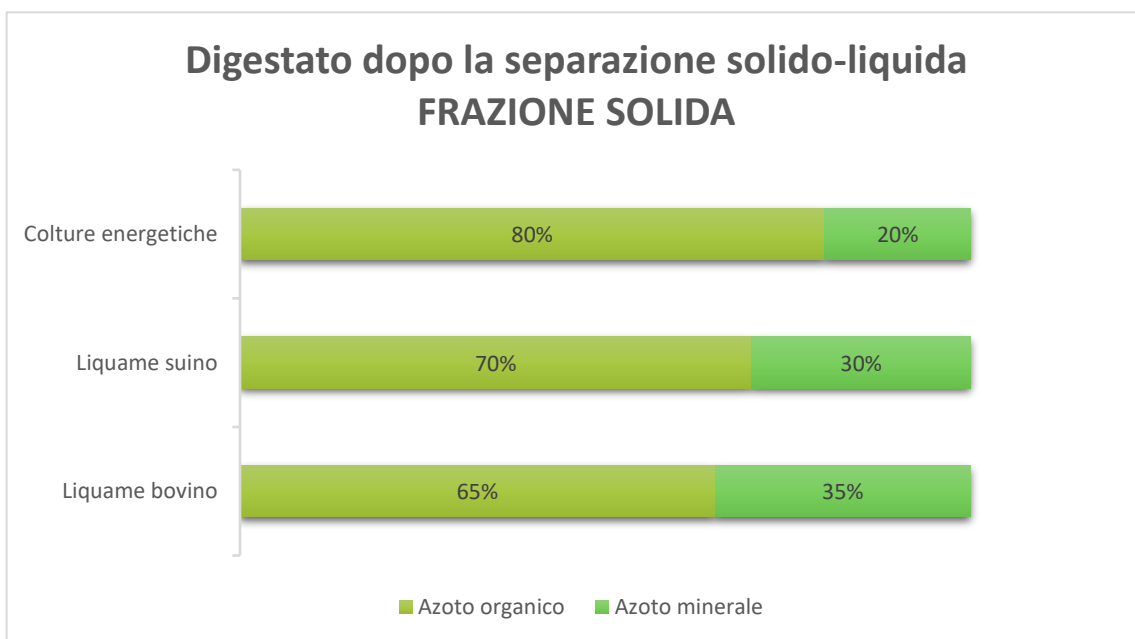


Fig.3 Concentrazione percentuale di azoto organico e minerale nella frazione solida del digestato proveniente da colture energetiche, da liquame suino e bovino (Banca dati CRPA)

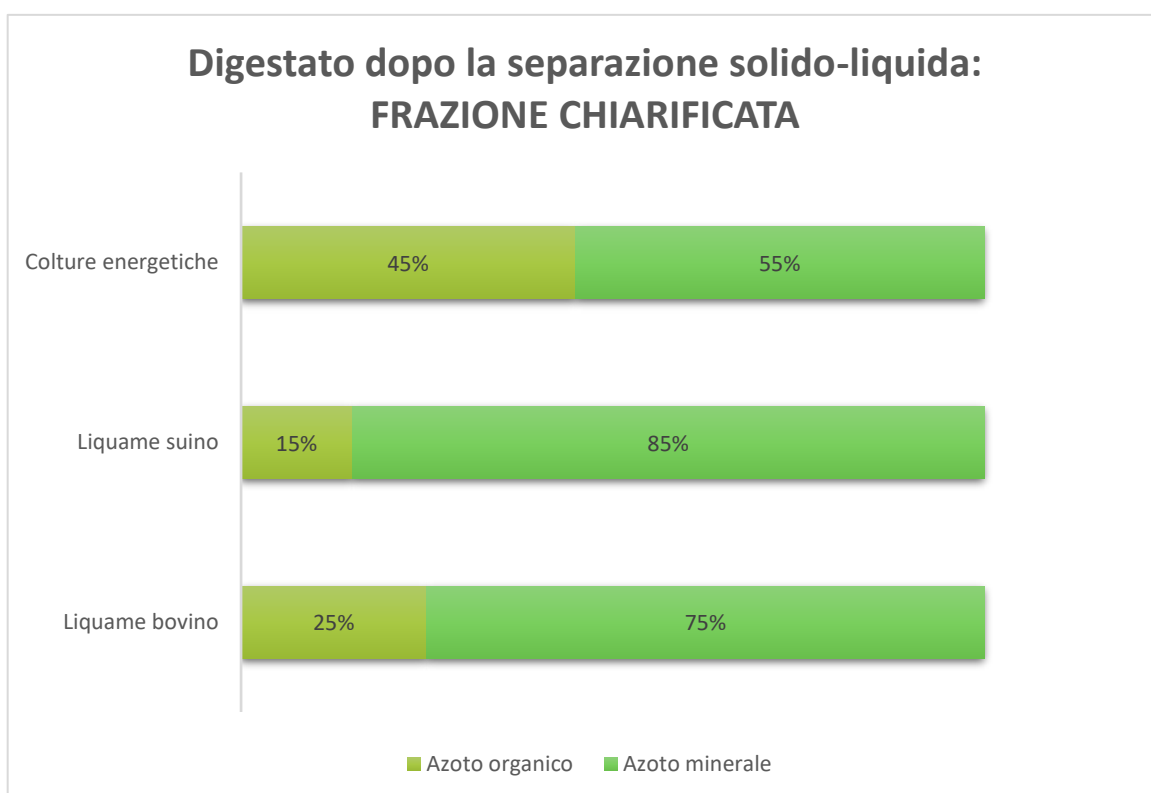


Fig.4 Concentrazione percentuale di azoto organico e minerale nella frazione chiarificata del digestato proveniente da colture energetiche, da liquame suino e bovino (Banca dati CRPA)

1.7.3 SUBSTRATO SPENTO DI FUNGAIA

Nel 2013, la produzione globale di funghi era stimata a circa 10 milioni di tonnellate.

Attualmente l'Italia è uno dei i principali produttori mondiali di funghi e tartufi (fonte FAOSTAT, 2018) e, secondo i valori medi delle annate 2016 -2017, è stata stimata una produzione di oltre 80.000 tonnellate (AIF, 2018). In particolare, la regione Veneto si colloca al primo posto nel panorama produttivo italiano (ISTAT, 2017), producendo circa la metà della resa nazionale. I grandi protagonisti di questo scenario sono due gruppi consorziati dislocati nelle province di Verona e Treviso, cui aderiscono la maggior parte delle fungaie presenti sul territorio.

Secondo Williams et al. (2001) per produrre un chilogrammo di funghi sono necessari circa 5 chilogrammi di substrato, producendo di conseguenza notevoli quantità di substrato spento di fungaia (SMS) ogni anno nell'industria fungicola italiana e la corretta gestione di questo materiale rappresenta una grande sfida ambientale in termini di sostenibilità.

SMS è un materiale composto da letame equino, pollina e paglia di frumento, ottenuto alla fine del ciclo di coltivazione dei funghi. Tali materie prime vengono miscelate e innaffiate fino a raggiungere una umidità di circa il 72% e sottoposte a pastorizzazione per circa 24 ore; l'inoculo della massa con il micelio rappresenta l'ultima fase di lavorazione nel processo di produzione del substrato di coltivazione per *Agaricus bisporus* (Rizzo, 2017). La produzione del substrato di coltivazione è demandata a ditte specializzate che riforniscono le fungaie, le quali si occupano della fase di coltivazione e raccolta. Le aziende sono altamente specializzate e il processo standardizzato: utilizzano camere di coltivazione completamente automatizzate dotate di sistemi di controllo della temperatura, dell'umidità e di qualsiasi altro parametro ambientale, al fine di ottenere un ottimo rendimento e una qualità elevata del prodotto. Alla fine del ciclo di crescita, il substrato "esaurito" viene sottoposto a pastorizzazione per eliminare insetti, agenti patogeni e micelio eventualmente attivo e rimosso dalle camere di crescita dei funghi (Beyer, 2003).

Il materiale in uscita è una matrice organica arricchita con sostanze nutritive, in particolare l'azoto, che può svolgere un ruolo agronomico rilevante quando viene usato come fertilizzante o ammendante (Jordan et al., 2008; Roy et al., 2015).

La coltivazione di funghi è già di per sé una sorta di "attività di riciclaggio dei rifiuti", che riutilizza uno scarto proveniente dall'agricoltura (pollina, letame di cavallo e paglia) e produce un rifiuto che può essere riutilizzato in agricoltura (SMS) (Gobbi et al., 2018).

Invece di essere considerato un rifiuto da smaltire, SMS può essere utilizzato anche nel biorisanamento del suolo e dell'acqua (Lau et al., 2003; Law et al., 2003), nel controllo dei parassiti per diverse colture (Wang e Huang, 2000) e come ammendanti organici (Rynker, 2004).

L'aggiunta di tale materiale al terreno aumenta i livelli di P, K e Mg (Maher, 1994).

In una prova condotta da Paredes et al. (2016) su lattuga (var. *Linus*) sono stati utilizzati due tipologie di substrati: il primo proveniva dalla coltivazione dell'*A. bisporus* e il secondo era composto per metà da SMS e l'altra metà da substrato proveniente dalla coltivazione di *Pleurotus*. L'applicazione di SMS al suolo come fertilizzante non ha alterato la salinità del terreno o il pH, né ha provocato effetti fitotossici sulle piante di lattuga e ha ottenuto una resa vegetale e una concentrazione di nutrienti simili o maggiori rispetto a quelle ottenute nei terreni non concimati e fertilizzati con concimi inorganici, fatta eccezione per il contenuto di K, Fe e Zn. Tuttavia, ciò non ha ridotto la produzione di lattuga, indicando che SMS riesce a soddisfare il fabbisogno nutrizionale della coltura (Paredes et al., 2016).

Il substrato spento di fungaia può essere sottoposto ad un periodo di maturazione, durante il quale le quantità di N e P rimangono pressoché invariate; al contrario, l'elemento K diminuisce considerevolmente a causa della lisciviazione (**Tab.4**). Se SMS viene lasciato maturare all'aria aperta i principali cationi nel percolato sono K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; i principali anioni invece sono Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^{2-} (Uzun, 2016). SMS dovrebbe essere ammassato in cumuli non più alti di 90 cm per evitare concentrazioni elevate di nitrati nel percolato sotto la pila (Guo et al., 2001).

La conducibilità elettrica di SMS fresco è di circa 4 dS/m; questa diminuisce se SMS viene posto a maturazione (Uzun, 2016).

Se comparato ai concimi inorganici, l'SMS non contiene molto azoto, fosforo e potassio. Tuttavia, quando lo si utilizza come concime, le sostanze nutritive vengono rilasciate lentamente per periodi più lunghi rispetto ai concimi inorganici e le piante possono trarne beneficio per la crescita e la maturazione in modo più efficace. Risultati tangibili non sono disponibili al primo anno, ma sono apprezzabili dopo qualche anno (Uzun, 2016). SMS, contenendo una discreta percentuale di sostanza organica, contribuisce a migliorare la struttura del suolo, aumentando il contenuto di sostanza organica, la capacità di ritenzione idrica, l'attività microbica, la temperatura e riduce la compattazione del suolo (Uzun, 2016).

Nell'apportare SMS in campo si consiglia l'associazione con altre fonti di azoto per integrare le carenze che si possono riscontrare nel primo anno (Duggan et al., 1998).

Le caratteristiche chimiche generali del substrato spento di fungaia sono riportate in **Tab.5**.

Tab.4 Caratteristiche del compost di fungaia fresco e dopo un periodo di maturazione, del letame avicolo e letame equino ((Uzun, 2016)

Content	Units	Fresh SMC	Weathered 8-16 months SMC	Horse manure	Chicken Manure
Sodium	% dry weight	0.72	0.22	0.3	0.13
Potassium	% dry weight	2.35	1.03	1.2	2.25
Magnesium	% dry weight	0.71	0.91	0.25	1.2
Calcium	% dry weight	4.93	6.16	0.85	8
Aluminum	% dry weight	0.40	0.80	0.06	0.2
Iron	% dry weight	0.11	0.92	0.06	0.25
Phosphorous	% dry weight	0.36	0.55	0.9	2.5
Ammonium nitrogen	% dry weight	0.11	0.03	NT	NT
Organic nitrogen	% dry weight	1.83	1.89	3.5	6.11
Total nitrogen	% dry weight	1.93	1.92	3.5	6.11
Solids	% dry weight	43.39	49.43	24	20
Volatile solids	% dry weight	62.78	44.29	NT	NT
Manganese	ppm dry weight	332.92	438.62	115	300
Copper	ppm dry weight	46.26	61.68	25	20
Zinc	ppm dry weight	103.32	136.41	130	175
Lead	ppm dry weight	14.89	18.17	NT	NT
Chromium	ppm dry weight	8.33	11.31	NT	NT
Mercury	ppm dry weight	0.07	0.19	NT	NT
Nickel	ppm dry weight	11.93	15.74	24	20
Cadmium	ppm dry weight	0.45	0.65	0.1	0.4
pH		7.23	8.05	7.2	6.5
N:P:K ratio		1.9:0.4:2.4	1.9:0.6:1.0	1.2:0.3:0.4	3.0:1.3:1.2

Tab.5 Caratteristiche del compost di fungaia utilizzato fresco o dopo compostaggio (Curtin e Muller, 2006)

Parametri	Fresco	Compostato
Sostanza secca %	33,0 ±0,8	33,5 ±0,2
Carbonio organico %	33,5±1,0	27,1 ±0,7
Lignina %	21,5±1,4	23,1±1,2
Azoto totale (g kg ⁻¹)	21,7±0,01	22,3±0,01
Rapporto C/N	15,4±0,3	12,2±0,4
pH	6,5±0,01	7,5±0,01
Conducibilità elettrica (mS cm ⁻¹)	13,3±0,1	15,3±1,3
Calcio scambiabile (g kg ⁻¹)	49,8±0,8	52,5±1,3
Sodio scambiabile (g kg ⁻¹)	14,±1,0	7,0±0,3
Magnesio scambiabile (g kg ⁻¹)	13,7±0,01	12,5±0,1
Indice di germinazione(GI %)	67,9±0,6	63,8±1,9

1.7.4 VEGAND

Oltre alle deiezioni di origine animale, negli ultimi anni stanno prendendo piede dei formulati a base vegetale, che possono essere addizionati con proteine, amminoacidi o microrganismi utili al suolo. Tra quelli prodotti dalle diverse aziende presenti sul territorio, una di questi è il Vegand, prodotto dalla ditta FOMET: un pannello vegetale da Rubiaceae, Solanaceae e Malvali, che non contiene sostanze e materiali di origine animale. Il prodotto si presenta sottoforma di pellet e permette un rilascio dell'azoto graduale, in quanto è ricco di componenti proteiche e amminoacidiche e somministra azoto, fosforo, potassio e carbonio completamente di origine vegetale (Tab. 6.5).

I concimi a lento rilascio possono essere strategici, in quanto riducono notevolmente i rischi di eccessiva salinità nel substrato. Infatti, le frequenti irrigazioni per aspersione provocano un continuo dilavamento di nutrienti, soprattutto di azoto (nei vivai l'efficienza dei concimi tradizionali spesso non supera il 30-50%). Questo accentua la necessità di somministrare elevate quantità di concimi e di conseguenza si verifica un aumento della salinità dei terreni e dei substrati con conseguente inquinamento delle falde acquifere sotterranee. Inoltre, l'elevata salinità provoca uno stress osmotico, riducendo le rese e peggiorando la qualità del prodotto (Martinetti, 2014).

2. SCOPO DEL LAVORO

Per la produzione di cibo, la realizzazione di infrastrutture e la fabbricazione di beni di consumo vengono utilizzati materiali, i quali, una volta sfruttati, sono smaltiti come rifiuti. L'aumento della popolazione e la crescente ricchezza aumentano la domanda di risorse (scarseggianti) e di beni. È indispensabile trovare una soluzione che porti a sfruttare i cosiddetti "rifiuti" per la realizzazione dei prodotti richiesti dai consumatori, creando un'economia circolare.

In quest'ottica, nel campo agroalimentare, la prova ha preso in considerazione quattro matrici di origine animale e vegetale, ritenute dei sottoprodotti dell'industria agro-alimentare, per la produzione di orticole biologiche in serra.

Le caratteristiche di ogni concime sono state analizzate in laboratorio e sono state valutate le rese di produzione per due colture orticole. Lo scopo della tesi è stato quello di caratterizzare e confrontare le matrici organiche di origine animale e vegetale utilizzate in serra e calcolare le rese produttive delle varietà orticole scelte.

3 MATERIALI E METODI

L'analisi dei substrati è stata effettuata sui campioni di 4 matrici organiche: Pollina (provenienza: Italtollina S.p.A.) (**Fig.5**), digestato anaerobico zootecnico (provenienza Az. Agr. Mantovanelli), SMS (provenienza: Fungamico soc. coop.), Vegand (FOMET S.p.A.) (**Fig.6**).

Composizione		Altri parametri	
Azoto (N) organico	4%	Formulazione	pellettata
Sostanza organica	70.7%	Umidità	12%
Anidride fosforica (P ₂ O ₅) totale	4%		
Ossido di Potassio (K ₂ O) solubile in acqua	4%		

Fig.5. Composizione media della matrice Pollina, così come dichiarato dal produttore in etichetta.

CONTENUTI MEDI SULLA SOSTANZA TAL QUALE

Umidità (H ₂ O)	12%	Carbonio (C) Organico di origine biologica	35%
Azoto (N) totale	4%	Sostanza organica	70%
Azoto (N) organico	4%	C/N	8,75
Anidride fosforica (P ₂ O ₅) totale	1,4%	pH (indicativo)	5,8
Ossido di potassio (K ₂ O) solubile in acqua	1%	Peso specifico	0,7-0,8 kg/l

Fig.6 Composizione media della matrice Vegand, così come dichiarato dal produttore in etichetta.

L'analisi della sostanza secca delle matrici è stata eseguita secondo la metodica ufficiale EN 13040.

L'analisi della sostanza organica segue la metodica ufficiale EN 13039. Il contenuto di sostanza organica si ricava con la seguente formula:

$$W_{om} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} * 100$$

Rispettivamente:

- W_{om} indica la percentuale di sostanza organica;
- m₀ indica la tara del crogiolo;
- m₁ indica la pesata dopo il forno
- m₂ indica la pesata dopo la muffola

Una volta determinato il contenuto di sostanza organica è possibile determinare il contenuto di carbonio organico con un semplice calcolo, poiché si ritiene che mediamente il contenuto di sostanza organica sia superiore a circa 1,72 volte il contenuto di carbonio organico è possibile applicare la seguente formula:

$$\% \text{ Carbonio organico} = \frac{\% \text{ Sostanza organica}}{1,72}$$

La determinazione del pH viene eseguita secondo la metodica ufficiale EN 13037.

La determinazione della conducibilità elettrica è stata eseguita seguendo la metodica ufficiale EN 13038.

La determinazione del contenuto di azoto totale presente nei vari campioni viene eseguita applicando il metodo Kjeldahl, secondo lo standard ISO 1656.

Per la determinazione degli anioni e dei cationi, si prevede alla preparazione del campione secondo la metodica ufficiale EN 13652 e si procede all'analisi tramite cromatografie ioniche.

Le cromatografie ioniche (IC) sono state effettuate usando un sistema cromatografico (Dionex ICS-900), costituito da una pompa che consente di operare in modalità isocratica e da un rivelatore di conducibilità (Dionex DS5) con soppressore anionico (AMMS 300, 4mm) per l'analisi degli anioni e soppressore cationico (CMMS 300, 4mm) per l'analisi dei cationi. La colonna Ion Pac AS23 con dimensioni 4x250 mm è stata utilizzata per l'analisi degli anioni mentre la colonna Ion Pac CS12A con dimensioni 4x250 mm è stata utilizzata per l'analisi dei cationi. Entrambe operanti a temperatura ambiente e precedute da precolonna. I dati forniti da questo sistema sono stati raccolti ed elaborati usando il software Chromeleon per sistemi LC. Le iniezioni sono state fatte usando un auto campionatore AS-DV. Per l'analisi degli anioni è stata utilizzata la fase mobile costituita da una miscela di sodio carbonato (4.5 mM) e sodio bicarbonato (0,8 mM) con velocità di flusso di 1 mL*min⁻¹. Per l'analisi dei cationi invece è stato utilizzato acido metansolfonico (20 mM) con velocità di flusso di 1 mL*min⁻¹.

L'analisi quantitativa è stata eseguita mediante curva di calibrazione costruita con diluizioni seriali della soluzione madre. Per l'analisi degli anioni è stata utilizzata una miscela costituita da concentrazioni note di fluoruri, cloruri, nitriti, bromuri, nitrati, fosfati e solfati.

Per l'analisi dei cationi è stata utilizzata invece una miscela costituita da concentrazioni note di sodio, ammonio, potassio, magnesio e calcio.



Fig.7 Panoramica della serra utilizzata in prova e semina delle piantine in vassoi alveolati.

Per la determinazione dei metalli pesanti è stata messa a punto una metodica che prevede l’inserimento delle ceneri, ottenute con l’essiccazione in muffola a 550°C per 6 ore (in base a quanto effettuato per la determinazione della sostanza organica), in contenitori Falcon a cui vengono addizionati 25 ml di acido cloridrico. I Falcon vengono tappati, agitati e lasciati a riposo per un’ora. Il contenuto di ogni Falcon viene successivamente trasferito in un proprio matraccio dove, prima si interrompe la reazione tra ceneri ed acido con l’utilizzo di acqua deionizzata e successivamente si porta la soluzione a 250 ml di volume. Il contenuto dei matracci viene filtrato con carta da filtro 589 SchleicherFilterPaper, successivamente esegue un prelievo dell’estratto tramite l’ausilio di una siringa e si filtra con un filtro per siringa in acetato di cellulosa da 0,40 μm , raccogliendo il filtrato all’interno delle provette; l’estratto verrà analizzato con l’utilizzo di uno spettrofotometro ad emissione ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy).

Le prove sono state condotte nelle annate 2018/2019 presso l’azienda Agraria Sperimentale “L. Toniolo” dell’Università di Padova sito in Legnaro (45°21' N; 11°58' E). La prova ha previsto una successione orticola di 2 colture in serra, nel seguente ordine cronologico: lattuga (*Lactuca sativa L.*) della varietà Nauplus® e radicchio Vasari®.



Fig.8 Piantine pronte al trapianto (foto sopra). Nella foto sotto si può vedere la lattuga in prossimità del momento della raccolta.

La serra utilizzata per la prova ha una lunghezza di 50m e una larghezza di 8m (una superficie totale di circa 400 m²). Per questioni logistiche la serra è stata divisa in 6 settori di 7,5 m di lunghezza (3 campate) escludendo dalla lavorazione un settore in ogni testata per consentire agevolmente le operazioni necessarie (**Fig.7**).

Le tesi prese in considerazione sono le seguenti:

- Pollina;
- Digestato anaerobico;
- Compost spento di fungaia (SMS);
- Concimazione minerale;
- Non Concimato come testimone di controllo;
- Vegand.

Una volta individuati le tesi di concimazione nelle rispettive parcelle, sono stati distribuiti i concimi nei dosaggi richiesti dalla coltura (**Tab.7 e Tab.8**) e l'interramento/affinamento è stato eseguito tramite una fresa al fine di ridurre lo spostamento del suolo da un trattamento all'altro. I passaggi con il mezzo sono stati eseguiti prima da nord a sud con ritorno a vuoto e poi (secondo passaggio) da sud a nord con ritorno a vuoto.

Per le tesi in cui l'apporto di potassio non era completamente soddisfatto dalla matrice, si è effettuata un'integrazione minerale con solfato di potassio (47%) (**Tab.7 e Tab.8**).

La coltivazione delle colture orticole è avvenuta su terreno in piano pacciamato, formando 3 file e 2 file di manichette per passata (**Fig.7**).

La semina della lattuga è avvenuta su 30 vaschette per la germinazione contenenti 150 semi germinativi ciascuna. Lo stesso procedimento è stato eseguito per la semina

del radicchio. Successivamente le vaschette sono state umidificate con un'irrigazione a spruzzo in serra fino al momento del trapianto (**Fig.8**).

A fine ciclo culturale sono state prelevate 40 piante per ogni tesi di concimazione e stimato la resa a ettaro. Le date di semina, trapianto e raccolta sono presenti in **Tab.6**.

La stessa prova è stata condotta nell' Az. Agr. "Zenti" di Verona, in una serra tunnel, con pacciamatura e irrigazione a manichette, utilizzando 250 m² di suolo per trattamento. Le matrici utilizzate sono state le stesse, fatta eccezione per il controllo assoluto e il controllo minerale. Il confronto è stato effettuato su una parcella concimato secondo le procedure aziendali e per la successione colturale, la quale ha previsto due cicli di lattuga.

Tab. 6 Data di semina, trapianto, raccolta e sesto di impianto delle due varietà orticole considerate.

	Semina	Trapianto	Raccolta	Sesto di impianto (m)
Lattuga	24/08/2018	25/09/2018	13/11/2018	0,35 X 0,35
Radicchio	11/12/2018	12/02/2019	18/04/2019	0,35 X 0,35

Tab.7 Quantitativi dei fertilizzanti organici e minerali apportati al suolo per la prova destinata alla lattuga e relativi apporti di nutrienti da matrici organiche e minerali

APPORTO NUTRIENTI								
FERTILIZZANTE	% S.S.	MATRICE (t/ha ⁻¹)	N (kg/ha ⁻¹)		P ₂ O ₅ (kg/ha ⁻¹)		K ₂ O (kg/ha ⁻¹)	
			da matrice	da minerale	da matrice	da minerale	da matrice	da minerale
POLLINA	85,3	1,989	70	0	70	0	70	43
VEGAND	87,1	1,989	70	0	24,5	0	17,5	95,5
SMS	33,6	8,686	70	0	52,24	0	85,77	27,23
DIGESTATO	21,1	18,031	70	0	69,38	0	98,21	14,79
MINERALE	100	0	0	70	0	21	0	114

Tab.8 Quantitativi dei fertilizzanti organici e minerali apportati al suolo per la prova destinata al radicchio e relativi apporti di nutrienti da matrici organiche e minerali

APPORTO NUTRIENTI								
FERTILIZZANTE	% S.S.	MATRICE (t/ha ⁻¹)	N (kg/ha ⁻¹)		P ₂ O ₅ (kg/ha ⁻¹)		K ₂ O (kg/ha ⁻¹)	
			da matrice	da minerale	da matrice	da minerale	da matrice	da minerale
POLLINA	85,3	2,045	72	0	72	0	72	42
VEGAND	87,1	2,045	72	0	25	0	18	96
SMS	33,6	8,935	72	0	53	0	88,22	25,78
DIGESTATO	21,1	18,546	72	0	71,36	0	101,02	12,98
MINERALE	100	0	0	72	0	21	0	114

3.1. ANALISI STATISTICA

L'elaborazione statistica dei dati ottenuti è stata effettuata con ANOVA e la separazione delle medie è stata realizzata mediante il Test HSD di Tukey ($p < 0,05\%$).

4 RISULTATI

Analizzando la percentuale di sostanza secca delle matrici utilizzate, i valori significativamente più elevati sono stati riscontrati in Vegand e pollina, presentando rispettivamente 87,1% e 85,3% (**Fig.9**). In SMS è stato registrato un valore pari a 33,6%, statisticamente diverso da tutte le altre matrici considerate. Il valore statisticamente più basso è stato riscontrato nel digestato anaerobico (21,1%).

Per quanto riguarda la percentuale di sostanza organica, l'analisi ha rilevato alcune differenze dal punto di vista statistico. La matrice che presenta il quantitativo superiore di SO è il digestato (88,6%), diverso da Vegand (80,5%) e da SMS (54,88%), che ha presentato il valore più basso (**Fig.10**). La pollina contiene una percentuale di sostanza organica pari a 85,3%, statisticamente diversa solo da SMS.

Il rapporto C/N è risultato essere più elevato nella tesi digestato (34) che si differenzia statisticamente dalle altre tre matrici; a seguire Pollina (15) e SMS (15), le quali non hanno presentato differenze ed infine il Vegand con il rapporto più basso e statisticamente diverso (9) (**Fig 11**).

Il contenuto di azoto ha presentato differenze in tutte e quattro le matrici riportando valori pari a 1,5% per digestato, 2,2% per SMS, 3,4% per pollina ed infine 5% per Vegand (**Fig.12**).

Il pH ha presentato differenze significative in tutte le matrici utilizzate; in particolare nel digestato è stato registrato il valore significativamente più elevato (> 8), seguito da SMS (7) e pollina (6,5), mentre il Vegand presenta il valore più basso (6) (**Fig.13**).

Per quanto riguarda la conducibilità elettrica (EC) Vegand e pollina non presentano differenze dal punto di vista statistico (valore medio pari a 7,3 dS/m): valori inferiori e statisticamente diversi sono stati riscontrati in SMS e digestato con rispettivamente 5,63 dS/m e 1,63 dS/m (**Fig.14**).

Considerando le analisi svolte sulla concentrazione di anioni e cationi (**Tab.9**), sono state osservate differenze statistiche a carico di alcuni elementi in funzione del tipo di concime.

In particolare, sono state registrate differenze statistiche sul contenuto di nitrati per tutte le matrici considerate: SMS ha presentato una concentrazione di nitrati notevolmente superiore rispetto a quella degli altri concimi (7417 mg/kg): la concentrazione di nitrati nel digestato è risultata pari a 414,9 mg/kg, nel Vegand di 186,6 mg/kg e infine nella pollina di 34,1 mg/kg e.

Differenze statistiche sono state riscontrate sul contenuto di cloruri, in cui la pollina presenta un contenuto di cloruri pari a 6193,5 mg/kg, statisticamente superiore rispetto a tutte le altre matrici,

la cui presenza è direttamente collegata ad un'elevata conducibilità elettrica (7,3 dS/m). Le altre matrici presentano una concentrazione di cloruri pari a 2778,1 mg/kg nel Vegand, a 2832,4 mg/kg nell' SMS e a 3283,2 mg/kg nel digestato.

Per quanto riguarda la concentrazione dei fosfati, l'analisi ha riportato differenze statistiche in tutte e quattro le matrici. La pollina presenta una concentrazione pari a 23245,2 mg/kg, il Vegand 13114,4 mg/kg, il digestato 7893,6 mg/kg ed infine SMS con 316,1 mg/kg.

Anche per quanto riguarda i solfati, è stata registrata significatività statistica tra tutte le matrici considerate. Vegand presenta una concentrazione di solfati significativamente più elevata (23486,7 mg/kg), seguito da SMS con 19969,7 mg/kg, dalla pollina con 9600,8 mg/kg e dal digestato con 1434,4 mg/kg.

Analoghe differenze sono state riscontrate anche nei valori riguardanti il sodio; in particolare il Vegand presenta una concentrazione di 1993,6 mg/kg, la pollina di 1840,3 mg/kg, il digestato di 1503,8 mg/kg e SMS di 1076,5 mg/kg. Anche la concentrazione di ammonio ha presentato differenze tra le matrici e vede, come per il sodio, una concentrazione maggiore in Vegand con 2439,1 mg/kg, mentre pollina, digestato e SMS presentano valori rispettivamente di 2249,7 mg/kg, 386,4 mg/kg e 282,2 mg/kg.

L'analisi statistica ha riportato differenze tra le matrici anche nel contenuto di potassio e magnesio, indicando la pollina come il concime che contiene il quantitativo maggiore di entrambi i minerali, con una concentrazione rispettivamente di 21830,8 mg/kg per il potassio e 3414 mg/kg per il magnesio. Per quanto riguarda le altre matrici, il Vegand ha presentato una concentrazione di potassio di 14403,9 il digestato di 10162,8 mg/kg e l'SMS di 8428,1 mg/kg.

Nel caso del magnesio invece, il Vegand presenta una concentrazione di magnesio di 2307 mg/kg, diversa da quella del digestato e SMS, che non hanno riscontrato differenze statistiche con un contenuto rispettivamente di 1023,2 mg/kg e di 1161,3 mg/kg.

L'analisi ha riportato valori diversi dal punto di vista statistico in ogni matrice anche per il calcio, il quale è maggiormente presente in SMS con una concentrazione di 4123,5 mg/kg, a seguire il digestato con 1955,2 mg/kg, il Vegand con 1528,6 mg/kg ed infine la pollina con 797,2 mg/kg.

Considerando il contenuto di metalli pesanti (**Tab.10**), la concentrazione alluminio (Al) è contenuto maggiormente in SMS (58,7 ppm), statisticamente differente da Vegand (14 ppm) e pollina (5,2 ppm). Il digestato presenta una concentrazione di alluminio intermedia tra Vegand e pollina.

Per quanto riguarda la concentrazione di cadmio (Cd) i valori ottenuti sono statisticamente diversi in ogni matrice; in particolare SMS presenta la concentrazione più elevata pari a 0,006 ppm, il Vegand di 0,004 ppm, la pollina di 0,003 ppm e il digestato 0,001 ppm.

La concentrazione di cromo (Cr) risulta più elevata è identica in SMS e pollina (0,1 ppm), mentre il Vegand risulta avere la più alta concentrazione di cromo (0,3 ppm) mentre il digestato la concentrazione più bassa (0,03 ppm).

La quantità di rame (Cu) risulta statisticamente più elevata in pollina (1,1 ppm), diverso da SMS (0,8 ppm) e da Vegand e digestato (valore medio pari a 0,45 ppm)

Per quanto riguarda il nichel (Ni), il digestato è il concime che ne contiene il quantitativo inferiore (0,032 ppm), statisticamente diverso da Vegand e pollina (0,101 ppm e 0,093 ppm rispettivamente) e da SMS che risulta la matrice con il quantitativo maggiore (0,115 ppm).

Anche l'analisi per il piombo (Pb) riporta valori diversi per ogni matrice e vede SMS come la matrice che presenta il quantitativo maggiore (0,114 ppm), a seguire il Vegand con 0,032 ppm, il digestato con 0,020 ppm ed infine la pollina, con il quantitativo più basso, cioè 0,013 ppm.

Anche lo zinco (Zn) è presente in quantitativi statisticamente diversi per ogni matrice. È maggiormente presente nella pollina (5 ppm), seguito da SMS (2,3 ppm), Vegand (1,7 ppm) ed infine il digestato con una concentrazione di 1 ppm.

Le matrici analizzate sono state utilizzate come concimazione per la produzione di alcune orticole, come indicato nei materiali e metodi. In particolare, la produzione commerciale di lattuga presso l'Azienda Agraria Sperimentale "L. Toniolo" (**Fig.15**) è stata maggiore nella tesi concimata con Vegand (40 t/ha), la quale si discosta statisticamente dalla concimazione con digestato e dalla concimazione minerale; a seguire il controllo assoluto (33 t/ha), SMS e pollina (31 t/ha), le quali hanno ottenuto rese uguali. La tesi completamente minerale e la fertilizzazione con digestato hanno ottenuto produzioni che a livello statistico sono tra di loro simili e più basse (30 t/ha) rispetto alle altre matrici.

Non sono state rilevate differenze significative nella percentuale di sostanza secca della lattuga tra le diverse tesi di concimazione, le quali hanno presentato risultati pressoché identici (3-3,4 %) (**Fig. 16**).

La produzione commerciale di radicchio presso la medesima azienda (**Fig.17**) è stata, come per la lattuga, maggiore nella tesi concimata con Vegand (50 t/ha), ma non ha presentato differenze rilevanti rispetto alle rese ottenute nel controllo assoluto (47 t/ha), pollina (42,8 t/ha) e digestato (41,3 t/ha). Le tesi SMS e minerale hanno presentato valori statisticamente diversi da quelli del

Vegand. La tesi minerale è inoltre diversa a livello statistico anche dal testimone assoluto. Le rese ottenute nelle tesi digestato (41,3 t/ha) e pollina (42,8 t/ha) risultano statisticamente identiche, ma si discostano di poco e in modo non significativo da quelle ottenute nelle tesi SMS (39,4 t/ha) e minerale (34,3 t/ha); quest'ultima ha dimostrato di aver prodotto il quantitativo minore.

Considerando la percentuale di sostanza secca del radicchio (**Fig.18**), l'analisi statistica non ha rilevato differenze, sebbene il contenuto di sostanza secca rilevato nelle piante concimate con pollina sembra contenere la percentuale più alta di sostanza secca (8%). Le altre tesi di concimazione hanno fornito valori tra loro molto simili, in cui la tesi minerale con 7,8 %, la tesi non concimata con 7,7%, il digestato con 7,4%, Vegand con 7,2 % ed infine SMS con 7,1 %.

Nell'Azienda agricola "Zenti" di Verona sono state riscontrate differenze tra le tesi di concimazione per la resa ottenuta nel primo ciclo di produzione: in particolare il Vegand, come per l'Az. agr "L. Toniolo", sembra essere la matrice che ha prodotto il quantitativo maggiore (34,5 t/ha), a seguire la pollina (31,7 t/ha), la tesi non concimata (29,6 t/ha), SMS (26,52 t/ha) ed infine il digestato (24,2 t/ha) (**Fig.19**). A livello statistico Vegand è diverso dalla tesi digestato ed SMS..

Nel secondo ciclo di produzione, invece, le rese presentate da Vegand (43 t/ha), Pollina (42,2 t/ha) e digestato (40,8 t/ha) risultano statisticamente uguali e maggiori rispetto a SMS (21,9 t/ha) e la tesi non concimata (33 t/ha) (**Fig.21**).

La % di sostanza secca valutata nella lattuga del primo ciclo non ha presentato differenze tra le tesi concimate con SMS (7%), digestato (7%), le quali sono però statisticamente diverse dal Vegand, che è risultata essere la tesi con la % più bassa di SS (6%). Pollina e il controllo assoluto hanno presentato valori intermedi (6,6-6,7 %). (**Fig.20**).

Nel secondo ciclo, invece, la % di SS non ha riscontrato differenze statistiche in nessuna delle cinque tesi prese in considerazione, le quali hanno presentato una media di SS pari a 6%. (**Fig.22**).

Sodio	Ammonio	Potassio	Magnesio	Calcio					
1504 c	386 c	10163 c	1023 c	1955 b					
1840 b	2250 b	21831 a	3414 a	797d					

5 DISCUSSIONE

I valori percentuali di SS in digestato e SMS sono i più bassi tra le matrici considerate in questa fase di caratterizzazione. Per quanto riguarda il digestato, il tenore di umidità è risultato il più elevato, perché parte della sostanza secca è stata degradata biologicamente dai microrganismi per la produzione di biogas ed è influenzato in particolare dall'aereazione della massa e dalla temperatura. L'umidità è mantenuta a livelli idonei grazie all'impianto di irrigazione che consente l'attività microbica, in quanto l'acqua è fondamentale per la sopravvivenza dei microrganismi senza compromettere l'ossigenazione della massa (dissoluzione dell'ossigeno atmosferico e termoregolazione dell'intero sistema) (Centemero e Montemurro, 2016). Nel caso dell'SMS, il substrato uscente dalle fungaie è caratterizzato da elevati tassi di umidità per le frequenti bagnature che riceve e necessarie alla crescita dei funghi; la percentuale elevata di acqua presente nell'SMS è una problematica riscontrata anche in altri studi (Maher et al., 2000; Curtin e Mullen, 2007). La notevole quantità di acqua presente nella biomassa è una problematica che ha affrontato anche una ditta di produzione situata in Olanda: la Champignon Kwekerij Gemert (CKG). In particolare, i titolari dell'azienda hanno trovato una soluzione sostenibile a livello ambientale per ridurre l'acqua nell'SMS e ridurre i costi di trasporto e le emissioni di CO₂, poiché il calore generato per asciugare il compost viene riutilizzato all'interno dell'azienda come una sorta di carburante. L'elevata percentuale di umidità presentata da queste matrici è dovuta principalmente alla mancanza della fase di essiccazione e lavorazione del materiale, una volta terminata la sua funzione primaria, fase che offre un valore aggiunto alle matrici. Nel caso di Vegand e pollina, i valori di SS corrispondono a quelli riportati nella scheda tecnica fornita dal produttore.

Viceversa, nel caso della SO, il digestato presenta il più elevato quantitativo in quanto caratterizzato da un basso contenuto di ceneri. Il digestato dimostra di avere caratteristiche ideali per l'utilizzo in agricoltura come fertilizzante: le proprietà ammendanti e fertilizzanti della biomassa sono legate alla capacità della sostanza organica contenuta di contribuire al mantenimento dell'humus nel suolo (Tambone et al., 2009).

I valori di SO della pollina corrispondono ai valori medi presentati anche da Guerra-Rodríguez et al. (2001). Nel caso dell'SMS, il contenuto di SO, più basso di tutte le altre matrici, era già stato riscontrato nell'elaborato di Uzun del 2016; infatti, circa il 50% della materia organica originale

presente all'inizio del processo di produzione viene consumata durante il processo di compostaggio e un altro 20% viene consumato durante la crescita dei funghi.

Il rapporto C/N riportato dalla tesi digestato ha mostrato valori simili a Li et al. (2011) e Zeshan et al. (2012), questo dovuto all'attività dei microrganismi all'interno del digestore.

Il Vegand si differenzia da tutte le altre matrici anche per un elevato tenore di azoto perchè ricco di componenti proteiche e amminoacidiche.

Il valore elevato di pH del digestato lo si potrebbe associare ad un'operazione di strippaggio effettuato negli impianti di biogas, ma anche alla biomassa iniziale immessa nel digestore, la quale inizialmente assume valori di pH molto bassi (circa 3-4) a causa dell'elevata presenza di acidi grassi volatili (VFA), ma dopo la digestione anaerobica, questo indice aumenta fino ad assumere valori anche superiori a 8 a seguito della degenerazione del VFA e della produzione di ammoniaca (Melamane et al., 2007). Il pH del Vegand corrisponde a quello dichiarato in etichetta dal produttore. Nel caso di Pollina e SMS i valori di pH sono in linea con quelli dichiarati da Anonymous (2004) citato da Uzun (2016).

I valori di EC sono direttamente correlati alla presenza di alcuni anioni e cationi, in particolare cloruri, sodio, fosfati e solfati che contribuiscono ad aumentare la salinità della matrice. In Vegand e pollina, infatti, i valori di questi anioni e cationi sono superiori rispetto alle altre matrici (in particolare i cloruri nella pollina) differenziando così i due substrati per un'elevata EC. La conducibilità elettrica è un parametro fondamentale per la crescita delle piante, poiché più è alto questo valore nel terreno, meno la pianta assorbe acqua. I prodotti a base di matrici organiche sono più ricchi dal punto di vista fitonutritivo e attestano maggiori livelli di conducibilità, invece matrici provenienti da sole materie lignocellulosiche presentano una conducibilità elettrica più bassa (Centemero et al., 2016). In SMS la conducibilità elettrica ha valori molto simili a quelli trovati nei lavori di Paredes et al. (2016) e Gobbi et al. (2018). I valori di EC del digestato anaerobico sono compatibili con quelli riportato da Nicoletto et al. (2014), il quale ha preso in considerazione un digestato proveniente da un vasto numero di matrici eterogenee (fanghi di depurazione, frazione organica dei rifiuti urbani, sottoprodotti agricoli). Nella tesi considerata in questa prova, invece, il digestato ha origine zootecnica, in particolare, le materie prime utilizzate sono i reflui di allevamento di bovini da carne; diversi sono i valori presentati da Albuquerque et al. (2012) (30,5 mS/cm) il quale ha preso in considerazione la digestione anaerobica di liquami suini e acque reflue dei macelli. Anche Walsh et al. (2012) ha riportato valori più elevati (12,2 mS/cm), considerando il digestato proveniente da aziende con bovini da latte.

Questo sta ad indicare che molto probabilmente i valori differenti dei parametri caratterizzanti il digestato presentati dalle diverse matrici sono giustificabili con l'origine e la natura dei prodotti immessi nel digestore.

I valori di anioni e cationi confermano quanto registrato per la conducibilità elettrica: i principali elementi che concorrono alla salinità del digestato sono rappresentati da cloruri, sodio, calcio, magnesio e potassio (Maher et al., 2000). I valori elevati di elementi che possono concorrere ad aumentare la salinità sono stati riscontrati anche nella pollina, utilizzata, inoltre, come uno dei materiali di partenza per la formulazione del substrato SMS, il quale contiene un alto contenuto di calcio, dovuto alla presenza del carbonato di calcio per migliorare la struttura della matrice.

Per quanto riguarda i nitrati, sono un aspetto da tenere in considerazione in quanto essi possono essere facilmente trasportati per lisciviazione nei corsi d'acqua provocandone l'eutrofizzazione: l'accumulo di elementi come azoto e fosforo causa la proliferazione di alghe, le quali non essendo smaltite dai consumatori primari, aumentano l'attività batterica, diminuendo la concentrazione di ossigeno disponibile, e la mancanza di quest'ultimo provoca alla lunga la morte di pesci.

Tutti i sistemi viventi hanno bisogno di azoto per la produzione di molecole organiche complesse, come proteine, acidi nucleici, vitamine, ormoni ed enzimi.

A causa dell'uso intenso di concimi azotati sintetici e del letame di bestiame nell'agricoltura moderna, il cibo (in particolare le verdure) e l'acqua potabile possono contenere concentrazioni più elevate di nitrati rispetto al passato (Mensinga et al., 2003).

Il nitrato stesso è generalmente considerato non tossico. La tossicità è il risultato della conversione del nitrato a nitrito. Ci sono due importanti preoccupazioni tossicologiche riguardo i nitriti: in primo luogo, possono indurre metaemoglobinemia, che può provocare ipossia tissutale ed eventualmente morte. In secondo luogo, i nitriti potenzialmente potrebbero formare composti cancerogeni nell'organismo. Tuttavia, le indagini epidemiologiche e gli studi tossicologici sull'uomo non hanno mostrato una relazione inequivocabile tra l'assunzione di nitrati e il rischio di cancro (Mensinga et al., 2003).

Un altro aspetto importante da considerare è quello dei metalli pesanti: in agricoltura biologica è permesso l'impiego del solfato di rame nelle coltivazioni, il quale viene ampiamente utilizzato in viticoltura. È un fungicida di copertura ad azione anticrittogamica preventiva, ma ciononostante la sua formulazione contiene un metallo pesante il cui rilascio sul terreno può risultare altamente tossico. È indispensabile quindi ridurre il più possibile l'apporto di questo metallo pesante, in vigore a quanto emanato dal Reg CE 1981/2018, il quale pone dei limiti nell'uso del rame in

agricoltura, sia convenzionale che biologica. In particolare, la normativa afferma che non può eccedere i 4 kg/ha di rame metallo per anno e non può eccedere, per il periodo 2019-2025, i 28 kg/ha.

Dai risultati ottenuti, la pollina sembra essere il fertilizzante che presenta un maggiore concentrazione sia di Cu che di Zn, questo correlato all'alimentazione destinata agli avicoli generalmente ricca di questi due metalli (Mantovi e Bonazzi, 2004). Per questo motivo, applicare fertilizzanti organici come la pollina o il liquame suino (anch'esso ricco di Cu e Zn) nello stesso appezzamento per molto tempo aumenta fortemente la concentrazione di Cu, Zn e altri metalli pesanti nel terreno (Nicholson et al., 2004) e a causa della loro bassa mobilità tendono a permanere quasi stabilmente nel suolo (Shinichi et al., 2005). E' stato infatti dimostrato che solo una piccola parte di Cu presente nella razione viene assorbita dall'animale, il resto è quasi interamente escreto e presente nei reflui (Nicholson et al., 1999; Cang et al., 2004; Li et al., 2007). Questo processo vale sia per il Cu ma anche per molti elementi presenti nella razione (microelementi, proteine, minerali, ecc.) dei quali l'animale assorbe solo il quantitativo necessario al suo fabbisogno. E' quindi fondamentale realizzare razioni che apportino le giuste sostanze nutritive all'animale, diminuendo l'impatto ambientale dovuto alle sostanze escrete e valutando le materie prime utilizzate per la realizzazione del mangime.

Al fine di limitare il più possibile gli apporti di metalli ai suoli e gli effetti ambientali negativi che ne derivano, è necessario valutare le principali caratteristiche chimiche dei terreni e effettuare delle concimazioni organiche, senza eccedere nelle applicazioni e verificare il contenuto di metalli pesanti tramite apposite analisi di laboratorio.

Il contenuto di metalli presenti concessi nelle matrici è sottoposto a limiti normativi: in particolare, il D. Lgs.75/2010 fornisce indicazioni circa le concentrazioni massime di metalli pesanti che devono essere presenti negli ammendanti organici, espressi in mg/kg:

- Piombo totale 140;
- Cadmio totale 1,5;
- Nichel totale 100;
- Zinco totale 500;
- Rame totale 230;
- Mercurio totale 1,5;
- Cromo esavalente totale 0,5.

Nella categoria ammendanti non viene considerato il digestato, il quale rientra nel D. Lgs. 9/2016 riguardo i criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato. In particolare, viene distinto il digestato agrozootecnico ed industriale, del quale non sono indicati i limiti per la concentrazione di metalli pesanti, e il digestato prettamente agroindustriale, del quale ci sono delle limitazioni:

- Piombo totale ≤ 140 mg/kg di sostanza secca;
- Cadmio totale $\leq 1,5$ mg/kg di sostanza secca;
- Nichel totale ≤ 100 mg/kg di sostanza secca;
- Zinco totale ≤ 600 mg/kg di sostanza secca;
- Rame totale ≤ 230 mg/kg di sostanza secca;
- Mercurio totale $\leq 1,5$ mg/kg di sostanza secca;
- Cromo VI tot. $\leq 0,5$ mg/kg di sostanza secca.

Per quanto riguarda le rese di produzione sia del radicchio che della lattuga, tutte le matrici organiche hanno fornito buoni quantitativi di prodotto commerciale e superiori a quelli prodotti dalla tesi minerale.

L'alta produzione nel controllo assoluto, nonostante non fosse stata applicata nessuna concimazione, è molto probabilmente dovuta ai residui delle concimazioni precedenti la prova effettuata e all'elevato tenore di fertilità residua che caratterizza l'appezzamento di terreno.

Le rese prodotte dalla concimazione organica sono state analizzate anche in ricerche e studi precedenti, i quali hanno confermato quanto trovato in questa prova: una corretta concimazione organica può fornire alte rese e basse concentrazioni di composti indesiderati nei tessuti, come i nitrati (Lairon et al., 1984; Gobbi et al., 2016). L'utilizzo della pollina potrebbe essere consigliato per migliorare la crescita e la resa delle colture di lattuga nei terreni alcalini (Gunes et al., 2014).

Nel caso della % di SS nella lattuga e nel radicchio i valori sono statisticamente uguali e ciò può essere dovuto al contributo dei residui delle concimazioni precedenti le prove.

La lattuga e il radicchio prodotti dalla tesi minerale erano caratterizzati da una % di SS simile a quella ritrovata nelle specie orticole concimate con matrici organiche, contrariamente a quanto dimostrato da Herencia et al. (2011), il quale aveva osservato che la concentrazione di sostanza secca è maggiore negli alimenti biologici rispetto a prodotti fertilizzati o coltivati convenzionalmente. Questa differenza potrebbe essere giustificata dal fatto che le matrici

organiche necessitano di periodi più lunghi per esplicitare le loro funzioni al meglio, quindi non si esclude che nel corso della prova i valori possano cambiare.

Nell'Azienda agricola "Zenti" di Verona, il primo ciclo di lattuga ha fornito valori simili a quelli trovati nell'Azienda agr. "L. Toniolo". Nel secondo ciclo invece, il digestato ha prodotto una resa superiore a quella precedente e si colloca tra le più produttive. Va sottolineato che presso questa azienda la bassa resa della lattuga concimata con SMS non è da imputare alla matrice, o quantomeno non totalmente, in quanto per esigenze aziendali la lattuga su l'appezzamento in cui è stata distribuita questa matrice è stata trapiantata in un momento successivo, rispetto agli altri appezzamenti. Non è comunque da escludere che i residui delle concimazioni apportate al terreno durante le lavorazioni aziendali precedenti la prova abbiano influito notevolmente su i risultati ottenuti, soprattutto per il tenore di sostanza secca, superiore a quello rilevato nell'Azienda agr. "L. Toniolo".

6 CONCLUSIONI

L'impiego di matrici di origine animale e vegetale può fornire un contributo significativo nel fronteggiare le sfide poste oggi al settore agricolo, di cui si pone sempre in maggior risalto la valenza ecologica e ambientale.

L'agricoltura industriale e il sistema alimentare globalizzato hanno invalidato la relazione tra uomo-risorse-territorio, ampliando le distanze fisiche e cognitive tra produttori, consumatori e ambiente. Occuparsi di agricoltura sostenibile significa porre attenzione alla sua natura socio-ecologica, e comprendere i servizi sociali, culturali ed ecologici che offre.

L'utilizzo di concimi organici in agricoltura è già di per sé una pratica "ecologica", perché viene impiegato un materiale che deriva dal recupero in condizioni controllate di matrici organiche selezionate, altrimenti destinate allo smaltimento come rifiuti.

La matrice organica, infine, può essere impiegata per integrare o sostituire in misura variabile la concimazione chimica, la cui riduzione può avere importanti effetti ambientali ed economici.

In questa prova si è volto testare la potenzialità fertilizzante di quattro matrici organiche: pollina, digestato, SMS, Vegand, confrontandole in un caso con un controllo non concimato e con una tesi completamente minerale, e nell'altro caso con una gestione aziendale condotta in regime di agricoltura biologica.

Si è potuto notare l'efficacia della concimazione organica attraverso le rese produttive, che si sono dimostrate maggiori rispetto a quelle prodotte dalla sola concimazione minerale. È opportuno sottolineare che gli effetti della concimazione organica sono visibili solo dopo alcuni anni dall'applicazione al suolo, quindi le prospettive future suggeriscono miglioramenti riguardo i risultati ottenibili.

In generale si può affermare che tutte e quattro le matrici organiche prese in considerazione sono buoni fertilizzanti e ammendanti in quanto hanno tutte un buon contenuto di S0 (>50%), che comporta due importanti effetti: un miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno, apportando una serie di noti benefici che vanno dalla salvaguardia da fenomeni di erosione all'aumento della capacità della ritenzione idrica, e l'immagazzinamento del carbonio (carbon sink) nell'ambito della lotta all'effetto serra.

Pollina e Vegand sembrano essere i concimi più "pratici" a livello gestionale rispetto a digestato e SMS in quanto quest'ultimi, dato il loro contenuto d'acqua, potrebbero richiedere maggiori costi di trasporto e difficoltà nella loro gestione, in quanto non hanno subito nessun tipo di lavorazione

per migliorarne l'utilizzo e richiede l'impiego di alcuni macchinari che possono non essere presenti in azienda agricola.

Alcune matrici hanno inoltre evidenziato una EC più elevata rispetto alle altre e questo è un fattore da considerare in quanto un'elevata conducibilità elettrica comporta un incremento della salinità del terreno, che può essere limitante per la coltivazione di alcune specie sensibili alla salinità. Si rende necessario quindi, analizzare ogni fertilizzante per apportarne le corrette quantità per soddisfare le esigenze nutritive della coltura.

Secondo le analisi su anioni e cationi il digestato si presenta come un buon fertilizzante con un buon apporto di N, P e K e con un contenuto di metalli pesanti relativamente basso. La pollina, anch'essa un buon fertilizzante con basso contenuto di nitrati, un buon apporto di Mg e K rispetto alle altre matrici considerate, ma sembra essere il concime con il più elevato contenuto di cloruri e fosfati, i quali caratterizzano la sua EC. Zn e Cu sono i metalli pesanti maggiormente presenti nella pollina, aspetto che può essere tamponato calibrando le diete degli avicoli.

L'SMS sembra essere il fertilizzante con il più basso contenuto di sodio, fosfati e potassio rispetto alle altre matrici considerate. Ha dimostrato di avere un'alta concentrazione di nitrati, che potrebbe comportare dilavamento e accumulo nelle acque profonde e superficiali, e di Ca dovuto alla sua stessa composizione. Sono state rilevate discrete concentrazioni anche di Ni, Cd, Pb e Al, i quali potrebbero essere diminuiti analizzando le materie prime utilizzate per la composizione del substrato e la loro provenienza.

Infine, il Vegand, concime prettamente di origine vegetale, sembra avere una bassa concentrazione di nitrati ed elevato contenuto di solfati, sodio e ammonio rispetto le altre matrici. Il metallo pesante maggiormente presente è il Cr, mentre sembra avere una bassa concentrazione di Cu.

Il contenuto di metalli pesanti in generale è da valutare e analizzare prima dell'impiego del concime organico, specialmente per quelle matrici che non sono dotate di etichetta fornita dal produttore, poiché essendo poco mobili, i metalli pesanti tendono a permanere nel suolo. Nel caso delle matrici di origine animale, la concentrazione dei metalli potrebbe essere calibrata in base alla razione data agli animali, prestando particolare attenzione alle materie prime, alla loro provenienza ed infine il tipo di animale e il contesto nel quale è allevato.

Le rese si sono rivelate molto buone e superiori (30-40 t/ha) a quelle normalmente prodotte (15-20 t/ha), questo dovuto anche al contesto di coltivazione (serra), alla stagione produttiva e al tipo di irrigazione.

La semplice caratterizzazione delle matrici organiche non è sufficiente a giustificare l'importanza del loro utilizzo in agricoltura, il quale dovrebbe essere incoraggiato, in quanto, oltre ad essere una notevole fonte di nutrienti, miglioratrice delle caratteristiche fisiche, chimiche e strutturali del terreno è anche un modo per instaurare il rapporto tra l'uomo e la terra, ultimamente perso, per riportare le sostanze prelevate dal suolo di nuovo all'origine. Inoltre, i sottoprodotti considerati rifiuti e che non godono di un vero e proprio mercato potrebbero essere sfruttati come risorse e in alcuni casi andare anche ad integrare totalmente o parzialmente la concimazione minerale.

Il rapporto dell'uomo nei confronti della natura non deve essere di semplice contemplazione o di statica conservazione, poiché la corretta conservazione di un bene naturale può avvenire anche attraverso il suo utilizzo. Il problema si restringe quindi nella correttezza di utilizzazione e gestione delle risorse naturali per uno sviluppo sostenibile.

L'utilizzo dei sottoprodotti dell'allevamento e dell'industria agroalimentare potrebbe essere una soluzione ecologica per lo smaltimento degli stessi, ma anche una fonte alternativa di quelle risorse non rinnovabili (fosforo, calcio...) che si stanno ormai esaurendo. Sarebbe auspicabile, inoltre, che la ricerca proseguisse l'analisi sull'utilizzo dei fertilizzanti organici poiché in agricoltura biologica è l'unica fonte di concimazione.

7 BIBLIOGRAFIA

- AIF, Associazione Italiana Fungicoltori. Report sulle produzioni, disponibili al sito www.fun.go.it
- Albuquerque, J. A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., ... Bernal, M. P. (2012). Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, 43, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.06.001>
- Altieri, M. (1991). *Agroecologia: prospettive scientifiche per una nuova agricoltura*. Padova: Muzzio Editore.
- Cang, L., Wang, Y., Zhou, D., Dong, Y. (2004). Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China. *Journal of Environmental Sciences*, 16(3), 371–374.
- Centemero, M. (2002). Il ruolo del compost nei piani di fertilizzazione. *Informatore Agrario*, 57–60.
- Centemero, M., Caimi, V., Adani, F., Compostatori, C. I. (2016). L'impiego del compost in agricoltura "the use of compost in agriculture", 1–28.
- Commissione Europea. (2015). Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare. Recuperato da https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF
- Creo, C., Ansanelli, G., Buttol, P., Chiavetta, C., Cortesi, S., Cutaia, L., ... Sposato, P. (2018). Uso efficiente delle risorse nelle imprese vitivinicole. *ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile*.
- Curtin, J. S., Mullen, G. J. (2007). Physical properties of some intensively cultivated soils of Ireland amended with spent mushroom compost. *L. Degrad. Dev.*, (368), 355–368. Recuperato da <https://doi.org/10.1002/ldr.763>
- D'Imporzano, G., Fabrizio, A., Giuseppe, M., Fabrizio, P., Marco, A. (2018). Digestato e agricoltura biologica, una sinergia per l'ambiente, 64–67. Recuperato da <https://terraevita.edagricole.it/energie-rinnovabili/digestato-e-agricoltura-biologica-una-sinergia-per-lambiente/>
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy vol. 2: opportunities for the consumer goods sector.
- Giardini, L. (2003). *Agronomia Generale*. (P. Editore, A c. Di) (2003° ed.). Bologna.
- Gobbi, V., Bonato, S., Nicoletto, C., Zanin, G. (2016). Spent mushroom substrate as organic fertilizer: Vegetable organic trials. *Acta Horticulturae*, 1146, 49–56. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1146.6>
- Gobbi, V., Nicoletto, C., Zanin, G., Sambo, P. (2018). Specific humus systems from mushrooms culture. *Applied Soil Ecology*, 123(October), 709–713. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.023>

- Guerra-Rodríguez, E., Diaz-Raviña, M., Vázquez, M. (2001). Co-composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure. *Bioresource Technology*, 78(1), 107–109. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00159-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00159-0)
- Gunes, A., Inal, A., Taskin, M. B., Sahin, O., Kaya, E. C., Atakol, A. (2014). Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management*, 30(2), 182–188. <https://doi.org/10.1111/sum.12114>
- Guo, M. J., Chorover, J., Fox, R. H. (2001). Effects of spent mushroom substrate weathering on the chemistry of underlying soils. *J. ENVIRON. QUAL*, (30), 2127–2134.
- Hansen, M. N., Birkmose, T., Mortensen, B., Skaaning, K. (2004). Miljøeffekter af bioforgasning og separering af gylle. *Gron Viden*.
- Herencia, J. F., García-Galavís, P. A., Dorado, J. A. R., Maqueda, C. (2011). Comparison of nutritional quality of the crops grown in an organic and conventional fertilized soil. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 882–888. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.008>
- Jordan, S. N., Mullen, G. J., Murphy, M. C. (2008). Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technology*, (99), 411–418.
- Lairon, D., Spitz, N., Termine, E., Ribaud, P., Lafont, H., Hauton, J. (1984). crop was harvested 49 days after transplanting , in the afternoon . Each harvested lettuce sample was weighed and its growth stage determined, 34, 97–108.
- Lau, K. L., Tsang, Y. Y., Chiu, S. W. (2003). . Use of spent mushroom compost to bioremediate PAH-contaminated samples. *Chemosphere*, (52), 1539–1546.
- Law, W. M., Lau, W. N., Lo, K. L., Wai, L. M., Chiu, S. . (2003). Removal of biocide pentachlorophenol in water system by the spent mushroom compost of *Pleurotus pulmonarius*. *Chemosphere*, (52), 1531–1537.
- Li, Y., Li, W., Wu, J., Xu, L., Su, Q., Xiong, X. (2007). Contribution of additives Cu to its accumulation in pig feces: study in Beijing and Fuxin of China. *Journal of Environmental Sciences*, 19, 610–615.
- Li, Y., Park, S. Y., Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Sustainable Energy*, (15), 821–826.
- Lukehurst, C. T., Frost, P., Al, T. (2010). Utilisation of Digestate as Biofertiliser. *IEA Bioenergy*. Recuperato da <http://www.centri-force.co.uk/wp-content/uploads/2014/07/Utilisation-of-Digestate-as-Biofertiliser-V2.0.pdf>
- Maher, M. J. (1994). Use of spent mushroom substrate (SMS) as an organic manure and plant substrate component. *Compost Science & Utilization*, (2), 37–44.
- Mantovi, P., Bonazzi, G. (2004). Riduzione del tenore di rame e zinco nei mangimi. *Inf. Agr.*, 4, 61–64.
- Martinetti, L. (2014). La nutrizione vegetale a lento rilascio, 1–4.
- Melamane, X., Tandlich, R., Burgess, J. (2007). Anaerobic digestion of fungally pre-treated wine distillery wastewater. *Afr. J. Biotechnol.*, (6), 1990–1993.

- Mensinga, T. T., Speijers, G. J. A., Meulenbelt, J. (2003). Health implications of exposure to environmental nitrogenous compounds. *Toxicological Reviews*, 22(1), 41–51. <https://doi.org/10.2165/00139709-200322010-00005>
- Montemurro, F., Diacono, M. (2016). *Fertilizzazione sostenibile. Principi, tecnologie ed esempi operativi*.
- Negri, M., Maggiore, T. (2012). Il valore agronomico del digestato, 1–3. Recuperato da www.intersezioni.eu
- Nicholson, F., Chambers, B., Williams, J., Unwinc, R. J. (1999). Heavy metal contents of live- stock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, 70(1), 23–31.
- Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R., Unwinc, R. J. (2004). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, 70, 1–2. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00017-6)
- Paredes, C., Medina, E., Bustamante, M. A., Moral, R. (2016). Effects of spent mushroom substrates and inorganic fertilizer on the characteristics of a calcareous clayey-loam soil and lettuce production. *Soil Use and Management*, 32(4), 487–494. <https://doi.org/10.1111/sum.12304>
- Peano, C., Sottile, F. (2000). Documento di posizione sull'agroecologia. *Slow Food*, 1–6.
- Pretty, J. (2008). *Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence*. *Philosophical Transactions of The Royal Society B*. London.
- Provenzano, V., Seminara, M. R. (2013). Marginalità e Bioeconomia per lo sviluppo regionale. In *Macmillan Education Ltd* (Vol. 84, pagg. 487–492). Recuperato da <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Rizzo, L. S. (2017). La provincia di Verona e il suo territorio” [The Province of Verona: reading the territorial structure], (October 2014).
- Rossi, L., Mantovi, P. (2012). Digestato, un utile sottoprodotto del biogas. *Conoscere per Competere*, Settembre, 3–6.
- Roy, S., Barman, S., Chakraborty, U. Chakraborty, B. (2015). Evaluation of Spent Mushroom Substrate as Biofertilizer for Growth Improvement of *Capsicum Annuum*, 22–27.
- Rynker, D. L. (2004). *Handling and using 'spent' mushroom substrate around the world (Part two)*.
- Shinichi, O., Kazunori, S., Hiroyuki, S., Shingo, U., Tetsuo, A., Kazuyuki, I. (2005). Accumulation of zinc and copper in an arable field after animal manure application. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51(6), 901–808.
- Stassart, P. M., Baret, P., Grégoire, J.-C., Hance, T., Mormont, M., Reheul, D., ... Visser, M. (2012). L'agroécologie: trajectoire et potentiel - Pour une transition vers des systèmes alimentaires durables.
- Tambone, F., Genevini, P., D'Imporzano, G., Adani, F. (2009). Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresource Technology*, 100(12), 3140–3142. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.012>

- Uzun, I. (2016). Use of spent mushroom compost in sustainable fruit production, *12*(January 2004).
- Walsh, J. J., Jones, D. L., Edwards-Jones, G., Williams, A. P. (2012). Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *175*(6), 840–845. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200214>
- Wang, P. C., Huang, J. W. (2000). Characteristics for inhibition of cucumber damping-off by spent forest mushroom compost. *Plant Pathology Bulletin*, (9), 137–144.
- Wells, S. (2011). *Il seme di Pandora. Le conseguenze non previste della civilizzazione*.
- Wezel, A., Soldat, V. (2009). A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecología. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *7*, 3–18.
- Williams, B. C., McMullan, J. T., McCahey, S. (2001). An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Bioresource Technology*, (79), 227–230.
- Zeshan, Karthikeyan, O. P., Visvanathan, C. (2012). Effect of C/N ratio and ammonia-N accumulation in a pilot-scale thermophilic dry anaerobic digester. *Bioresource Technology*, *113*, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.028>
- Zimmerer, K., Basset, J. (2003). *Future Directions in Political Ecology: Nature-Society Fusions and Scales of Interaction. Political Ecology*. New York.

REGOLAMENTI

- 1991, Direttiva 91/676/CEE, Protezione delle acque dell'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, Gazzetta Ufficiale L 375, 31 dicembre.
- 2007, Regolamento (CE) N. 834/2007 del Consiglio. Produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici e che abroga il regolamento (CEE) n. 2092/91, 20 luglio
- 2008, Regolamento (CE) N. 889/2008 della Commissione. Modalità di applicazione del regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici, per quanto riguarda la produzione biologica, l'etichettatura e i contro, Gazzetta Ufficiale, 18 settembre.
- 2009, Regolamento (CE) n. 1069/2009 del Parlamento Europeo e del Consiglio, Norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati al consumo umano e che abroga il regolamento (CE) n. 1774/2002 (regolamento sui sottoprodotti di origine animale), Gazzetta Ufficiale, 14 novembre.
- 2010, Decreto Legislativo n.75. Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della legge 7 luglio 2009, Gazzetta Ufficiale n. 126, 26 maggio.

- 2011, Regolamento (UE) N. 142/2011 della Commissione. Applicazione del regolamento (CE) n. 1069/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio recante norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati al consumo umano, e della direttiva 97/78/CE del Consiglio per quanto riguarda taluni campioni e articoli non sottoposti a controlli veterinari alla frontiera, Gazzetta Ufficiale, 26 febbraio.
- 2016, Decreto Legislativo n.9. Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato. Gazzetta Ufficiale, 25 febbraio.

SITI WEB

- Soil Science Society of America, 2019, <https://www.soils.org/>
- Centro Ricerche Produzioni Animali (C.R.P.A. S.p.a.), 2004, http://www.crupa.it/nqcontent.cfm?a_id=1109
- Food and Agriculture Organisation. 2013. FAOSTAT database. <http://faostat3.fao.org/home/E>.
- FOMET, Growing Equipment since 1973, 2019, https://www.fomet.it/file-fomet/organici_vegetali/VEGAND.pdf

8 TABELLE E FIGURE

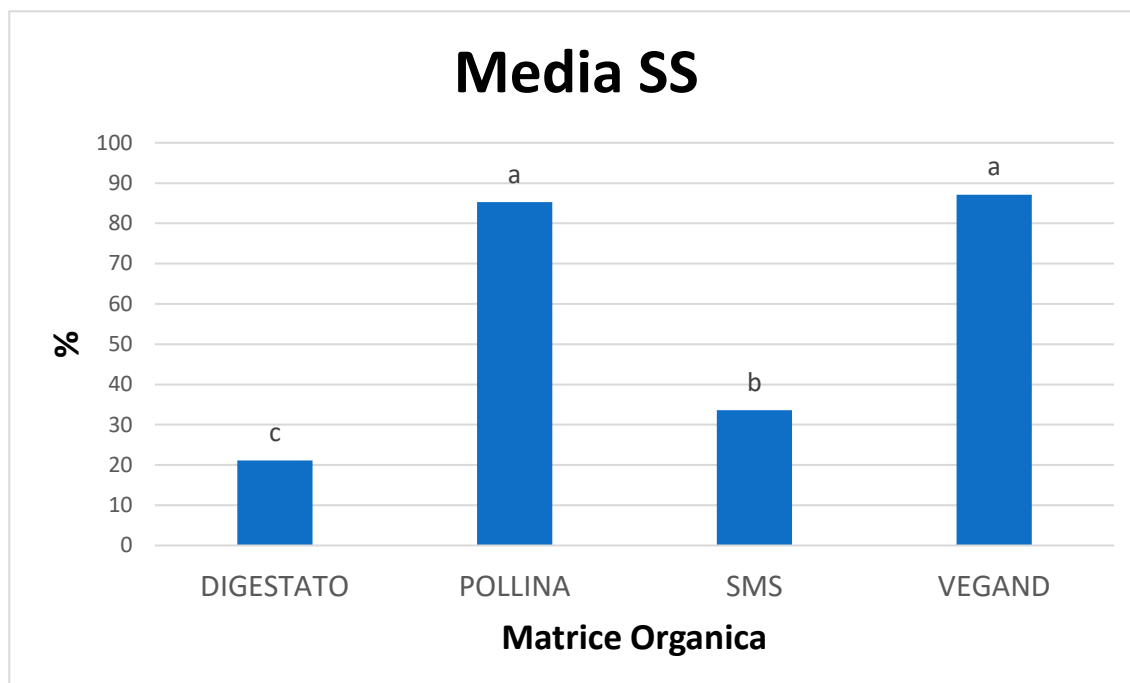


Fig.9 Sostanza secca espressa in percentuale delle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey .

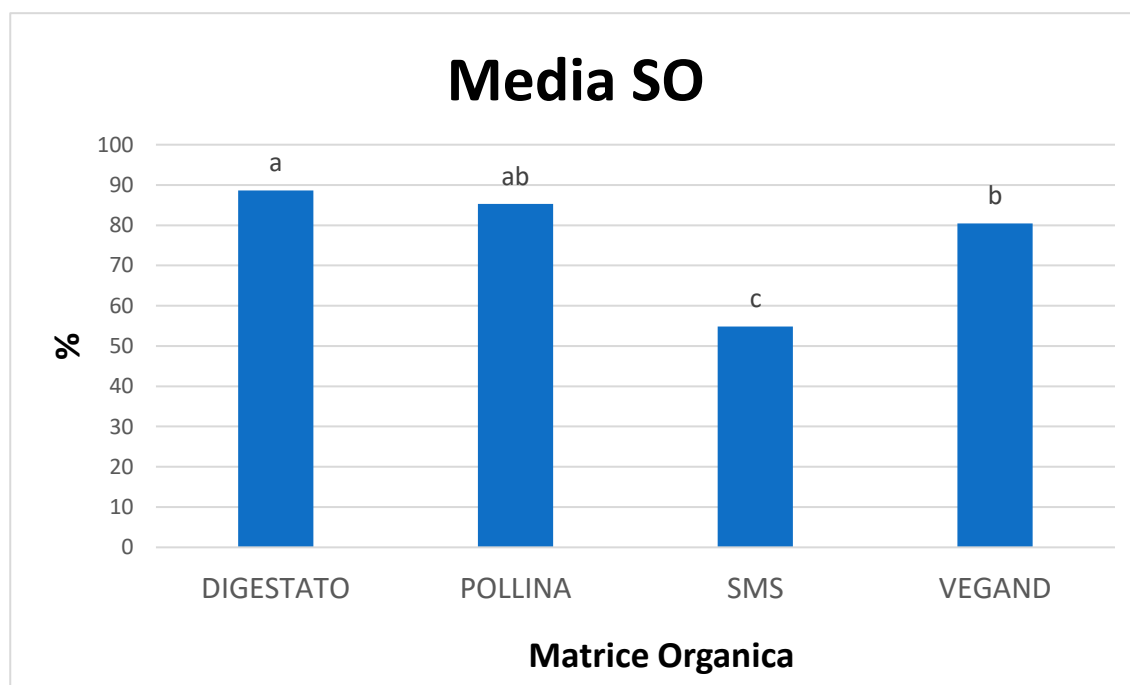


Fig.10 Sostanza organica espressa in percentuale delle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey

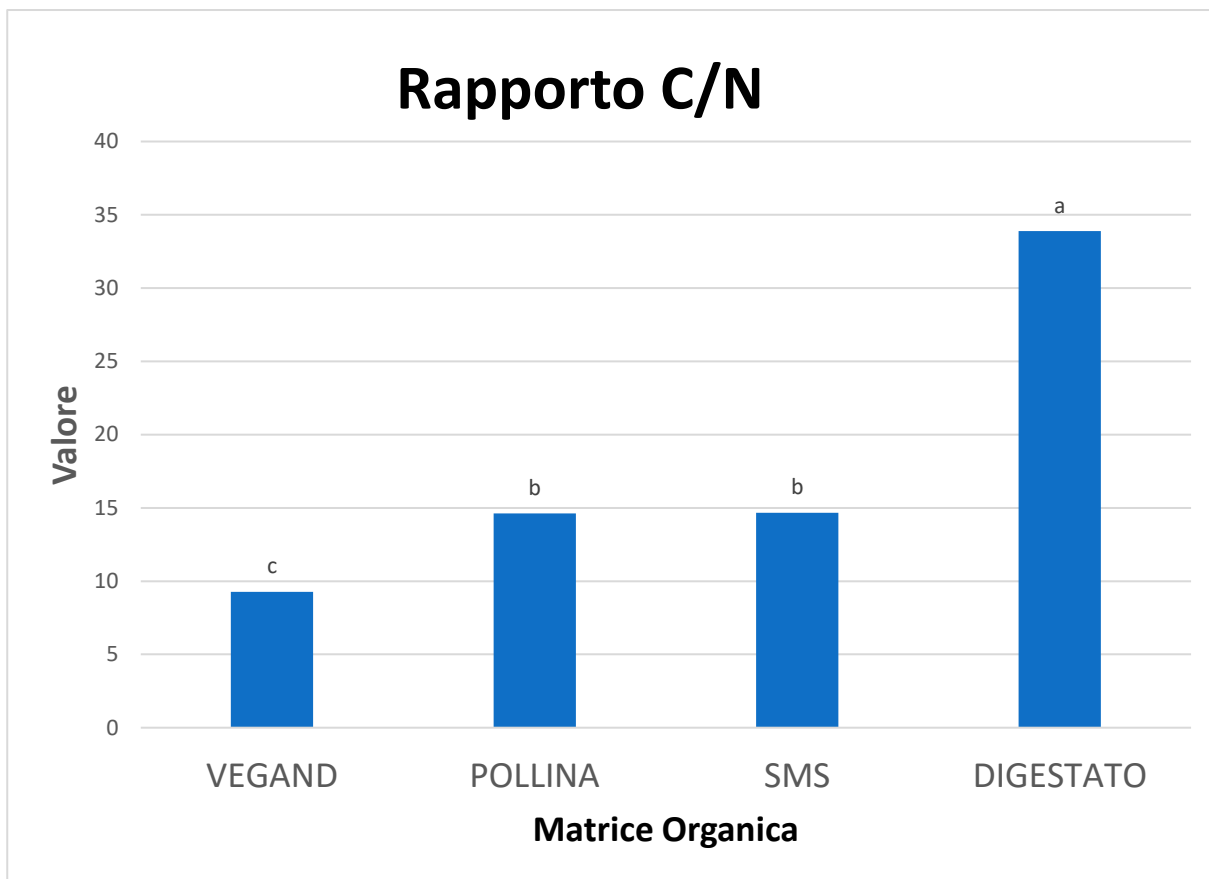


Fig.11 Rapporto C/N nelle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey .

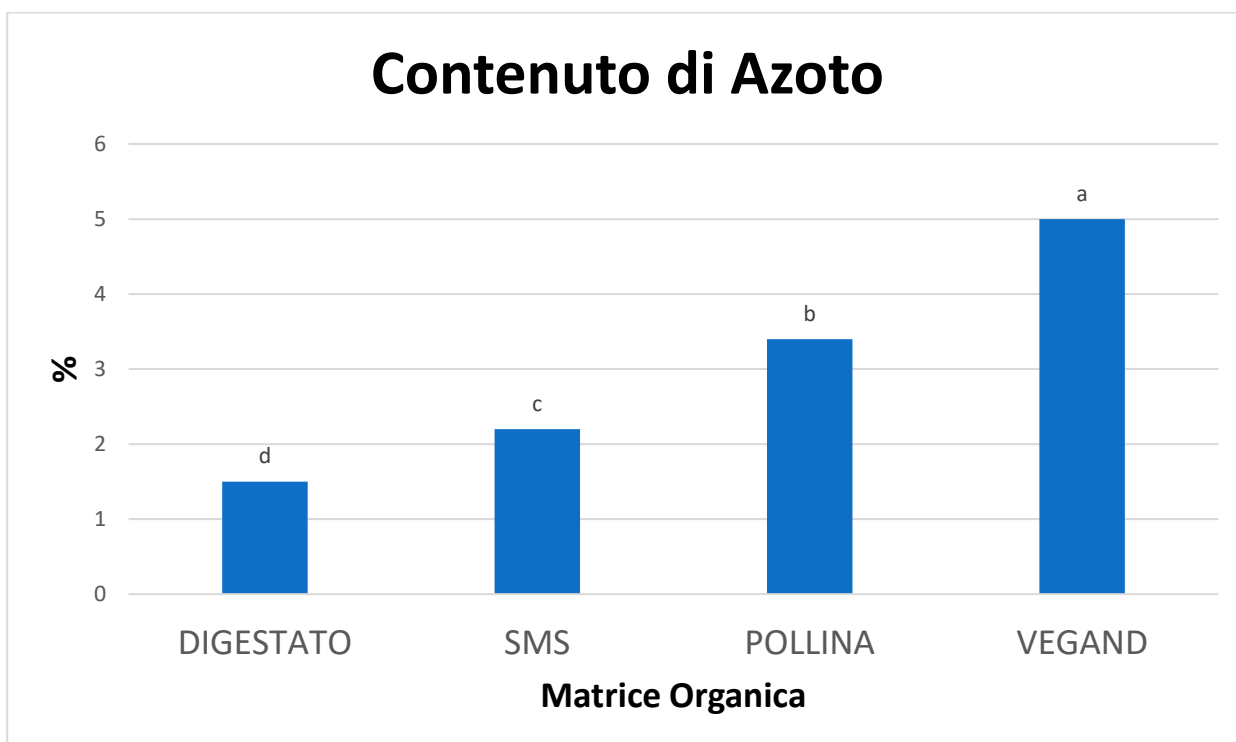


Fig.12 Contenuto di Azoto nelle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey .

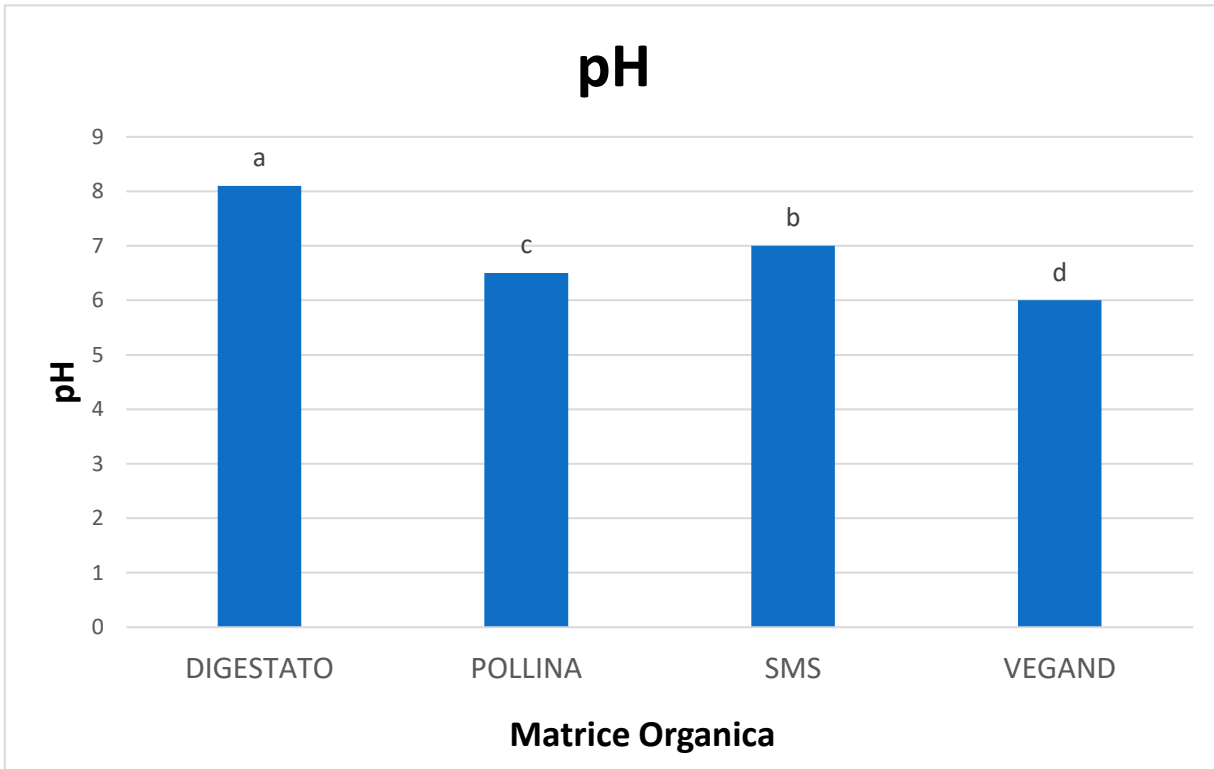


Fig.13 Valori di pH nelle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey .

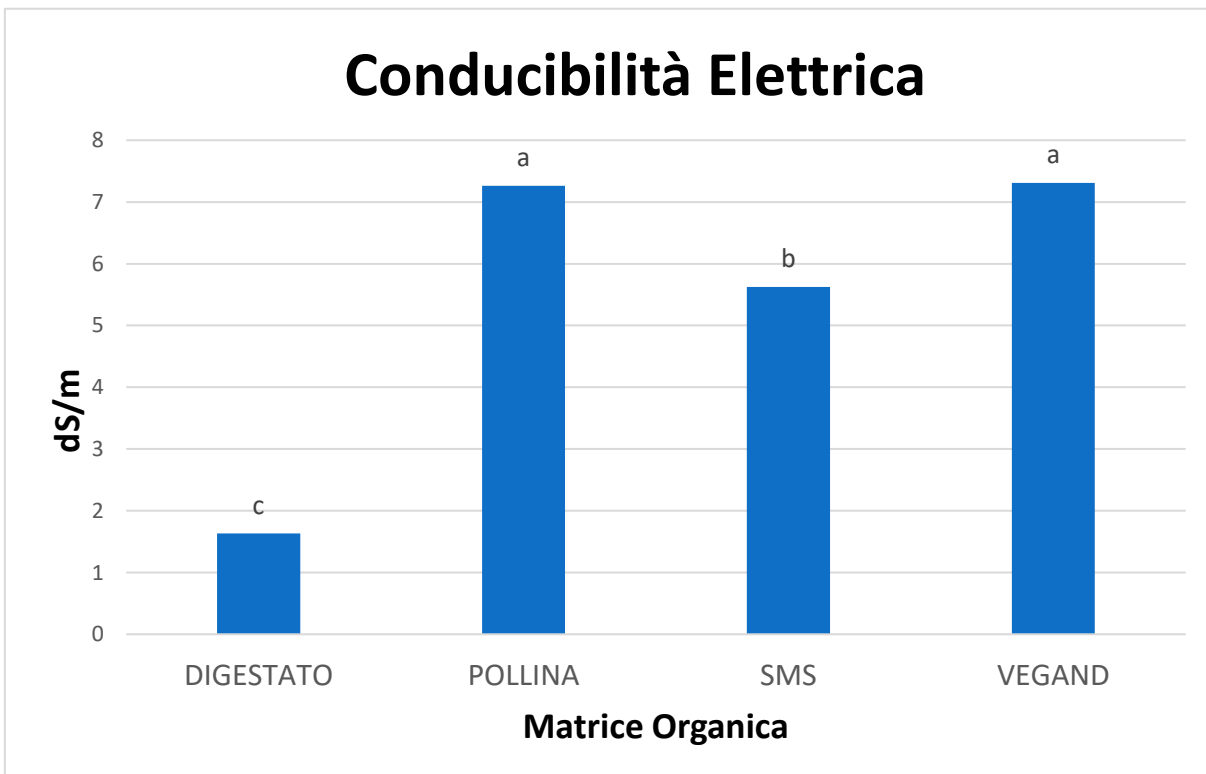


Fig.14 Conducibilità elettrica delle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey .

Tab.9 Concentrazioni di anioni e cationi nelle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

	Nitrati	Cloruri	Fosfati	Solfati	Sodio	Ammonio	Potassio	Magnesio	Calcio
Trattamenti	(mg/kg)								
DIGESTATO	414,9 b	3283,2 b	7893,6 c	1434,4 d	1503,8 c	386,4 c	10162,8 c	1023,2 c	1955,2 b
POLLINA	34,1 d	6193,5 a	23245,2 a	9600,8 c	1840,3 b	2249,7 b	21830,8 a	3414, a	797,2 d
SMS	7417,0 a	2832,4 b	316,1 d	19969,7 b	1076,5 d	282,2 d	8428,1 d	1161,3 c	4123,5 a
VEGAND	186,6 c	2778,1 b	13114,4 b	23486,7 a	1993,6 a	2439,1 a	14403,9 b	2307,0 b	1528,6 c

Tab.10 Contenuto di metalli pesanti nelle diverse matrici organiche. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey .

	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Trattamenti	ppm						
DIGESTATO	9,1 bc	0,001 d	0,03 c	0,4 c	0,03 c	0,02 c	1,0 d
POLLINA	5,2c	0,003 c	0,1 b	1,1 a	0,1 b	0,01 d	5,0 a
SMS	58,7 a	0,006 a	0,1 b	0,8 b	0,1 a	0,1 a	2,3 b
VEGAND	14,0 b	0,004b	0,3 a	0,5 c	0,1 b	0,03 b	1,7 c

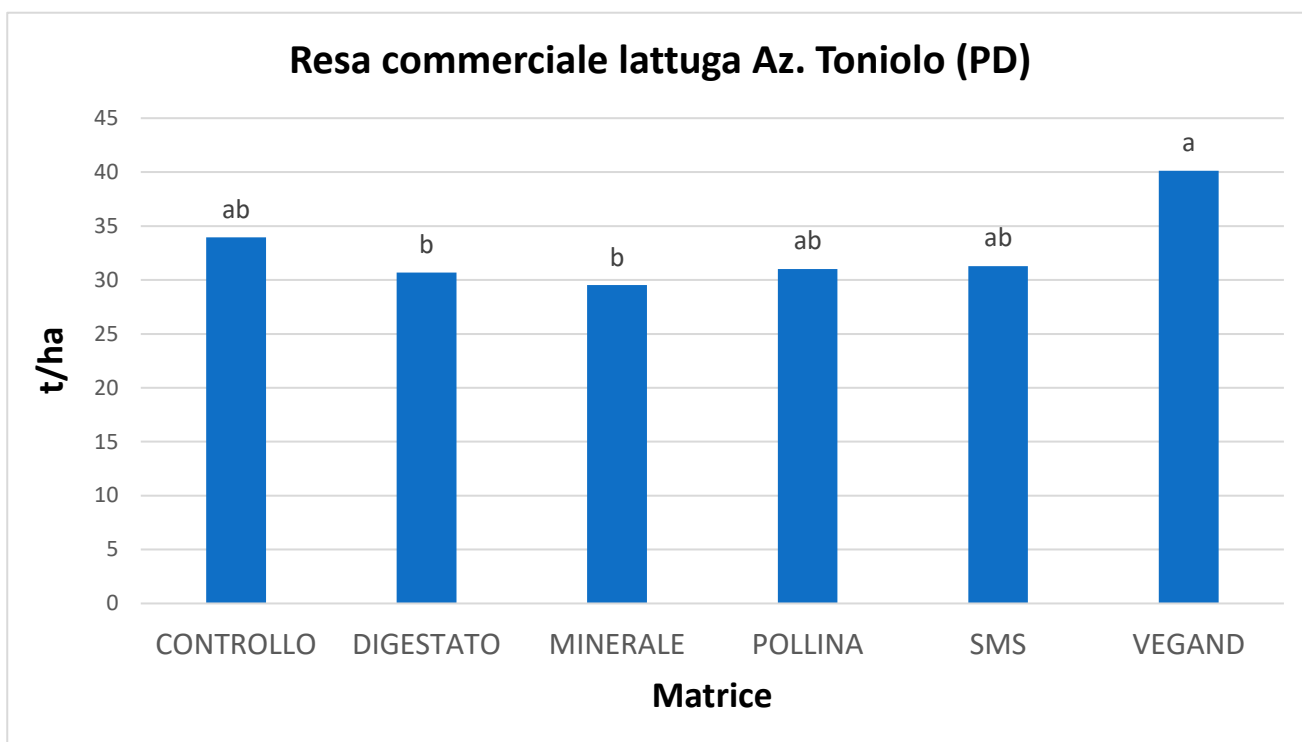


Fig.15 Effetto dei diversi trattamenti sulla resa commerciale delle piante di radicchio presso l'Az. Agr. Toniolo. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

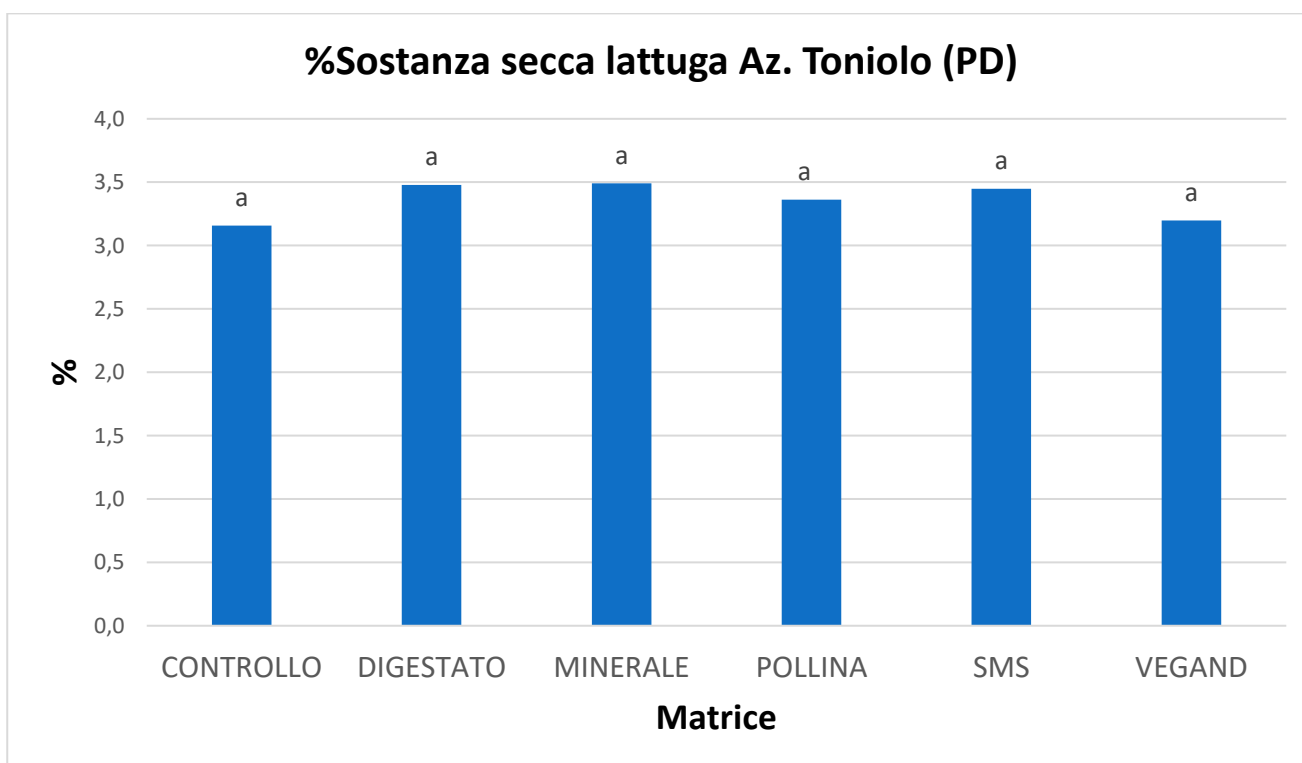


Fig.16 Effetto dei diversi trattamenti sulla percentuale di sostanza secca rilevata sulle piante di lattuga presso l'Az. Agr. Toniolo. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

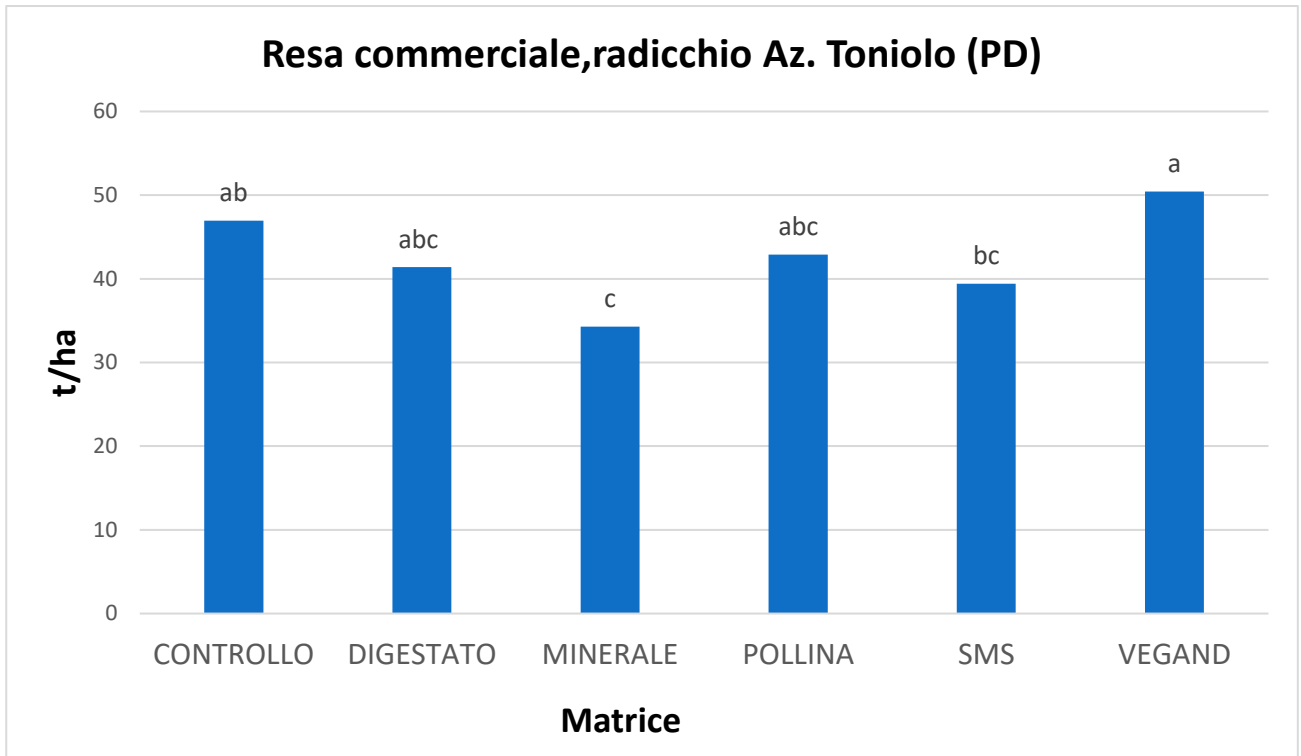


Fig.17 Effetto dei diversi trattamenti sulla resa commerciale delle piante di radicchio presso l’Az. Agr. Toniolo. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

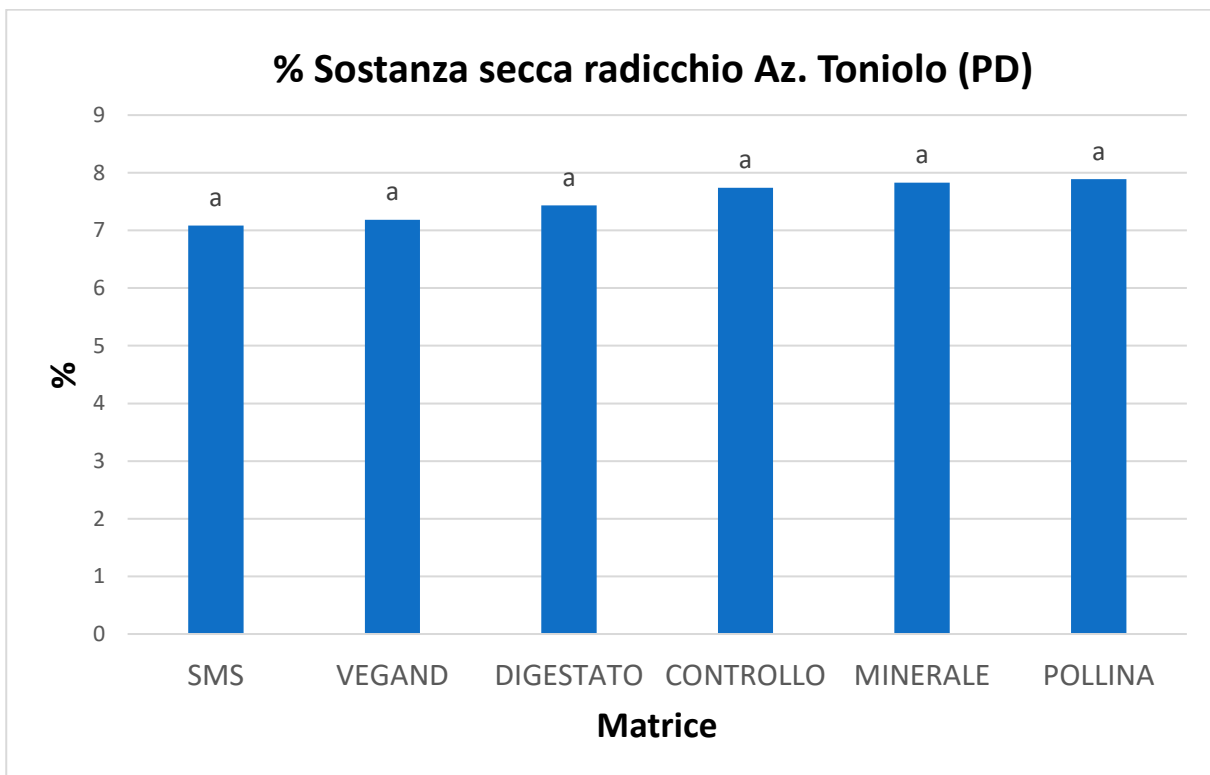


Fig.18 Effetto dei diversi trattamenti sulla percentuale di sostanza secca rilevata sulle piante di radicchio presso l’Az. Agr. Toniolo. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

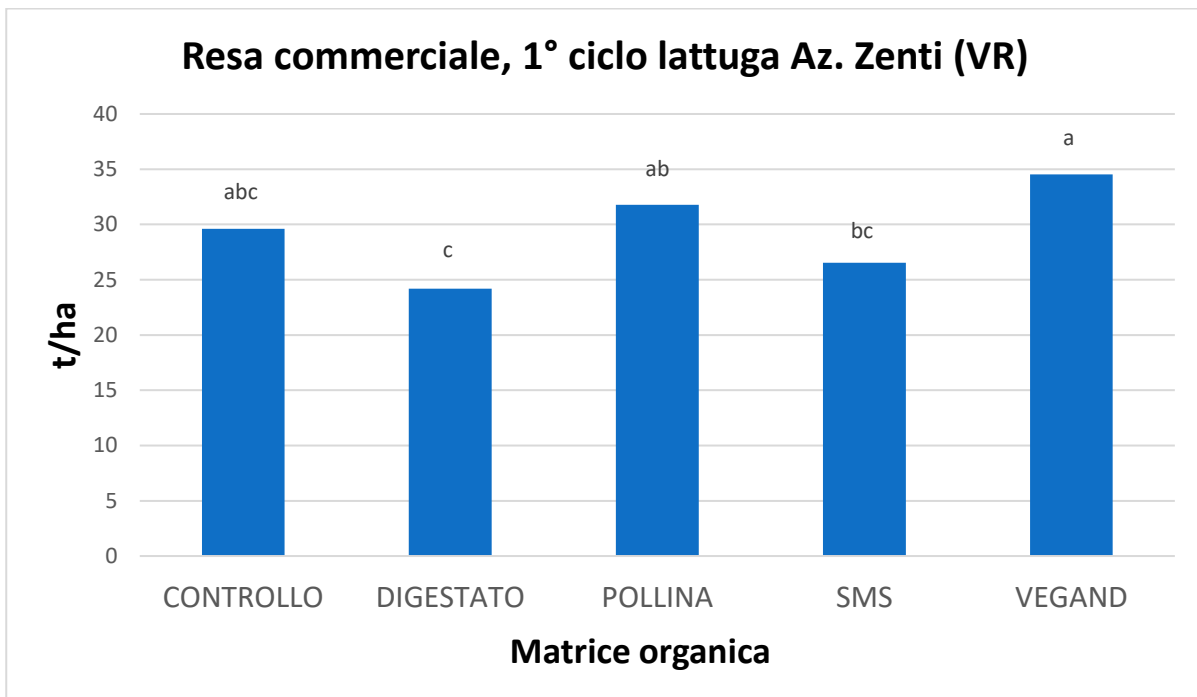


Fig.19 Effetto dei diversi trattamenti sulla resa commerciale delle piante di lattuga presso l’Az. Agr. “Zenti”. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

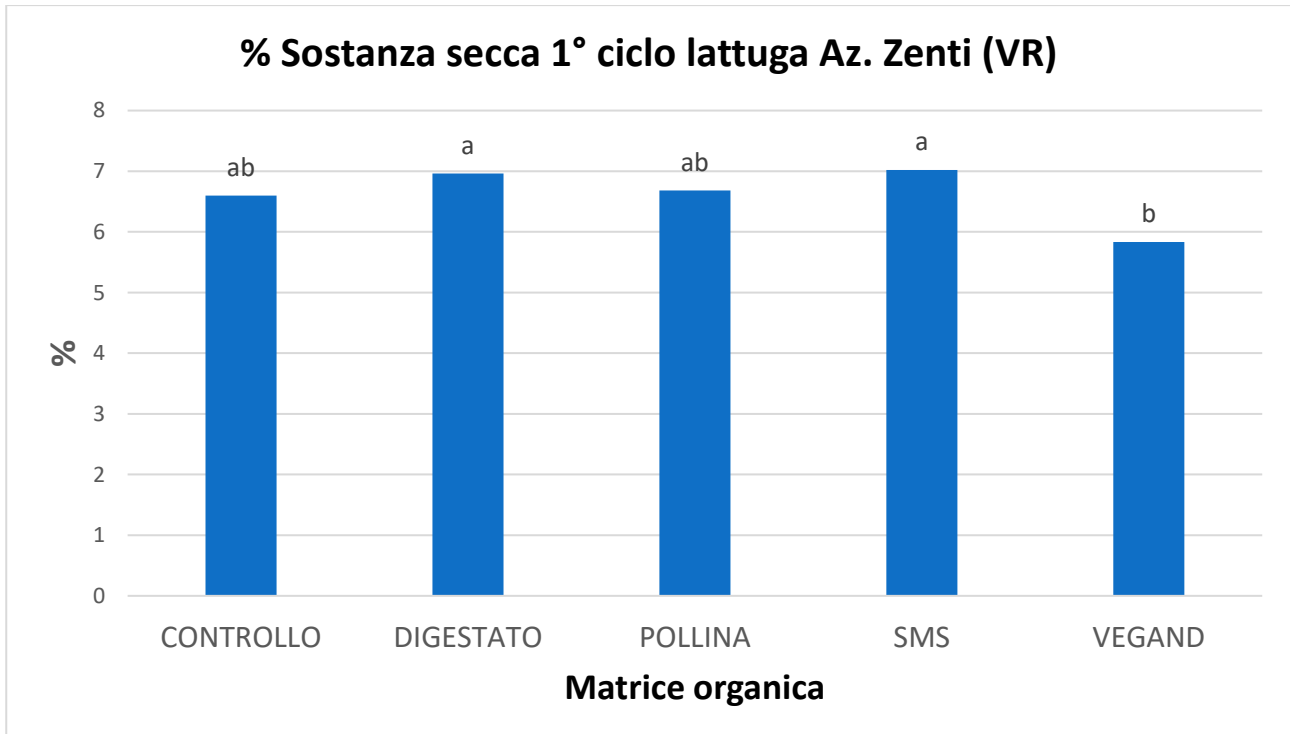


Fig. 20: Effetto dei diversi trattamenti sulla percentuale di sostanza secca rilevata sulle piante di lattuga presso l’Az. Agr. “Zenti”. Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

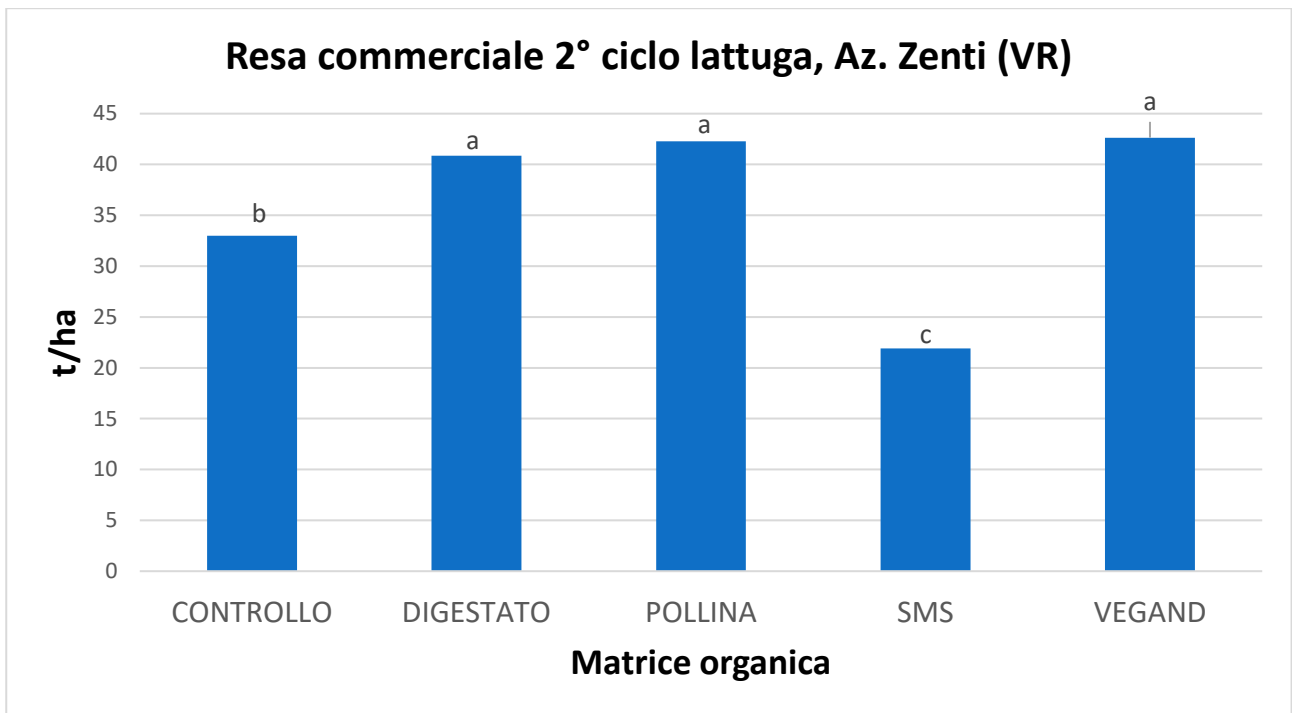


Fig. 21: Effetto dei diversi trattamenti sulla resa commerciale delle piante di lattuga presso l'Az. Agr. "Zenti". Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.

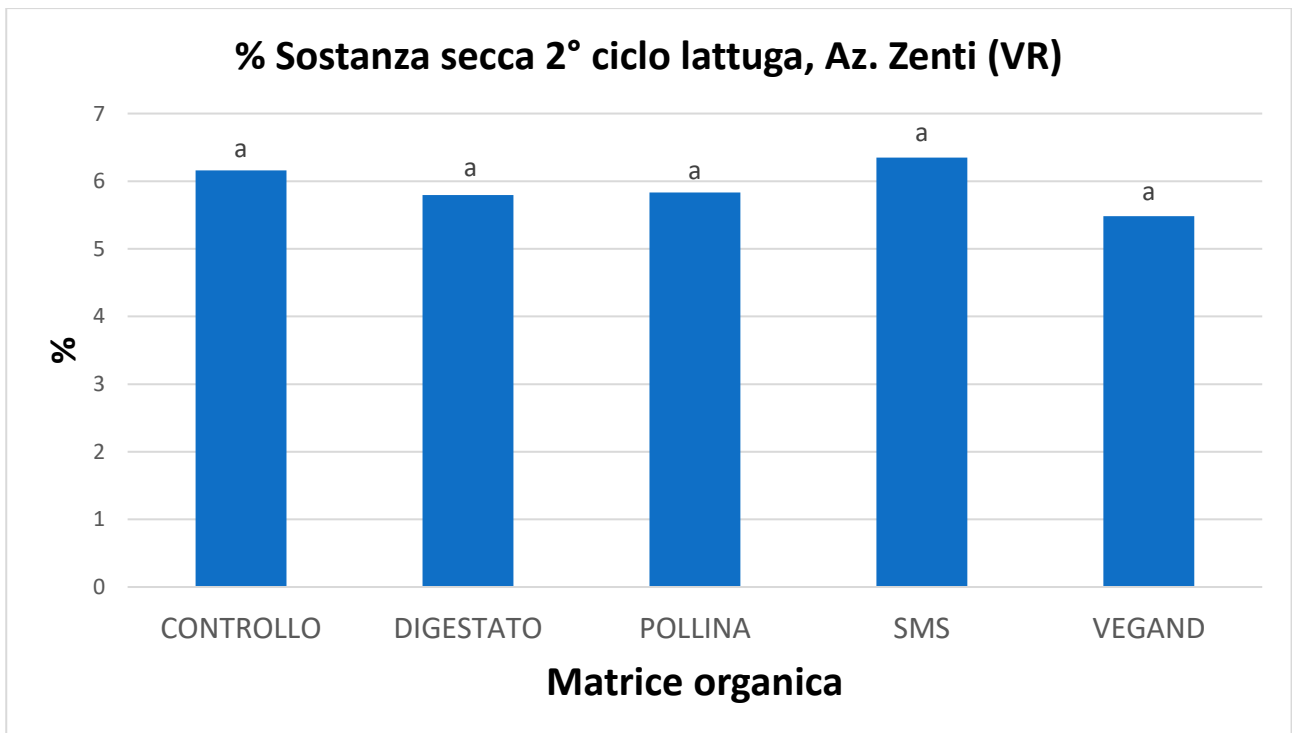


Fig. 22: Effetto dei diversi trattamenti sulla percentuale di sostanza secca rilevata sulle piante di lattuga presso l'Az. Agr. "Zenti". Per ciascun trattamento i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per 0,05 secondo il Test HSD di Tukey.