

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Dip. TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di Laurea Magistrale in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**VERIFICA DELLE CARATTERISTICHE DI IDONEITÀ
TECNOLOGICA E AGRO-AMBIENTALE DI UN RESIDUO
INDUSTRIALE COSTITUITO DA UNA MISCELA DI LEGNO E
CEMENTO UTILIZZATO SPERIMENTALMENTE COME
LETTIERA IN ALLEVAMENTI BOVINI. RISULTATI DEI TEST
CONDOTTI IN STALLA E PRIME INDICAZIONI SU QUELLI
AGRONOMICI**

RELATORE:

Dott. Pezzuolo Andrea

CORRELATORI:

Dott. Guercini Stefano

Dott.ssa Greco Rosa

LAUREANDO:

Michele Zanutto

Matricola n. 1241424

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Riassunto

La ricerca di materiali di lettiera alternativi all'impiego della tradizionale paglia di cereale-autunno vernino è di forte interesse in ambito zootecnico al fine di ottenere un maggiore vantaggio sia a livello economico che a livello di benessere animale.

Il presente elaborato di tesi si inserisce in un progetto di ricerca volto a valutare il potenziale impiego agro-zootecnico di un materiale residuo a base di legno e cemento derivante dalla produzione industriale di pannelli per uso edile. Obiettivo della presente elaborato è quindi la preliminare valutazione di impiego di tali residui sia come materiale da lettiera in allevamento di animali da reddito che come successivo ammendante per la coltivazione (in serra e campo) di tale prodotto "esausto" composto da deiezioni animali e lettiera. Nell'ambito dell'attività di confronto tra un potenziale materiale di lettiera a base di legno cemento con la paglia, sono state organizzate 3 azioni di ricerca: caratterizzazione del materiale a livello di laboratorio, allevamento e impiego agronomico. Tali fasi hanno previsto prove che sono state ripetute pedissequamente per entrambi i materiali da lettiera al fine di consentire il confronto delle due matrici. I test effettuati in laboratorio, al fine di valutare la sofficità, la capacità di assorbimento idrico e ammoniacale hanno visto nel legno cemento il conseguimento di risultati preliminarmente inferiori. Legno cemento ha presentato una scarsa propensione alla deformazione. La sua elasticità massima si è dimostrata infatti del 2,4% (21,4% per la paglia) e ha raggiunto la capacità di assorbimento idrico massima di 107% (360% per la paglia). Circa la propensione al trattenimento ammoniacale, i test di laboratorio hanno dimostrato che il materiale non è in grado di trattenere questo composto azotato. La basicità, caratteristica propria della componente inerte della matrice, ha probabilmente determinato la manifestazione di reazioni che favoriscono la liberazione di ammoniaca gassosa. Tuttavia, le successive prove in stalla hanno dimostrato l'assenza di differenze sostanziali tra le stabulazioni su paglia e legno cemento. Inoltre, l'impiego in qualità di lettiera per bovini da ingrasso è stato valutato analizzando il livello di pulizia del mantello degli animali. Mediante l'elaborazione di una scala di valutazione sono stati effettuati frequenti rilievi durante il periodo di accrescimento degli animali grazie ai quali è possibile affermare che il prodotto a base di legno cemento ha dato buoni risultati, aggiudicandosi punteggi di 4,28/5 (3,39 per la paglia) e 3,58/5 (2,96 per la paglia) nelle due prove. L'ultima fase dell'iter di valutazione è stata svolta in ambito agronomico mediante l'applicazione del letame maturo sia come substrato per la coltivazione in coltura protetta che come ammendante per la coltivazione di orticole in campo aperto. L'osservazione dei primi risultati ha dimostrato l'efficacia del prodotto in qualità di fertilizzante e ammendante.

Concludendo, le valutazioni preliminari circa l'applicabilità di tale materiale in ambito agro-zootecnico sembrano essere positive, tuttavia, sarà necessario proseguire con le ricerche e le applicazioni sperimentali al fine di confermare tali aspetti anche in scenari applicativi di medio-lungo periodo.

Abstract

The search of alternative bedding materials in place of traditional autumn-winter cereal straw takes great interest in the zootechnical field to obtain greater advantages both economically and in terms of animal welfare.

This thesis is part of a research project aimed at evaluating the potential agro-zootechnical use of a residual material composed of wood and concrete which derives from the industrial production of panels for building use. The objective of this paper is therefore the preliminary evaluation of the use of these residues both as bedding material in livestock and as consecutive soil improver for cultivation (in greenhouses and fields) of this "exhausted" product formed by manure and litter. As part of the comparison between a potential wood-cement-based bedding material with straw, 3 research actions were organized: characterization of the material at the laboratory level, breeding and agronomic use. These phases involved tests that were repeated for both litter materials to allow the comparison of these two matrices. The tests carried out in laboratory, to evaluate the softness, the water and ammonia absorption capacity, have seen in the wood-cement the achievement of preliminary lower results. Wood-concrete showed a low propensity to deformation. In fact, its maximum elasticity proved to be 2.4% (21.4% for straw) and the maximum water absorption capacity proved to be 107% (360% for straw). Regarding the propensity for ammonia retention, laboratory tests have shown that wood-concrete material is unable to retain this compound. The basicity, a characteristic of the inert component of the matrix, has probably determined the manifestation of reactions that promote the release of gaseous ammonia. However, subsequent tests in cattle barn showed the absence of substantial differences between straw and wood-cement. In addition, the use of wood concrete compound as bedding for cattle was evaluated by analyzing the cleanliness level of animals' coat. Through the development of an evaluation scale, frequent surveys were carried out during growth period of animals: as a result, it's possible to state that the product based on wood-cement has given good results, reaching winning levels of 4.28 / 5 (3.39 for the straw) and 3.58 / 5 (2.96 for the straw) in the two tests. The last phase of the evaluation process was carried out in agronomic field through the application of mature manure both as a substrate in greenhouse cultivations and as a soil improver for open field cultivations. Observation of first results demonstrated the efficiency of this product as fertilizer and soil conditioner.

In conclusion, the preliminary assessments about the applicability of this material in the agro-zootechnical field seem to be positive, however, it will be necessary to continue these research and experimental applications to confirm these aspects also in medium-long term application scenarios.

Sommario

Riassunto.....	1
Abstract	3
Capitolo 1 INTRODUZIONE.....	7
1.1 Lettiere convenzionali.....	10
1.2 Lettiere alternative	12
1.3 Lettiere sintetiche	17
1.4 Aspetti legislativi e nuove potenzialità (economia circolare).....	18
Capitolo 2 OBIETTIVI	21
Capitolo 3 MATERIALI E METODI.....	23
3.1 Caratterizzazione fisico-dimensionale del sottoprodotto	23
3.2 Impiego sperimentale in un allevamento di bovini da carne	25
3.2.1 Configurazione della prova e relativa gestione	25
3.2.2 Principali parametri analizzati.....	26
3.2.3 Approvvigionamento, lavorazione e stoccaggio delle lettiera.....	30
3.2.4 Svolgimento dei test sperimentali.....	31
3.2.5 Analisi della lettiera pre-post applicazione.....	35
3.3 Utilizzo agronomico delle lettiera esausta.....	35
Capitolo 4 RISULTATI	39
4.1 Caratterizzazione fisico-dimensionale del sottoprodotto	39
4.1.1 Contenuto idrico.....	39
4.1.2 Vagliatura – analisi dimensionale.....	39
4.1.3 Sofficità	42
4.1.4 Capacità di assorbimento idrico	43
4.1.5 Capacità di assorbimento ammoniacale.....	43
4.2 Confronto tra legno cemento e paglia in una azienda zootecnica di bovini da carne.....	44
4.2.1 Livello di pulizia degli animali	44
4.2.2 Rilevamento ammoniacale.....	47
4.2.3 Temperatura dei cumuli di maturazione della lettiera esausta	49

4.2.3 Analisi delle lettiera pre-post applicazione.....	52
4.3 Utilizzo agronomico della lettiera zootecnica esausta	54
4.3.1 Risultati agronomici.....	54
Capitolo 5 DISCUSSIONE	59
Capitolo 6 CONCLUSIONI	63
BIBLIOGRAFIA.....	65

Capitolo 1

INTRODUZIONE

Con il termine lettiera zootecnica si definisce lo strato di materiale che ricopre la superficie interna della struttura di stabulazione zootecnica ove viene allevato l'animale. La prolungata interazione e lo stretto contatto con l'animale fa sì che tale materiale debba essere comodo, pulito e asciutto. Infatti, il tempo in cui gli animali rimangono a riposo e le conseguenti prestazioni produttive sono strettamente correlati alle condizioni di stabulazione, in particolare alle caratteristiche della lettiera in termini di qualità e quantità (Tucker et al., 2003).

L'utilizzo di lettiere zootecniche, rispetto ad una pavimentazione tal quale, determina negli animali un comportamento più naturale. Bovini allevati su pavimentazioni in cemento tendono a sdraiarsi e rialzarsi meno frequentemente di quelli su lettiera (Tuytens, 2005).

Esistono diversi materiali che possono essere utilizzati per finalità di lettiera, sia di origine organica che inorganica. Tra le lettiere organiche maggiormente utilizzate vi sono le paglie (in particolare di cereale autunno vernini) e i trucioli/residuali di legno (Allen, 2007). Per quanto riguarda le inorganiche, la più frequente, in particolare nelle stabulazioni bovine è rappresentata dalla sabbia (Bickert et al., 1999).

Le lettiere organiche presentano da un lato il vantaggio dell'economicità, la compatibilità con i sistemi di gestione post stalla, l'elevata capacità di assorbimento idrico; gli svantaggi dell'utilizzo sono la predisposizione alla crescita microbica con ripercussioni sulle potenziali infezioni mastitiche e la produzione di odore (Zehner et al., 1986). Le lettiere inorganiche, per contro, contrastano maggiormente la flora microbica ma sono generalmente più costose e possono dare luogo a usure accentuate a sistemi di pompaggio/trasporto/distribuzione dei reflui zootecnici (Bradley et al., 2018).

A giocare un ruolo fondamentale circa le prestazioni produttive e l'igiene degli animali non vi sono solo le caratteristiche tecnologiche e fisico-chimiche dei materiali utilizzati. Infatti, è necessaria una corretta gestione della stalla, attraverso un'appropriata frequenza di pulizia e sostituzione, al fine di ottenere un ambiente costantemente ottimale.

I materiali da lettiera presentano alcune caratteristiche da considerare nella loro scelta, che esulano dalle proprietà intrinseche del prodotto stesso, e sono: manodopera, costo, sistema di gestione delle deiezioni e tipo di utilizzo.

Manodopera: L'approvvigionamento del materiale, la distribuzione, la sua rimozione e il successivo smaltimento della lettiera esausta richiedono la disponibilità di personale da destinare a tali mansioni. Tali operazioni, a seconda della realtà zootecnica e del materiale di lettiera possono

essere manuali o ampiamente meccanizzabili e talvolta automatizzabili, soprattutto per lettiere ampiamente diffuse (es. paglia).

Costo: I materiali da lettiera, come molti prodotti/sottoprodotti di origine agricola sono stagionali. L'acquisto della paglia avviene principalmente durante la stagione estiva in concomitanza della raccolta dei cereali autunno vernini. Nel caso degli scarti di segheria/segatura la produzione e, di conseguenza la sua disponibilità, è praticamente costante nel corso dell'anno, tuttavia, può essere molto più localizzata alle aree di produzione e lavorazione del legno.

L'acquisto di materiale da lettiera è seguito dalla disponibilità dell'allevatore di disporre di sufficienti aree di stoccaggio. Questi materiali presentano, generalmente, bassa densità apparente e pertanto richiedono ampie strutture per il deposito, soprattutto in caso di acquisto concentrato e non ripartito nel corso dell'anno.

La disponibilità di un materiale è correlata al costo. La capacità di reperire un determinato materiale da lettiera può essere allo stesso tempo connessa al suo impiego in altri settori. Un esempio è dato dalla segatura e trucioli di legno: l'utilizzo di questi come biomasse da riscaldamento, anche pressati sottoforma di bricchetti e pellet, determina una concreta competizione nell'utilizzo o nell'interesse di valorizzazione di questa risorsa.

Sistema di gestione delle deiezioni: il materiale per la lettiera deve essere adatto alla tipologia di stalla e alle tecniche di management di post-utilizzo di cui dispone l'azienda zootecnica. I sistemi di digestione anaerobica e gli impianti di compostaggio richiedono inoltre alcune attenzioni: i primi sono particolarmente sensibili alla presenza di inerti e alle matrici legnose; i secondi necessitano di una maggiore attenzione agli aspetti compositivi sia in termini dimensionali ma anche rispetto al rapporto C/N. Negli impianti di digestione anaerobica, la componente pesante dei reflui zootecnici, composta essenzialmente da sabbia, si deposita alla base dei reattori riducendone il volume effettivo e causa il blocco delle pompe.

Tipologia di utilizzo: è necessario considerare la situazione in cui verrà impiegata la lettiera, la quale può prevedere un ricambio giornaliero oppure essere permanente. La scelta deve essere effettuata in relazione alla funzione che deve svolgere (esempio: sala parto, zona nursery, infermeria), all'età dell'animale, alle condizioni ambientali e atmosferiche.

Tuttavia, come anticipato in precedenza, il materiale da lettiera non deve solo essere operativamente favorevole agli aspetti tecnico-economici aziendali ma rispondere in modo adeguato all'interazione con l'animale, attraverso:

Comfort: la lettiera deve contribuire al comfort generale dell'animale fornendo un luogo asciutto e ammorbidito che ne agevola il riposo e la ruminazione. Il comfort, infatti, è valutato principalmente

attraverso la quantificazione delle ore di riposo distribuite nell'arco della giornata. Un animale che gode di buone condizioni di allevamento aumenterà la sua produttività complessiva.

Un aspetto importante da considerare circa il comfort della lettiera è dato dal calore. Questo fattore varia stagionalmente: gli animali gradiscono maggiormente una lettiera fresca nella stagione calda e allo stesso tempo un buon livello di calore nel periodo invernale. Circa la capacità di trattenere o meno il calore, è necessario considerare la stagione di utilizzo delle varie lettiere, infatti, dal punto di vista teorico, la paglia viene preferita dagli animali nel periodo invernale, mentre la sabbia in quello estivo (Sonck et al., 1999).

Contenuto di umidità: una lettiera organica presenta una migliore capacità di assorbimento dell'umidità rispetto ad un materiale inorganico. Con l'umidità aumenta direttamente il livello di attività microbica nella lettiera portando amplificando l'azione di agenti patogeni. I materiali umidi aderiscono anche agli animali rendendo più difficoltosa la pulizia dell'animale, con particolare attenzione alla mammella. La propensione a bassi livelli si riscontra soprattutto nel caso di animali con pelo lungo. Il rivoltamento della lettiera migliora la ventilazione e può ridurre l'umidità.

Igiene: I materiali devono rimanere sempre privi di sostanze tossiche, oggetti appuntiti, muffe (in particolare se cancerogene) e polvere. La lettiera non dovrebbe sostenere la crescita batterica ed essere appetibili per gli animali.

Dimensione delle particelle: si tratta di un aspetto molto trascurato nella scelta del prodotto di lettiera. La dimensione delle particelle incoraggia la crescita batterica. Particelle molto fini come la segatura aderiranno alla pelle e alle estremità dei capezzoli esponendole a concentrazioni più elevate di batteri. In allevamenti equini, è opportuno prestare maggior attenzione a questo aspetto, in quanto l'adesione allo zoccolo può causare importanti infezioni.

La sabbia rappresenta un'eccezione a tal proposito, in quanto inorganica. Essa, nonostante le minute dimensioni delle particelle che la compongono, permette ottimi livelli di confort. Allo stesso tempo, una granulometria importante di questa matrice può causare disagio e talvolta creare ferite.

Emissioni prodotte: le emissioni di NH₃, CH₄ e N₂O sono importanti per i loro effetti diretti ed indiretti sull'ambiente. Solitamente, elevati tassi di emissione di NH₃ vengono rilevati durante la raccolta e la prima fase di stoccaggio delle deiezioni (Aguerre et al., 2010; Aguerre et al., 2012). L'emissione di ammoniaca inizia quando urina e il materiale fecale vengono miscelati, poiché quest'ultimo contiene enzimi che potenziano l'idrolisi dell'urea. Questa reazione ha effetti sugli ecosistemi naturali, sulle emissioni di gas serra e sulla salute umana. L'NH₃ contribuisce alla formazione di particelle sottili di dimensioni inferiori ai 2,5 µm nell'atmosfera, che se inalate possono raggiungere le porzioni più profonde dei polmoni, causando gravi problemi alla salute

umana (EPA, 2006). La scelta della corretta granulometria del materiale e le tecniche gestionali possono ridurre l'insorgenza di condizioni riduttive con la consecutiva riduzione della produzione di gas clima alteranti.

1.1 Lettiere convenzionali

Paglia

Il materiale da lettiera maggiormente utilizzato in ambito zootecnico è rappresentato dalla paglia. Tale prodotto deriva dall'operazione di separazione tra la granella e i culmi in fase di mietitura di cereali autunno vernini e che relativamente al panorama italiano sono frequentemente rappresentati da frumento e orzo. Tuttavia, possono essere impiegati allo stesso modo anche paglie di altri cereali sia autunno vernini o di mais.

La paglia garantisce superfici morbide e asciutte, facilità di manipolazione in quanto viene stoccata solitamente in balle cilindriche e trapezoidali che si prestano all'accatastamento aziendale. Il quantitativo giornaliero solitamente impiegato per allevamenti bovini è di circa 1,5-2,5 kg/capo, per uno spessore consigliato del letto di 0,15-0,20 m (Fig. 1.1).

La paglia presenta inoltre un'elevata capacità di assorbimento idrico, da 2 a 4 litri per chilogrammo di materiale. Il contenuto di coliformi può essere regolato attraverso la corretta gestione della lettiera, in un programma di addizione di nuovo materiale 2-3 volte a settimana (Rossi, 2005).

L'utilizzo della paglia non può avvenire in tutte le tipologie di allevamento: nel caso di strutture produttive con pavimentazione fessurata (Fig. 1.2) questo materiale comporta l'otturazione dei fori con il conseguente blocco del flusso di deiezioni alla zona di raccolta e derivante peggioramento del livello di pulizia dei soggetti (Tuyttens, 2005).



Fig. 1.1 (a sinistra) - vacca su cuccetta a paglia – Fig. 1.2 (a destra) - stabulazione con pavimentazione fessurata

Le paglie non adeguatamente trinciate e l'impiego di stocchi di mais non sono molto efficaci nei sistemi di stabulazione compost-barn, vista la difficoltà che si riscontra durante il rivoltamento con le normali attrezzature e l'eccessiva compattazione delle lettiere (Janni et al., 2007).

È stato comunque osservato in allevamenti bovini che la lettiera a paglia rispetto alla pavimentazione fessurata, ha garantito maggiori confort agli animali, in particolare riscontrabili nei tempi di riposo e di deambulazione (Scahaw, 2001). Se le vacche da latte trascorrono generalmente da 8 a 16 ore al giorno sdraiate (Tucker et al., 2009), studi effettuati hanno dimostrato che con lettiera a paglia possono essere superate le 15 ore al giorno di riposo (Rossi, 2005).

Il ricorso a stratificazioni considerevoli con paglia, nelle stabulazioni a lettiera permanente comporta un incremento del rischio di mastite (Peeler et al., 2000) e un aumento della percentuale di bovine sporche (Fregonesi e Leaver, 2001).

Derivati del legno

Prodotti quali trucioli o segatura derivanti dalla lavorazione del legno rivestono in ambito zootecnico un notevole interesse, sia per le caratteristiche chimico-fisiche che gestionali (Fig. 1.3 e 1.4). Lo stoccaggio di tali sottoprodotti può avvenire in strutture già presenti in aziende zootecniche.

La segatura è molto apprezzata per la sua elevata capacità di assorbimento. La sua pulizia è agevole perché se sottoposta a imbrattamento tende ad aggregarsi facilitando le operazioni di raccolta.

Le lettiere composte da trucioli e cippato godono di un'elevata macroporosità: la miscelazione di questi con segatura, particolarmente soggetta a compattamento, permette lo sgrondo della frazione liquida e garantisce allo stesso tempo sofficità, caratteristica propria di segatura e truciolo. Tuttavia, l'utilizzo di segatura fresca o umida riduce la capacità di assorbimento dell'acqua e può comportare un aumento del rischio di mastite a causa delle maggiori concentrazioni di *Klebsiella* spp. (Janni et al., 2007; Bewley et al., 2013).



Fig. 1.3 (a sinistra) - cuccetta con materassino e segatura; Fig. 1.4 (a destra) - vacche su segatura (Foto: crpa.it)

È opportuno sottolineare che la disponibilità di materiali derivati dalla lavorazione del legno è però generalmente limitata nella maggior parte delle regioni e il loro costo è in aumento (il costo medio di 107 euro/cuccetta all'anno, in aziende zootecniche stabulazione libera) a causa dell'elevata domanda nel mercato delle biomasse per energie rinnovabili.

Segatura di pino, tutolo di mais, chips di legno di pino si prestano anche in sistemi di allevamento su compost-barn, se viene applicata una corretta gestione delle lettiere. Leso et al. (2013) ha riscontrato un impiego medio di lettiera di 8,2 m³ per vacca all'anno in sistema produttivo con stabulazione "compost-barn", utilizzando principalmente segatura e trucioli di legno.

Circa l'utilizzo dei suddetti materiali, si sono riscontrate notevoli differenze nella percentuale delle lesioni del garretto in correlazione alle lettiere impiegate: con la miscela costituita da trucioli di legno e segatura si è riscontrata una percentuale nulla di lesioni del garretto, mentre la paglia di soia ha dato luogo alla frequenza più alta, 46,9% (Shane et al., 2010).

I chips di legno richiedono minor frequenza di aggiunta e possono essere più economici rispetto alla segatura. Tuttavia, se umidi forniscono un comfort e un'assorbimento piuttosto scarsi, creano un ambiente altamente umido generando muffe e funghi, che promuovono la crescita microbica.

1.2 Lettiere alternative

Sabbia

Fra i materiali inorganici, la sabbia rappresenta sicuramente quello maggiormente utilizzato in ambito zootecnico. Questo materiale, di norma, viene usato in cuccette a buca con suolo in terra battuta, battuto di cemento o vespaio di ciottoli e ghiaia.

I materiali inorganici consentono, rispetto a quelli organici, un migliore controllo dello stato igienico-sanitario degli animali riducendo fortemente la percentuale di mastiti e di lesioni agli arti/unghioni, oltreché una minore manutenzione delle cuccette rispetto agli altri materiali da lettiera. La sabbia garantisce buoni standard di igiene delle vacche da latte (Norrington et al., 2008).

Tuttavia, possono comportare inconvenienti legati agli impianti di asportazione delle deiezioni, quali i sistemi di pompaggio delle deiezioni, i raschiatori (es. stabulazioni per vacche da latte), sedimentazione sul fondo delle strutture di stoccaggio dei liquami e sistemi di distribuzione in campo. I materiali inorganici inoltre sono dimostrati non idonei all'utilizzo nei compost barn perché non favoriscono il compostaggio (Galama et al., 2011).

La sabbia può essere distribuita in un quantitativo giornaliero di circa 4,5-5,5 kg/capo, per uno spessore consigliato di 0,10-0,20 m e con una frequenza di distribuzione di una volta ogni 10 giorni. La sabbia garantisce alle vacche da latte un quantitativo di ore di riposo di circa 12 ore (contro le 15 sulla paglia). (Crpa, 2004)

L'analisi dei costi annui circa l'utilizzo della sabbia e della paglia, comprendenti i costi di acquisto e di manutenzione delle attrezzature necessarie all'applicazione e alla rimozione delle lettiere, ha messo in evidenza l'economicità della prima rispetto alla seconda, con importi rispettivi di euro 37

e 70 per posto stalla. Questa proiezione considera l'acquisto sia della sabbia che della paglia. Tuttavia, è bene ricordare che mentre la prima deve necessariamente essere acquistata, la seconda può avere origine interna all'azienda e non essere oggetto di acquisto (Crpa, 2004). Soluzioni alternative di asportazione e stoccaggio e sistemi di separazione solido/liquido sono già applicati negli Stati Uniti e potrebbero permetterne un potenziale utilizzo anche nella realtà italiana. Qualche perplessità destano talune tipologie di sabbia per i possibili effetti abrasivi sulla delicata zona della mammella/capezzolo. Infine, non si può escludere il pericolo di immissione di granelli di sabbia negli impianti di mungitura, se non con pulizie pre-mungitura rigorose.



Fig. 1.5(a sx) - separatore per sabbia (Foto: mclanahan.com); Fig. 1.6(a dx) cuccetta sabbia (Foto: ruminantia.it)

Frazione solida del letame

Molte aziende zootecniche, soprattutto dell'areale emiliano per la produzione di Parmigiano Reggiano, si approvvigionano di materiali da lettiera acquistandoli sul mercato poiché l'ordinamento colturale dei loro terreni è dedicato quasi totalmente alla coltivazione di colture foraggere.

Negli ultimi decenni, però, molte aziende hanno installato, impianti di separazione meccanica dei liquami (Fig.1.7) al fine di utilizzare la frazione solida ottenuta dalla separazione in qualità di lettiera in stalle libere a cuccette (Fig. 1.8).

La convenienza è interessante soprattutto per stalle di grandi dimensioni, ma non mancano implicazioni di carattere igienico-sanitario che devono essere valutate attentamente, in particolare alle vacche impiegate nella produzione di latte destinato a Parmigiano-Reggiano.



Fig. 1.7 (a sx) - separatore per letame (Foto: doda.com); Fig. 1.8 (a dx) - cuccetta con separato solido (Foto: crpa.it)

Il fattore determinante per il successo di questo prodotto come lettiera è rappresentato dalle sue proprietà chimico-fisiche e microbiologiche che però possono variare in base al tipo di liquame da trattare, al tipo e alla regolazione del separatore e alla successiva gestione del separato stesso.

Il separato solido necessita di essere conservato in una struttura coperta prima del suo utilizzo per evitare un aumento dell'umidità relativa. È necessario poi distribuire la lettiera stabilizzata con frequenza paragonabile a quella della paglia, ovvero di 2-3 volte a settimana, in strati di spessore non superiori a 15 cm per favorire l'essiccazione. Il dimensionamento delle cuccette è di fondamentale importanza al fine di evitare l'imbrattamento da feci e urine, il quale comporta il riavvio della degradazione microbica.

Da studi condotti nel Regno Unito e in Olanda sono emerse alcune raccomandazioni (DEFRA, 2017, Green et al. 2014, Valacon-Diary, 2012). Esperienze passate, concernenti il tema di compostaggio e gestione di letame o materiali simili, hanno mostrato che l'accumulo statico o dinamico, quando sottoposto a rivoltamenti, comporta lo sviluppo di processi aerobici in grado di portare le temperature interne intorno ai 60-70 °C con la conseguente sanificazione del composto sotto il profilo igienico-sanitario.

Il grafico sottostante (Fig.1.9) sono riportati valori bibliografici di Conta Batterica Totale (CBT) e di Coliformi Totali (CT), espressi in Unità Formanti Colonie su scala logaritmica (log base 10 CFU/g) per diversi tipi di lettiera, da cui emerge una grande variabilità da materiale a materiale ed anche per lo stesso materiale. Per i materiali denominati "usati" si intendono quelli già utilizzati come lettiera. I valori di CBT riferiti al separato fresco variano da 10⁴ a 10⁸ CFU/g.

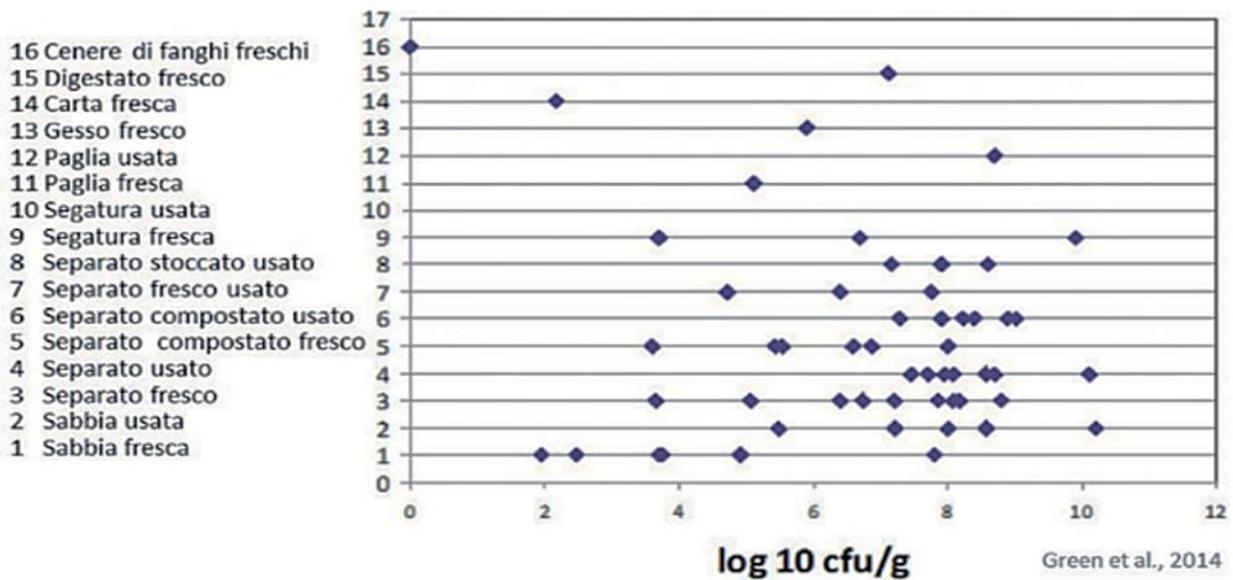


Fig. 1.9 - concentrazione di coliformi in diverse tipologie di lettiera (Foto: crpa.it)

L'importanza di aumentare la condizione di igienicità del separato ha portato i costruttori di impianti zootecnici a considerare la produzione di biocelle che hanno l'obiettivo di disinfettare il separato solido per un impiego come lettiera (Fig.1.10). Esperienze di ricerca stanno evidenziando buone condizioni di pulizia delle vacche in lattazione e una prevalenza di zoppie analoga a quella riscontrabile in stalle a cuccette che utilizzano materiali da lettiera tradizionali (es. paglia lunga, paglia trinciata, truciolo di legno).



Fig. 1.10 - Biocella igienizzante per la disinfezione del separato solido (Foto: crpa.it)

Compost

L'utilizzo del compost in qualità di materiale di lettiera ha la massima espressione nelle stalle compost barn o compost bedded pack (CBP) (Fig. 1.11). Si tratta di un particolare sistema di gestione della lettiera che coniuga il management della lettiera in sinergia con la gestione del letame prodotto dalla stalla stessa (compostaggio) (Fig. 1.12).

Questo concetto di allevamento garantisce agli animali stabulati un'elevata propensione alle espressioni naturali e alla libertà di movimento in stalla, grazie anche più bassa densità degli animali per unità di superficie rispetto a quella prevista in altri sistemi di stabulazione (es. cuccette).



Fig. 1.11 (a sinistra) – Particolare di una Compost Barn; Fig. 1.12 (a destra) - Arieggiatura della lettiera (Foto: crpa.it)

Esso è stato sviluppato per migliorare il comfort e la longevità delle bovine (Janni et al., 2007) e, per descrivere questo sistema, è stato anche utilizzato anche il termine “freewalk housing”, in quanto gli animali stabulati possono camminare liberamente all'interno della stalla entro box di adeguata dimensione priva di ostacoli o componenti strutturali (Galama et al., 2011; Bewley et al., 2017).

Il sistema CBP si basa quindi sull'allevamento di bovini all'interno di uno spazio aperto, provvisto di lettiera, in cui gli animali possono sdraiarsi e riposare e possono svolgere esercizio fisico, piuttosto che in stalle con cuccette singole e con corsie in cemento come nelle stalle a posta libera. A differenza della stabulazione convenzionale, la lettiera viene rivoltata mediamente 1-2 volte al giorno. Le deiezioni delle vacche vengono di fatto “mescolate” alla lettiera grazie alla deambulazione degli animali e all'operazione svolta dall'allevatore con mezzi meccanici: avviene così un vero e proprio compostaggio del materiale (sanificazione).

È opportuno, a priori, scegliere lettiere di partenza particolarmente sminuzzate, dalla lunghezza inferiore ai 2,5 cm e che possano garantire integrità strutturale, porosità, buona capacità di assorbimento idrico e trattenimento dei nutrienti.

1.3 Lettiere sintetiche

Le lettiere più utilizzate nelle cuccette in allevamenti di bovine da latte sono paglia e materiali sintetici. Di questi ultimi fanno parte i tappetini e i materassini zootecnici (Fig. 1.13)

I tappetini sono composti essenzialmente da pannelli di materiale polimerico/gomma, dello spessore di circa 30 mm. Sono molto resistenti e presentano solitamente scanalature o goffrature che ne conferiscono la proprietà di antiscivolo.

Data la loro natura, i tappetini non richiedono periodiche sostituzioni come nel caso delle cuccette con materiale organico ma necessitano di sostituzioni nell'arco tra i 5 e 12 anni in base alla tipologia. Il costo dei tappetini si aggira attorno ai 60 – 110 € per cuccetta, in base alle proprietà del prodotto.



Fig. 1.13 - stalla con materassino a sinistra e con tappetino a destra (Foto: crpa.it e omfontana.it)

I materassini sintetici sono composti da strati singoli o multipli di materiale plastico-gommoso. Alcune tipologie di materassino contengono all'interno sfere di gomma che conferiscono elasticità e maggiore livello di confort.

I materassini presentano un costo variabile di 80 – 140 €, il quale varia in base alla tipologia di materasso, se monostrato o pluristrato e dalle caratteristiche del prodotto.

Da un'indagine svolta, è emerso che una problematica ricorrente all'usura del materassino è data dalla fuoriuscita del materiale plastico in esso contenuto, con il conseguente inquinamento della lettiera e del letame.

Il ricorso a queste tipologie di cuccette è comunque accompagnato dall'aggiunta di altri materiali sia organici che inorganici, applicati sulla superficie. I più ricorrenti sono segatura e paglia tritata per quelli della prima categoria citata, mentre possono essere utilizzati carbonato di calcio, calce e sabbia, facenti parte degli inorganici.

1.4 Aspetti legislativi e nuove potenzialità (economia circolare)

Nell'ambito delle azioni volte all'applicazione di concetti legati all'economia circolare, al riutilizzo e al riciclo, un ruolo cruciale è attribuito al D.lgs n. 152 del 2006 ovvero il Testo Unico in materia Ambientale (TUA). Questa nuova linea di sviluppo ha come fine la riduzione dell'utilizzo di risorse in favore del ricorso a beni e materiali già presenti nel ciclo economico.

All'articolo 184-ter, il Testo individua le condizioni che deve rispettare un prodotto "*end of waste*", ovvero un rifiuto che è stato recuperato attraverso azioni idonee. I requisiti sono la possibile destinazione per fini specifici, l'esistenza di domanda sul mercato per tale prodotto, il soddisfacimento di requisiti tecnici e normativi. Per ultimo, ma non meno importante, il rispetto dei principi del diritto ambientale (precauzione, prevenzione, sviluppo sostenibile), attraverso studi di ricerca finalizzati alla verifica che l'oggetto o prodotto non porterà impatti negativi sull'ambiente e la salute umana.

La nuova legislatura rafforza la "gerarchia dei rifiuti", sottoponendo Stati membri all'attuazione di misure speciali che diano priorità alla prevenzione, al riutilizzo e riciclaggio.

L'applicazione del principio "end of waste" nel settore agrario ha origini remote e ha visto il riutilizzo e riciclo di materiali di scarto provenienti da diversi settori, anche non strettamente agro-alimentari. Il concetto trova la propria disciplina all'interno del TUA, agli articoli 44 e 101, attraverso la definizione di due aspetti essenziali in materia: "refluo" e "utilizzazione agronomica". La deliberazione del concetto di refluo avviene al comma 7 dell'articolo 101: "ai fini della disciplina degli scarichi e delle autorizzazioni, sono assimilate alle acque reflue domestiche le acque reflue: provenienti da imprese dedite esclusivamente alla coltivazione del terreno e/o alla silvicoltura e provenienti da imprese dedite ad allevamento di bestiame".

Per quanto riguarda la definizione di utilizzazione agronomica, il legislatore definisce nell'articolo 74: "la gestione di effluenti di allevamento, acque di vegetazione residue dalla lavorazione delle olive, acque reflue provenienti da aziende agricole e piccole aziende agro-alimentari, dalla loro produzione fino all'applicazione al terreno ovvero al loro utilizzo irriguo o fertirriguo, finalizzati all'utilizzo delle sostanze nutritive e ammendanti nei medesimi contenute".

L'impiego di prodotti di scarto avviene in ambito zootecnico principalmente in qualità di lettiera per la stabulazione degli animali. Due esempi di applicazione come materiale da lettiera sono dati dalla carta e dal legno-cemento.

La carta gode di una importante disponibilità, in particolare in aree prossime ai centri abitati e alle industrie cartiere e presenta competitività in termini di costi rispetto ai tradizionali materiali da lettiera. Essa si adatta a molte tipologie di allevamento e specie animali differenti grazie alle sue proprietà: altamente assorbente, di lunga durata, sterile, privo di polvere, si decompone rapidamente nel terreno ed è facilmente incorporata in un sistema di gestione del letame.



Fig. 1.14 (a sinistra) - vitello su carta riciclata; Fig. 1.15 (a destra) - carta macinata per lettiera (americandairy.com)

L'utilizzo di carta può avviarsi tramite l'acquisto da una fonte, come un centro di riciclaggio, oppure attraverso un piano di raccolta, in cui l'agricoltore partecipa alle operazioni ecologiche. Secondo diversi studi dell'Università del Wisconsin, il giornale tagliato contiene le stesse, se non leggermente inferiori, popolazioni di agenti patogeni ambientali, rispetto ad altri materiali organici. Non vi è alcun rischio reale di contaminazione tossica dal giornale all'animale, in quanto il prodotto è sicuro e non appetibile. L'allevatore deve comunque essere informato alla fonte circa il tipo di inchiostro utilizzato.

In questo elaborato di tesi è stato descritto il potenziale di un sottoprodotto della produzione di materiali per edilizia, composto da legno e cemento in un allevamento zootecnico. Si tratta di un prodotto che abbina caratteristiche proprie delle matrici organiche citate, quali segatura, cippato e trucioli, con particolarità tipiche dei composti inerti, come la sabbia.

Capitolo 2

OBIETTIVI

La possibilità di sostituire la paglia, materiale di lettiera per eccellenza, è di particolare interesse per le aziende zootecniche. La ricerca di materiali di surrogazione, con altre matrici più economiche e performanti dal punto di vista dell'impatto ambientale e del benessere animale, è di fondamentale importanza in un'ottica di aumento della sostenibilità del settore zootecnico.

Il presente elaborato di tesi si inserisce in un progetto di ricerca volto a valutare il potenziale impiego agro-zootecnico di un materiale residuo a base di legno e cemento derivante dalla produzione industriale di pannelli per uso edile.

Obiettivo della presente tesi è quindi la preliminare valutazione di impiego di tali residui sia come materiale da lettiera in allevamento di animali da reddito che come ammendante per la coltivazione (in serra e campo) della lettiera esausta composta da deiezioni animali e lettiera.

In un'ottica di sostenibilità ambientale e completo sfruttamento delle risorse, tale elaborato di tesi si prefigge di dare una preliminare valutazione di compatibilità del prodotto base di legno-cemento come lettiera per allevamenti di bovini da carne e il conseguente utilizzo del letame in ambito agrario in confronto ad un tradizionale impiego di lettiera convenzionale (paglia).

Capitolo 3

MATERIALI E METODI

3.1 Caratterizzazione fisico-dimensionale del sottoprodotto

La finalità di tali prove è quella di verificare l'attitudine del sottoprodotto a base di legno-cemento come lettiera zootecnica per animali da reddito. Al fine di poter confrontare tale materiale con una tradizionale lettiera zootecnica (paglia), le prove di caratterizzazione fisico-dimensionale sono state ripetute in maniera analoga sia per il legno-cemento che per la paglia di cereali autunno-vernini.

Un campionamento di tali materiali di lettiera sono stati effettuato presso un'azienda zootecnica privata sita nella provincia di Padova, in cui hanno avuto luogo le prove sperimentali. Il materiale è stato prelevato dai cumuli di stoccaggio del prodotto, in diverse posizioni e per ogni campionamento sono state prelevate più ripetizioni che sono state successivamente miscelate.

Per la paglia è stato effettuato un campionamento in un'unica epoca in quanto l'azienda zootecnica provvede al totale fabbisogno annuale di paglia durante la stagione estiva. Essendo già presente in azienda in toto, è stato possibile in un'unica soluzione, il prelievo del materiale da più punti dello stoccaggio.

La caratterizzazione fisico-dimensionale dei due materiali di lettiera è stata eseguita in collaborazione con il Laboratorio Analisi Bio Combustibili – ABC del Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università degli Studi di Padova con sede a Legnaro (PD).

Le analisi fisiche a cui sono stati sottoposti i materiali da lettiera sono: 1) determinazione del contenuto idrico; 2) granulometria; 3) assorbimento idrico; 4) sofficietà e 5) capacità di assorbimento ammoniacale.

Contenuto idrico: In seguito al prelievo in azienda, una quota dei materiali da lettiera vergine è stata essiccata per 24 ore in stufa, alla temperatura di 105°C. Le aliquote sono state pesate prima e dopo l'essiccazione.

Granulometria: L'analisi dimensionale consiste nella separazione di un prodotto sfuso in base alla dimensione delle particelle di cui è composto. Tale prova, per i materiali da lettiera, viene eseguita tramite setacciatura del prodotto secco.

La setacciatura è un'operazione che consente il passaggio delle particelle più fini e mantiene all'interno del setaccio la componente più grossolana. Questo procedimento può essere riprodotto sia con setacci manuali che con dispositivi meccanici. La prova ha avuto inizio con l'essiccazione

del prodotto in stufa a 105°C per 24 ore. La finalità dell'essiccazione è stata quella di limitare il raggruppamento delle particelle durante la fase di setacciatura.

La granulometria è stata valutata con l'utilizzo di un vaglio elettrico oscillante in dotazione al laboratorio ABC. L'operazione di vagliatura è preferibilmente eseguita con dispositivi meccanici, in quanto questi la rendono maggiormente ripetibile e standardizzabile (Fig. 3.1).

Il prodotto, preventivamente essiccato, è stato posto sul setaccio superiore e il motore è stato azionato per 15 minuti. Tale tempistica consente al prodotto di essere selezionato e di sedimentare nel setaccio del giusto calibro.

I setacci utilizzati sono di forma circolare, a maglie esagonali e quadrate di acciaio inossidabile. La forma della maglia varia in funzione alla granulometria che la attraversa. Per le classi più grossolane, fino a 3,15mm la forma è esagonale, mentre al di sotto di tale misura assumono conformazione quadrata.

Per la prova sono stati installati, di cui si riportano i risultati, 6 setacci: 8mm, 3,15mm, 2mm, 1mm, 0.5mm e 0.25mm. La componente più minuta si deposita sul piatto inferiore del sistema vagliante. Tutte le particelle che hanno attraversato i crivelli soprastanti, si vanno a collocare in questo piatto circolare di acciaio inossidabile, perfettamente liscio.



Fig. 3.1 – Vaglio elettrico oscillante utilizzato durante la prova

Assorbimento idrico: L'analisi del contenuto idrico è stata effettuata secondo una procedura interna al laboratorio ABC; pertanto, la metodologia e i processi svolti non saranno dettagliatamente descritte in questo elaborato di tesi per motivi di riservatezza.

L'obiettivo di tale analisi era quello di verificare la capacità di lettiera a base di legno-cemento e di paglia a trattenere acqua. La prova prefiggeva di simulare quanto accade in ambiente zootecnico,

durante il quale tale materiale di lettiera, in questo caso paglia di cereali autunno-vernini e legnocemento tritato vengono sottoposti ad inumidimento.

La capacità della lettiera a drenare eventuali liquami e perdite di acque di abbeveraggio è una caratteristica molto importante da considerare nella scelta delle lettiere ad uso zootecnico.

Sofficità: L'analisi è stata effettuata secondo una procedura interna al laboratorio ABC; pertanto, la metodologia e i processi svolti non saranno dettagliatamente descritte in questo elaborato di tesi per motivi di riservatezza.

L'obiettivo di tale analisi era di verificare la capacità della lettiera a deformarsi se sottoposta a sollecitazioni. La sollecitazione maggiore a cui è sottoposta la lettiera è data dal peso dell'animale. Esso, infatti, la comprime al di sotto di sé sia durante la deambulazione, sia a riposo, sia durante l'alimentazione, durante la quale il soggetto rimane in piedi di fronte alla rastrelliera. Il livello di umidità e la sofficità della lettiera influenzano il tempo che gli animali trascorrono coricati.

Capacità di assorbimento ammoniacale: L'analisi è stata effettuata secondo una procedura interna al laboratorio ABC; pertanto, la metodologia e i processi svolti non saranno dettagliatamente descritte in questo elaborato di tesi per motivi di riservatezza.

La finalità del confronto tra le due lettiere circa la capacità di trattenimento dell'ammoniaca aveva la finalità di osservare la capacità dei substrati a trattenere azoto ammoniacale. Tale attitudine consente una maggiore valorizzazione del prodotto esausto in qualità di fertilizzante e la maggiore sostenibilità ambientale dell'impiego delle rispettive lettiere. Ma non meno importante, anche una ritenzione di ammoniaca in prevenzione ai disturbi e intossicazioni degli animali in stalla.

3.2 Impiego sperimentale in un allevamento di bovini da carne

3.2.1 Configurazione della prova e relativa gestione

Le attività sperimentali si sono svolte presso un'azienda zootecnica privata con sede in Tombolo (PD) nel periodo compreso tra marzo e novembre 2020. L'azienda, in cui ha avuto luogo la sperimentazione, si occupa principalmente dell'allevamento di bovini da ingrasso, vitelloni e scottone con una capacità produttiva di circa 1.000 posti stalla.

L'allevamento prevede la rimonta esterna dei capi, con approvvigionamento estero, in particolare francese, dei soggetti giovani.

Le strutture zootecniche sono caratterizzate da una corsia di foraggiamento centrale con due ordini di box sui due lati. Ogni box è inoltre dotato di un attiguo recinto scoperto, anch'esso dotato di lettiera.

Le prove hanno avuto luogo in due strutture produttive adiacenti dell'azienda zootecnica. Gli edifici sono stati rinominati A e B e le ripetizioni hanno seguito la nomenclatura scelta per l'edificio in cui

si è verificata la prova (Fig. 3.2). Ogni stalla è stata divisa in maniera longitudinale in due porzioni: in una fascia di stabulazione è stato impiegato il prodotto a base di legno e cemento di cui si vuole appurare l'efficacia in qualità di lettiera per bovina e nell'altra è stata impiegata lettiera tradizionale a base di paglia di cereale autunno vernini.



Fig. 3.2 – Foto satellitare e definizione delle zone dell'allevamento in cui ha avuto luogo la prova

3.2.2 Principali parametri analizzati

PARAMETRI ANIMALI: Dal punto di vista metodologico il monitoraggio degli animali allevati ha interessato le seguenti categorie e relativi parametri: grado di pulizia e peso medio iniziale e finale. Il rilievo del livello di pulizia degli animali è stato effettuato ad ogni visita dell'allevamento, con cadenza settimanale. Al fine di valutare in maniera quanto più oggettiva il livello di pulizia degli animali, è stata adottata una scala di valutazione.

Il grado di igiene degli animali è stato determinato tramite osservazione visiva degli animali allevati. Tale operazione è stata svolta dalla corsia di foraggiamento. Non c'è stata una azione di scelta del campione di animali da valutare ma la loro individuazione è stata casuale. Tuttavia, l'eventuale presenza di anomalie, per esempio la rottura di condotte degli abbeveratoi o la straordinaria presenza di acqua piovana all'interno di eventuali box con conseguenza del totale deperimento della lettiera in maniera non rappresentativa delle condizioni generali della stalla, ha determinato l'esclusione dei capi presenti in suddetti box alla valutazione di igiene.

La scala di valutazione è stata redatta in cinque livelli di punteggio relativo il grado di pulizia (Fig.3.3):

- Punteggio 5: il soggetto è complessivamente pulito;
- Punteggio 4: il soggetto è sporco a livello dei garretti (tracce di deiezioni e lettiera);
- Punteggio 3: il soggetto è sporco a livello degli arti inferiori, in maniera uniforme e completa;

- Punteggio 2: il soggetto è sporco a livello del fianco e ventre, in maniera uniforme e completa;
- Punteggio 1: il soggetto è sporco uniformemente a livello del fianco, ventre e tutto l'arto posteriore.

Punteggio	Stinco - garretto	Arto - gamba	Fianco - coscia	Ventre - addome	
5					Garretto: pulito Arto: pulito Fianco: pulito Ventre: pulito
4					Garretto: sporco Arto: pulito Fianco: pulito Ventre: pulito
3					Garretto: sporco Arto: sporco Fianco: pulito Ventre: pulito
2					Garretto: sporco Arto: sporco Fianco: sporco Ventre: pulito
1					Garretto: sporco Arto: sporco Fianco: sporco Ventre: sporco

Fig. 3.3 – Scala di valutazione della pulizia degli animali in 5 livelli

PARAMETRI LETTIERA ZOOTECNICA: Per quanto riguarda i materiali di lettiera e la loro evoluzione durante la permanenza in stalla: presenza di ammoniaca a livello della lettiera; quantità di nuova lettiera immessa ad ogni rinnovo o quantità a seguito di eventuali integrazioni; periodo di permanenza; qualità del materiale immesso.

La presenza e contenuto di ammoniaca nell'ambiente è stata rilevata ad ogni visita dell'allevamento. A tal fine è stata utilizzata una pompa manuale Dräger (Fig. 3.4) e fiale colorimetriche sensibili a NH_3 . Le fiale contengono al loro interno da un reagente sensibile al gas (NH_3). Il passaggio di una quantità nota del gas da analizzare, contenente NH_3 , determina il

viraggio del reagente da bianco a marrone, mentre la concentrazione dell'ammoniaca viene letta mediante la scala graduata impressa nella fiala.

Il rilevamento è stato effettuato tramite prelievi all'interno dei box, in condizioni rappresentative dello stato della lettiera, ad un'altezza di circa 25cm dal suolo. Al fine di ottenere una misurazione rappresentativa, sono state escluse le zone adiacenti agli abbeveratoi, in quanto la perdita di acqua durante l'abbeveraggio determina condizioni riduttive e non rappresentative dello stato complessivo della lettiera.

Essendo la stalla sprovvista di impianti di ventilazione, il movimento delle masse d'aria è puramente naturale e consente all'ammoniaca di trattenersi in prossimità alla lettiera e alle deiezioni da cui ha avuto origine.



Fig. 3.4 – Pompa manuale Dräger utilizzata durante la prova con relativa fiala colorimetrica inserita

PARAMETRI LETTIERA ESAUSTA/LETAME: per quanto riguarda l'evoluzione delle due tipologie di letame durante la permanenza in concimaia: temperature dei cumuli in cui venivano stoccate le lettiere esauste (letami) e caratteristiche fisico-chimiche del letame prelevato dalla concimaia.

Il rilevamento della temperatura dei cumuli rappresenta una fase di analisi successiva all'utilizzo della lettiera in stalla. In seguito alla rimozione del materiale l'operatore ha provveduto a trasportare il prodotto all'esterno della struttura e ha collocato il letame fresco in un cumulo.

La lettiera si intende esausta dal momento in cui non è più in grado di consentire all'animale sufficienti condizioni di igiene del mantello, la deambulazione senza scivolamenti e risulta visivamente carica di deiezioni di allevamento.

Tale operazione è stata ripetuta ugualmente sia per la corsia con lettiera a paglia, sia per la corsia con la lettiera di legno-cemento. La cumulazione permette alla lettiera carica di deiezioni di raggiungere elevate temperature, sanificando il prodotto.

La maturazione delle due differenti lettiere è stata eseguita separatamente: è stato realizzato un cumulo con lettiera e deiezioni derivati dall'allevamento su stalla a paglia e un cumulo con lettiera e deiezioni derivati dall'allevamento su stalla a legno-cemento.

Il materiale viene così collocato in cumuli di stoccaggio trapezoidali o troncoconici, i quali originariamente raggiungevano le dimensioni di circa 7 metri x 7 metri e un'altezza di circa 2 metri. Tali dimensioni sono destinate a ridursi per la compressione del prodotto sugli strati sottostanti e alla liberazione di sacche d'aria e all'evaporazione di acqua.

Durante il periodo di maturazione della lettiera esausta, composta da deiezioni con legno cemento e deiezioni con paglia, sono state rilevate e registrate le temperature interne ai cumuli. A tale scopo sono state impiegate delle sonde con datalogger (Fig. 3.5), le quali sono state inserite nei cumuli ad una profondità di circa 60 cm. Sono stati collocati tre rilevatori per ogni cumulo, in diverse posizioni.

Tali misurazioni sono state acquisite solo dalla lettiera esausta ottenuta dalla prima pulizia, effettuata nella Stalla A, nel mese di luglio. La scelta era volta a garantire una maturazione quanto più prolungata del materiale a fine prova (novembre 2020) e assicurare il celere utilizzo del prodotto nelle prove successive.

Tale materiale è stato utilizzato per le prove in ambiente protetto e in campo nelle successive prove di utilizzazione agronomica su bieta da coste, cavolo cappuccio e cavolfiore. Il restante materiale derivato dalle successive pulizie della stalla A e B è stato cumulato nel rispetto delle buone pratiche agronomiche e utilizzato in campo presso l'azienda zootecnica.

Le temperature di maturazione della lettiera esausta sono state rilevate con l'utilizzo di datalogger Econorma FT-90/USB, dotati di due rilevatori di temperatura: uno prossimale, ovvero incorporato alla scheda del datalogger, per il rilevamento ambientale, e uno distale, collocato al termine della sonda, per la misurazione all'interno del cumulo. I dispositivi sono stati settati per la registrazione della temperatura ogni 20 minuti.



Fig. 3.5 – Datalogger con sonda utilizzati per il rilevamento delle temperature dei cumuli

3.2.3 Approvvigionamento, lavorazione e stoccaggio delle lettiere

Lettiera Legno Cemento

La produzione del materiale di lettiera a base legno-cemento deriva dalla trinciatura dei residui degli articoli di scarto dell'impresa produttrice. Il prodotto che poi diventa lettiera si presenta inizialmente sottoforma di pannelli di legno-cemento pressati, particolarmente disomogenei dal punto di vista dimensionale. L'azienda fornitrice si occupa, perciò, della triturazione del materiale a cui vengono aggiunti, in maniera variabile, trucioli e segatura sempre derivanti dal processo produttivo di pannelli di legno-cemento. Tale triturazione avviene per mezzo di una macchina cippatrice agro-forestale.

Il prodotto finale è palabile e ottiene le sembianze del prodotto ligneo di partenza, ovvero lana di legno. La componente cementizia non viene separata dalla componente legnosa ma bensì rimane comunque adese le une alle altre.

Un altro dispositivo impiegabile nella triturazione è il carro miscelatore (Fig 3.6). Esso consente la produzione di materiale frantumato da lettiera con la risoluzione di alcune problematiche tipiche dei sistemi di cippatura, ovvero la polverosità e la rumorosità.

L'approvvigionamento del materiale da parte dell'azienda zootecnica avviene direttamente presso l'impresa produttrice dei blocchi. Essendo la produzione di tali pannelli di tipo continuo, non stagionale, il suddetto rifornimento di lettiera avviene in maniera continuativa durante l'anno, con cadenza mensile.

Il prodotto è trasportato presso l'allevamento e scaricato su un piazzale di cemento; è stato stoccato all'aperto, in cumuli piramidali approssimativamente di base 8 metri x 12 metri e altezza 6 metri in attesa del suo utilizzo in stalla (Fig. 3.7)



Fig. 3.6 (a sinistra) – Carro miscelatore impiegato per la triturazione; Fig.3.7 (a destra) – Lettiera di legno cemento

Lettieria Paglia

La paglia utilizzata ha origine interna all'azienda zootecnica. L'approvvigionamento è stagionale e avviene principalmente nei mesi di giugno e luglio, simultaneamente alla raccolta dei cereali a semina autunnale. Dato il grande quantitativo consumato dall'azienda in questione, il deposito avviene all'esterno, in pile coperte da film plastico al fine di evitare il deperimento del prodotto da parte degli agenti atmosferici. Le paglie maggiormente utilizzate sono di cereale autunno vernini, in particolare grano tenero (*Triticum aestivum*) e in maniera minoritaria di orzo (*Hordeum vulgare*).

3.2.4 Svolgimento dei test sperimentali

Svolgimento della Prova "A"

La sperimentazione nella Stalla A ha avuto inizio il 26 giugno 2020 ed è terminata il 26 agosto 2020, per un totale di 61 giorni. Al test ha preso parte il personale dell'impresa zootecnica, il quale ha adattato le proprie metodiche di allevamento all'utilizzo del prodotto a base di legno-cemento. Internamente alla struttura, la corsia di foraggiamento è centrale (Fig. 3.8). Le aree di stabulazione presentano un pavimento pieno e liscio – non fessurato – senza pendenze. All'interno dei box gli animali sono disposti in numero variabile, in funzione alla superficie stessa del box.



Fig. 3.8 – Foto interna della stalla in cui ha avuto luogo la prova "A"

Le aperture perimetrali consentono la fuoriuscita degli animali nell'area esterna e la ventilazione naturale. Vi sono due ordini di aperture: uno da terra a circa 2m di altezza, il quale consente ai capi di accedere alla zona esterna, uno superiore, da circa 2.50m di altezza fino all'architrave, il quale sostiene la copertura.

L'edificio è composto da un corpo centrale, di dimensioni 50 metri x 14 metri e due aree esterne laterali di dimensioni 35 metri x 4 metri e 50 metri x 3 metri.

Nell'intervallo di tempo in cui ha avuto luogo la prova, sono state compiute diverse visite volte a verificare il livello di pulizia dei soggetti e della lettiera, il rilevamento dell'ammoniaca, la verifica del

corretto funzionamento dei datalogger e lo scarico dei dati da questi ultimi su dispositivo. Nella stalla A sono state effettuate 8 visite: 26 giugno, 3 luglio, 10 luglio, 17 luglio, 29 luglio, 7 agosto, 17 agosto, 26 agosto 2020.

I soggetti che hanno preso parte alla prova sono maschi di razza Salers, i quali sono stati seguiti dal peso vivo iniziale di circa 320 Kg al peso vivo finale, di macello, di circa 600 Kg.

I capi, 105 vitelloni sono stati suddivisi nel modo seguente: 51 nel comparto legno cemento e 54 nel comparto paglia. Tale disparità è dovuta ad una leggera asimmetria spaziale, causata dalla chiusura di un box.

Durante il test, nell'area di stabulazione est è stata utilizzata lettiera tradizionale, paglia di cereali, mentre nell'area ovest è stato steso il prodotto a base legno-cemento (Fig. 3.9 e 3.10)



Fig. 3.9 (a sinistra) – vitelloni su legno cemento; Fig. 3.10 (a destra) – vitelloni su paglia

Distribuzione lettiera legno cemento e paglia nell'ambito della prova A

La distribuzione del materiale di lettiera ha previsto la copertura delle superfici in cui gli animali saranno stabulati. La distribuzione nella corsia a paglia è un'operazione che viene svolta dalla corsia di foraggiamento, tramite l'utilizzo di una trattrice dotata di trincia-lanciapaglia ovvero di una macchina operatrice che provvede simultaneamente alla fresatura della rotoballa e alla distribuzione nella zona di stabulazione.

La lettiera di legno-cemento è stata distribuita invece mediante elevatore telescopico, attraversando le aree di stabulazione (Fig. 3.11) Tale operazione ha richiesto l'apertura delle cancellate che separano i vari box e l'accompagnamento dei capi in zone alternative, al fine di consentire il transito in sicurezza dei mezzi e degli operatori, senza arrecare danno agli animali.

Ad ogni periodo sono stati distribuiti rispettivamente:

- 2280 kg di paglia sono stati immessi nella sezione est: 1280 Kg all'atto della pulizia, 1000 Kg a metà periodo: frazionamento necessario per l'elevato ingombro spaziale della paglia.

- 2280 Kg di legno-cemento sono stati immessi nella sezione ovest, totalmente all'atto della pulizia.

La distribuzione della paglia è stata eseguita in due momenti, al fine di garantire un parziale rinnovo del materiale di lettiera e per consentire il movimento delle cancellate che separano i box, le quali, essendo striscianti, pongono un limite importante al quantitativo di lettiera utilizzabile.

Con cadenza periodica, in un intervallo di 19-29 giorni, sono state effettuate le operazioni di pulizia.



Fig. 3.11 – fase di distribuzione del legno cemento

Pulizia e cumulazione nell'ambito della prova A

Per la rimozione della lettiera esausta è stato impiegato un elevatore telescopico e una pala gommata per le operazioni di rifinitura. Una volta caricata la lettiera sulla pala, l'operatore trasporta il prodotto all'esterno della struttura e colloca il prodotto in un cumulo. Tale operazione è stata ripetuta ugualmente sia per la corsia con lettiera a paglia, sia per la corsia con la lettiera di legno-cemento. La lettiera viene prontamente sostituita con materiale nuovo.

La cumulazione permette alla lettiera carica di deiezioni di raggiungere elevate temperature, sanificando il prodotto. Il calore sviluppato, in particolare al centro del cumulo provoca la morte di patogeni. Il letame che deriva da questo processo può essere utilizzato agronomicamente.

Le temperature sviluppate dai cumuli sono state rilevate e registrate tramite termo-datalogger. Il loro impiego è stato considerato nell'ottica di valutare il tempo di residenza e spegnimento del letame in azienda, ovvero il tempo necessario alla completa maturazione del letame. Tali misurazioni sono state acquisite solo dalla lettiera esausta ottenuta dalla prima pulizia, effettuata nella Stalla A, nel mese di luglio. La scelta era volta a garantire una maturazione quanto più prolungata del materiale a fine prova (novembre 2020) e assicurare il celere utilizzo del prodotto nelle prove successive, in ambiente protetto e campagna.

Svolgimento della Prova "B"

La sperimentazione nella Stalla B ha avuto inizio il 26 agosto 2020 ed è terminata il 17 novembre 2020, per un totale di 83 giorni.

La struttura zootecnica che ha ospitato le prove sperimentali è orientata a nord-est (Fig. 3.2) ed è dotata di un tetto a due falde in pannelli di cemento, senza cupolino. Internamente, la corsia di foraggiamento è centrale e permette il passaggio dei mezzi di foraggiamento. Le aree di stabulazione presentano pavimento pieno e liscio – non grigliato – senza pendenze e sono delimitate da cancelli in ferro a delimitare più box. All'interno dei recinti gli animali sono disposti in numero variabile, in funzione alla superficie stessa del box.

Le aperture perimetrali consentono la fuoriuscita degli animali nel parchetto esterno e la ventilazione naturale. Vi sono due ordini di aperture: uno da terra a circa 2 metri di altezza, il quale consente ai capi di accedere alla zona esterna, uno superiore, da circa 2.5 metri di altezza fino alla putrella, la quale sostiene la copertura.

La struttura è composta da un corpo centrale di dimensioni pari a 12 metri x 55,00m, e due aree esterne laterali di dimensioni rispettivamente di 4,5 metri x 55 metri e 4,5 metri * 50 metri.

Nell'intervallo di tempo in cui ha avuto luogo la prova, sono state compiute diverse visite volte a verificare il livello di pulizia dei soggetti e della lettiera, il rilevamento dell'ammoniaca, la verifica del corretto funzionamento dei datalogger e lo scarico dei dati da questi ultimi su dispositivo.

I soggetti che hanno preso parte alla seconda prova, sono femmine di razza Charolaise, seguite dal peso vivo iniziale di circa 280 Kg al peso vivo a fine prova di circa 400 Kg.

I capi, 126 scottone sono state suddivise nel modo seguente: 60 nel comparto la cui lettiera è LC e 66 nel comparto la cui lettiera è paglia. Tale asimmetria numerica è dovuta all'assegnamento di un box ad infermeria, dal lato stalla in cui è stato impiegato il legno-cemento in qualità di lettiera.

Distribuzione legno cemento e paglia nell'ambito della prova B

La distribuzione della lettiera nella stalla B è stata effettuata nelle stesse modalità descritte per la stalla A. Sono stati applicati, ad ogni periodo rispettivamente:

- 2560 kg di paglia sono stati immessi nella sezione est, completamente all'atto della pulizia. È stata aggiunta paglia all'occorrenza, al fine di pareggiare il quantitativo di legno cemento impiegato nell'altra corsia;
- 3040 Kg di legno-cemento sono stati immessi nella sezione ovest, interamente all'atto della pulizia.

Pulizia e cumulazione nell'ambito della prova B

Quest'ultima ha seguito le modalità indicate nella stalla A (Fig. 3.12). Le temperature sviluppate dai cumuli non sono state rilevate, in quanto sono state ottenute solo dal letame derivato dal primo ciclo nella stalla A.



Fig. 3.12 – fase di pulizia della stalla

3.2.5 Analisi della lettiera pre-post applicazione

Il Laboratorio LabCNX del Dipartimento MAPS dell'Università degli Studi di Padova si è occupato invece della caratterizzazione chimica delle lettiere sia vergini che esauste.

Sono state analizzate quindi le lettiere di legno-cemento e paglia (pre-utilizzo) e le lettiere di legno-cemento e paglia (post-utilizzo/esauste).

Sono stati rilevati parametri:

Fisici: ioni idrogeno (pH), sostanza secca (SS), ceneri (Ash), sostanza organica (OM) e salinità.

Chimici: Azoto (N) totale e ammoniacale (NH_4^+); Fosforo (P); Potassio (K); Calcio (Ca); Zolfo (S); Magnesio (Mg); Sodio (Na); Cloro (Cl); Ferro (Fe), Cadmio (Cd); Cromo totale (Cr totale); Mercurio (Hg); Nichel (Ni); Piombo (Pb); Rame (Cu); Zinco (Zn) e Selenio (Se)

3.3 Utilizzo agronomico delle lettiere esausta

Le attività di studio sono state svolte gruppo di ricerca di orticoltura e floricoltura (referente prof. Paolo Sambo) e hanno avuto luogo presso l'Azienda Agraria Sperimentale "Lucio Toniolo" dell'Università degli Studi di Padova, con sede presso il Campus Agripolis di Legnaro (PD).

Le prove hanno visto l'utilizzo del letame con legno-cemento e paglia in qualità di concime e ammendante, in un'indagine parallela volta a porre a confronto le due matrici. Per questo motivo sono state studiate due prove differenti:

3.3.1 Utilizzo agronomico in ambiente protetto

Prova in ambiente protetto che ha visto la coltivazione di bieta da coste (*Beta vulgaris*) in vaso in una serra attrezzata. È stato utilizzato a questo scopo uno schema sperimentale a blocchi randomizzati (Fig.3.13), caratterizzato da tre repliche, ognuna della quali prevedeva la coltivazione in vasi da 3 litri di capienza riempiti rispettivamente di:

- terreno agrario di origine alluvionale e dalla tessitura argilloso-limosa caratteristico locale,
- terreno agrario mescolato a percentuali di 5-10-15% di letame a paglia;
- terreno agrario mescolato a percentuali di 5-10-15% di letame con legno-cemento.

Le tre repliche prevedevano sette trattamenti:

1. TESTIMONE – T0 – come substrato di controllo, 100% terreno agrario di tessitura argillosa;
2. LC 5% come substrato composto da 5% letame LC e 95% terreno agrario;
3. LC 10% come substrato composto 10% letame LC e 90% terreno agrario;
4. LC 15% come substrato composto 15% letame LC e 85% terreno agrario;
5. LP 5% come substrato composto da 5% letame a paglia e 95% terreno agrario;
6. LP 10% come substrato composto 10% letame a paglia e 90% terreno agrario;
7. LP 15% come substrato composto da 15% letame a paglia e 85% terreno agrario.

paglia 15%		legno-cemento 15%		paglia 5%		legno-cemento 5%		legno-cemento 10%		legno-cemento 10%		paglia 15%	
vaso 91	vaso 93	vaso 51	vaso 53	vaso 71	vaso 73	vaso 16	vaso 18	vaso 36	vaso 38	vaso 31	vaso 33	vaso 101	vaso 103
vaso 92	vaso 94	vaso 52	vaso 54	vaso 72	vaso 74	vaso 17	vaso 19	vaso 37	vaso 39	vaso 32	vaso 34	vaso 102	vaso 104
	vaso 95		vaso 55		vaso 75		vaso 20		vaso 40		vaso 35		vaso 105
legno-cemento 5%		paglia 10%		testimone		paglia 10%		paglia 15%		paglia 10%		testimone	
vaso 26	vaso 28	vaso 76	vaso 78	vaso 6	vaso 8	vaso 81	vaso 83	vaso 96	vaso 98	vaso 86	vaso 88	vaso 11	vaso 13
vaso 27	vaso 29	vaso 77	vaso 79	vaso 7	vaso 9	vaso 82	vaso 84	vaso 97	vaso 99	vaso 87	vaso 89	vaso 12	vaso 14
	vaso 30		vaso 80		vaso 10		vaso 85		vaso 100		vaso 90		vaso 15
testimone		legno-cemento 10%		legno-cemento 15%		paglia 5%		legno-cemento 15%		paglia 5%		legno-cemento 5%	
vaso 1	vaso 3	vaso 41	vaso 43	vaso 56	vaso 58	vaso 66	vaso 68	vaso 46	vaso 48	vaso 61	vaso 63	vaso 21	vaso 23
vaso 2	vaso 4	vaso 42	vaso 44	vaso 57	vaso 59	vaso 67	vaso 69	vaso 47	vaso 49	vaso 62	vaso 64	vaso 22	vaso 24
	vaso 5		vaso 45		vaso 60		vaso 70		vaso 50		vaso 65		vaso 25

Fig. 3.13 – disposizione sperimentale a blocchi randomizzati attuata durante la prova

Nelle seguenti tabelle (Tab. 3.1 e Tab 3.2) vengono riportati i risultati delle analisi per la caratterizzazione chimica delle due matrici organiche in prova, facendo riferimento in particolare alle quantità presenti di macronutrienti (azoto, fosforo e potassio).

	Letame legno cemento			Letame paglia		
	N	P	K	N	P	K
% SS	0,63	0,31	1,23	1,42	0,64	3,11
% TQ	0,28	0,14	0,55	0,39	0,17	0,84

Tab. 3.1 – letame con legno cemento; Tab 3.2 – letame a paglia (%SS= % su sostanza secca; %TQ= % su tal quale)

Dal punto di vista qualitativo, le piante coltivate sono state valutate attraverso rilievi non distruttivi, atti a controllare lo sviluppo delle foglie in altezza e al loro numero per ciascuna pianta. Per avere

un'indicazione sull'utilizzo dei nutrienti durante le diverse fasi di sviluppo della coltura, è stata considerata la quantità di clorofilla presente nelle foglie della pianta, tramite il valore SPAD.

Sono stati registrati, durante la coltivazione, i quantitativi di acqua irrigua adoperati settimanalmente, al fine di valutare l'effettiva necessità dei substrati.

Per determinare il quantitativo di biomassa aerea prodotta, con una bilancia è stato pesato l'apparato epigeo delle piante e di questo ne è stata valutata la componente effettivamente commerciabile. I campioni sono stati successivamente essiccati in stufa ventilata a 65°C per più di 72 ore: l'operazione ha consentito la determinazione del contenuto di sostanza secca (SS) e umidità. Successivamente ne è stata osservata la composizione chimica, con particolare riferimento agli elementi nutritivi quali: azoto, potassio, sodio, ammonio, magnesio, calcio e i relativi composti di cloruri, fosfati e solfati.

3.3.2 Utilizzo agronomico in pieno campo

La prova in campo ha avuto luogo nel Campus di Agripolis dell'Università degli Studi di Padova, con sede a Legnaro (PD). È stata condotta su suolo di tipo fluvio-calcarico con tessitura argillosa, di giacitura pianeggiante, con sistemazione alla ferrarese. Le lavorazioni hanno avuto inizio a marzo 2021 con aratura di 40cm e successive erpicatura, fresatura e squadratura del terreno. Sono state predisposte 16 parcelle di 40m² ciascuna. Lo schema sperimentale adottato è a blocchi randomizzati, con quattro repliche. (Fig 3.14)

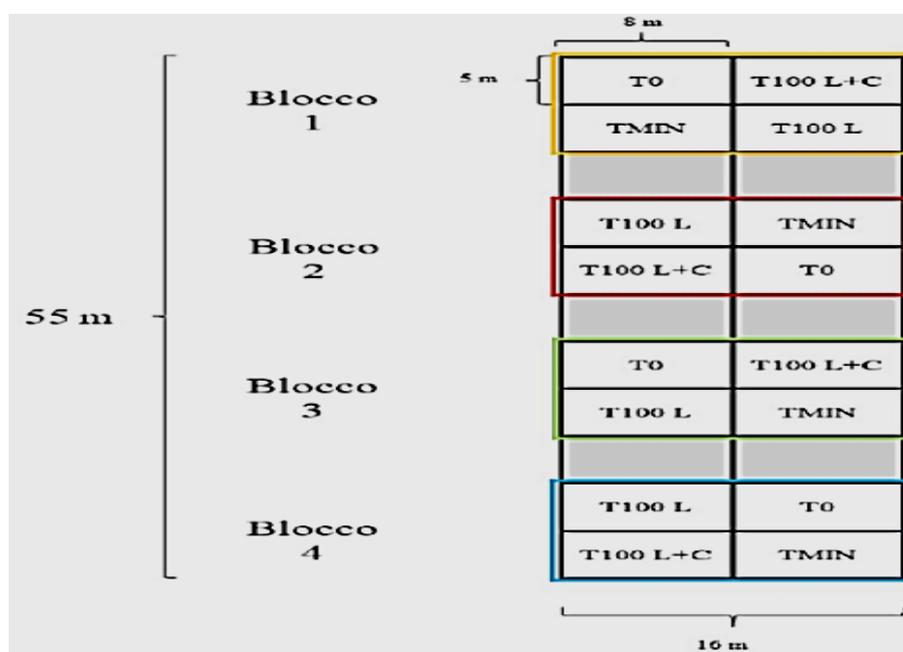


Fig. 3.14 – disposizione sperimentale a blocchi randomizzati attuata durante la prova

Per ciascun blocco sono stati considerati quattro trattamenti:

- tesi testimone assoluto, non concimato (T0);

- tesi in cui l'intero fabbisogno in N della coltura è stato apportato in forma minerale (TMIN);
- tesi in cui il fabbisogno in N è stato apportato tramite letame con paglia (T100L);
- tesi in cui il fabbisogno in N è stato apportato tramite letame con legnocemento (T100L+C).

Le colture scelte per la sperimentazione sono due diverse cultivar di cavolo cappuccio (*Brassica oleracea* L.) e due diverse cultivar di cavolfiore (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.):

- cavolo cappuccio a punta "Caramba" con ciclo colturale di 60-70 gg;
- cavolo cappuccio tondo rosso "Alfaro" con ciclo colturale di 75-80 gg;
- cavolfiore giallo "Flame Star" con ciclo colturale di 90-95 gg;
- cavolfiore viola "Graffiti" con ciclo colturale di 85-90 gg.

Prima di effettuare la distribuzione in campo, è stata effettuata una caratterizzazione chimica delle matrici i cui risultati sono riportati in tabella. Il contenuto di sostanza secca si è attestato al 27,2% per quanto riguarda la lettiera convenzionale e al 44,5% per quanto riguarda la matrice legnocemento.

I fabbisogni nutrizionali delle colture sopracitate sono 100 kg di N a ettaro, 70 kg di P₂O₅ (fosforo assimilabile) a ettaro e 150 kg di K₂O (potassio scambiabile) a ettaro; perciò, nel caso in cui le matrici organiche non siano state in grado di soddisfare completamente il fabbisogno nutrizionale di azoto, fosforo e potassio, sono stati integrati tramite i fertilizzanti minerali al fine di operare con le medesime quantità di macronutrienti, come specificato nelle tabelle seguenti (Tab 3.3 e 3.4).

Letame legno cemento				Letame paglia			
	N	P	K		N	P	K
% SS	0,68	0,33	1,25	% SS	1,48	0,60	3,11
% TQ	0,30	0,15	0,50	% TQ	0,44	0,16	0,88

Tab. 3.3 sx letame con legno cemento; Tab 3.4 dx letame a paglia (%SS= % su sostanza secca; %TQ= % su tal quale)

I fertilizzanti minerali e il compost sono stati distribuiti (Fig. 3.15 e 3.16) ed interrati il giorno prima del trapianto.



Fig. 3.15 (a sinistra) – lavorazione del terreno; Fig. 3.16 (a destra) – distribuzione degli ammendanti

Capitolo 4

RISULTATI

4.1 Caratterizzazione fisico-dimensionale del sottoprodotto

4.1.1 Contenuto idrico

Il contenuto idrico dei due materiali da lettiera oggetto di analisi, ottenuto tramite essiccazione in stufa, ha fornito i risultati indicati in tabella (Tab. 4.1). Il materiale a base di legno-cemento è stato campionato due volte durante la sperimentazione al fine di individuare eventuali variazioni delle proprietà del materiale. La paglia è stata prelevata una volta sola, per i motivi indicati nel capitolo precedente.

Come si evince dalla tabella, l'umidità media relativa alla lettiera legno-cemento è mediamente del 25%, mentre per la paglia è pari a 11,8%. Il contenuto di acqua all'interno del legno cemento risulta maggiore del 112% rispetto alla paglia. Tale differenza è probabilmente dovuta alle metodiche di stoccaggio del prodotto. La paglia, dopo essere stata imballata, viene coperta con film plastici; il legno cemento invece viene accumulato in cumuli aperti ed esposti agli agenti atmosferici.

Campione	UdM	Valore misurato
Legno Cemento (1)	% ss	28,6
Legno cemento (2)	% ss	21,4
Paglia	% ss	11,8

Tabella 4.1 - Analisi del contenuto idrico per i due materiali di lettiera oggetto di prova

4.1.2 Vagliatura – analisi dimensionale

L'analisi della vagliatura è stata ripetuta due volte per entrambi i campionamenti di legno cemento mentre per quanto riguarda la paglia, tale operazione è stata svolta in tre ripetizioni.

Come già anticipato nel capitolo di Materiali e Metodi, la prima colonna è relativa al diametro dei fori dei setacci. Successivamente, nella seconda e quarta colonna, sono indicate le masse individuate al termine della setacciatura, ovvero la componente di materia che è risultata bloccata dal setaccio in questione. Alla terza e quinta colonna sono indicate le composizioni percentuali rispetto al totale della massa immessa nel setacciatore. Nell'ultima colonna, a destra, è indicata la media delle due ripetizioni.

Tale descrizione è relativa sia al primo che al secondo campionamento di legno cemento, nelle tabelle seguenti (Tab. 4.2 e Tab. 4.3).

granulometria 1 campionamento	I replica		II replica		% media
	mm	g	%	g	
< 0,25	141	13,66	207	15,05	14,36
0,25 - 0,50	218	21,12	298	21,67	21,40
0,50 - 1,00	206	19,96	293	21,31	20,64
1,00 - 2,00	239	23,16	296	21,53	22,34
2,00 - 3,15	61	5,91	85	6,18	6,05
3,15 - 8,00	138	13,37	155	11,27	12,32
> 8,00	29	2,81	41	2,98	2,90
tot	1032		1375		

Tabella 4.2 - Analisi dimensionale della lettiera di legno cemento di primo campionamento

granulometria 2 campionamento	I replica		II replica		% media
	mm	g	%	g	
< 0,25	236	27,10	371	28,13	27,61
0,25 - 0,50	133	15,27	197	14,94	15,10
0,50 - 1,00	249	28,59	384	29,11	28,85
1,00 - 2,00	69	7,92	104	7,88	7,90
2,00 - 3,15	139	15,96	211	16,00	15,98
3,15 - 8,00	31	3,56	42	3,18	3,37
> 8,00	14	1,61	10	0,76	1,18
tot	871		1319		

Tabella 4.3 - Analisi dimensionale della lettiera di legno cemento di secondo campionamento

Come si può notare nella prima tabella (Tab. 4.3), la componente preponderante del legno cemento (di primo campionamento) si concentra nei primi tre setacci. Il materiale si presenta infatti polveroso e finemente sminuzzato. Tale andamento non si è verificato nel legno cemento di secondo campionamento, che, come si osserva in tabella (Tab. 4.3) presenta le percentuali maggiori tra il secondo e quarto setaccio, raggiungendo complessivamente il 64,38%.

Tali test hanno permesso di dimostrare una sostanziale differenza fisico-compositiva tra i due campionamenti. Tale differenza è individuabile nella composizione iniziale dei pannelli che sono stati trinciati e dalle tempistiche di macinazione. Essendo un materiale derivante dalla macinazione di prodotto di scarto, la composizione della massa può variare in base alle tipologie di prodotto che l'azienda ha realizzato (es. blocchi, pannelli a fibra più o meno lunga, etc.).

Dal grafico seguente (Fig. 4.1) è possibile notare una certa variabilità nella percentuale di composizione riscontrata a fine setacciatura.

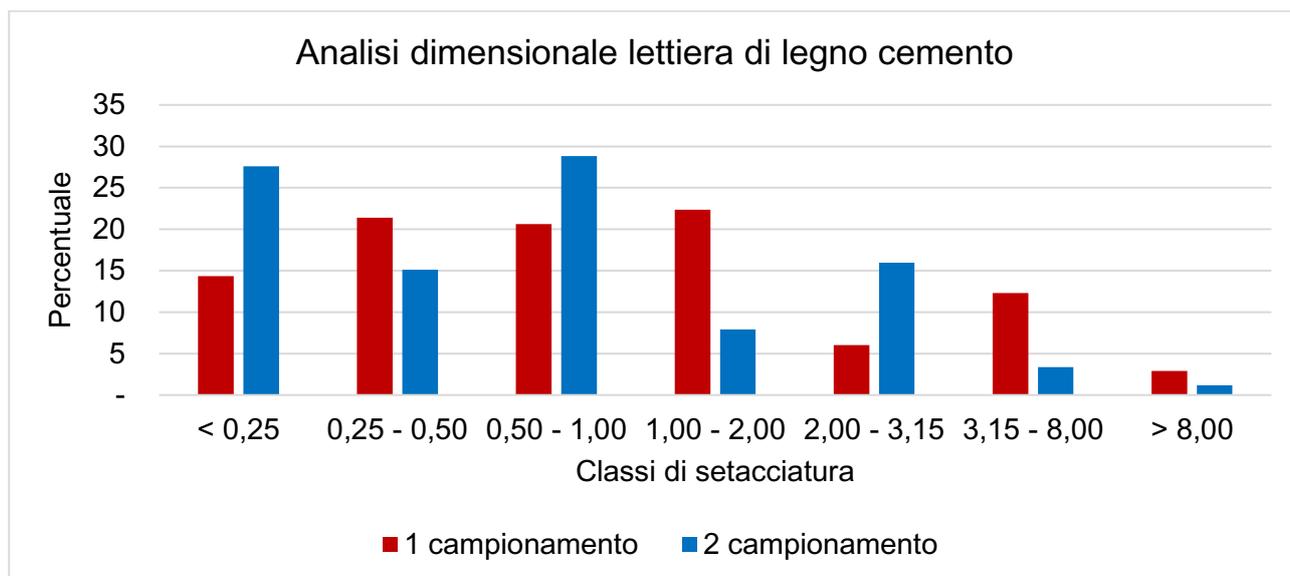


Figura 4.1 – Grafico relativo la granulometria di legno cemento di primo e secondo campionamento

Per quanto riguarda la paglia, come si può osservare dalla tabella 4.3 la componente preponderante è data da particolato di grandi dimensioni. Nonostante la paglia non presenti un diametro del culmo maggiore di 8mm, la sua forma allungata non ha permesso l'attraversamento della maglia del vaglio e il passaggio agli strati sottostanti.

La paglia si compone quindi essenzialmente di fibre con dimensioni maggiori di 8 mm, (81,04%, ovvero il valore medio delle tre ripetizioni eseguite). La percentuale di particelle inferiori a 8mm, quindi da 0,25mm a 8mm, è risultata mediamente di 18,96%.

granulometria paglia mm	I replica		II replica		III replica		% media
	g	%	g	%	g	%	
< 0,25	1	1,22	1	2,63	0	-	1,28
0,25 - 0,50	1	1,22	0	-	2	4,65	1,96
0,50 - 1,00	1	1,22	1	2,63	2	4,65	2,83
1,00 - 2,00	1	1,22	1	2,63	2	4,65	2,83
2,00 - 3,15	1	1,22	1	2,63	2	4,65	2,83
3,15 - 8,00	2	2,44	2	5,26	6	13,95	7,22
> 8,00	75	91,46	32	84,21	29	67,44	81,04
tot	82		38		43		

Tabella 4.3 Analisi dimensionale della lettiera di paglia

Nel grafico sottostante, riguardante la media dei valori raccolti durante le tre ripetizioni, sottolinea la prevalenza di particelle >8mm. (Fig. 4.2). La frazione più minuta della paglia può essere

composta da terra e dalle componenti del cereale (es. pula). Tali valori sono risultati comunque non incidenti rispetto alla componente principale.

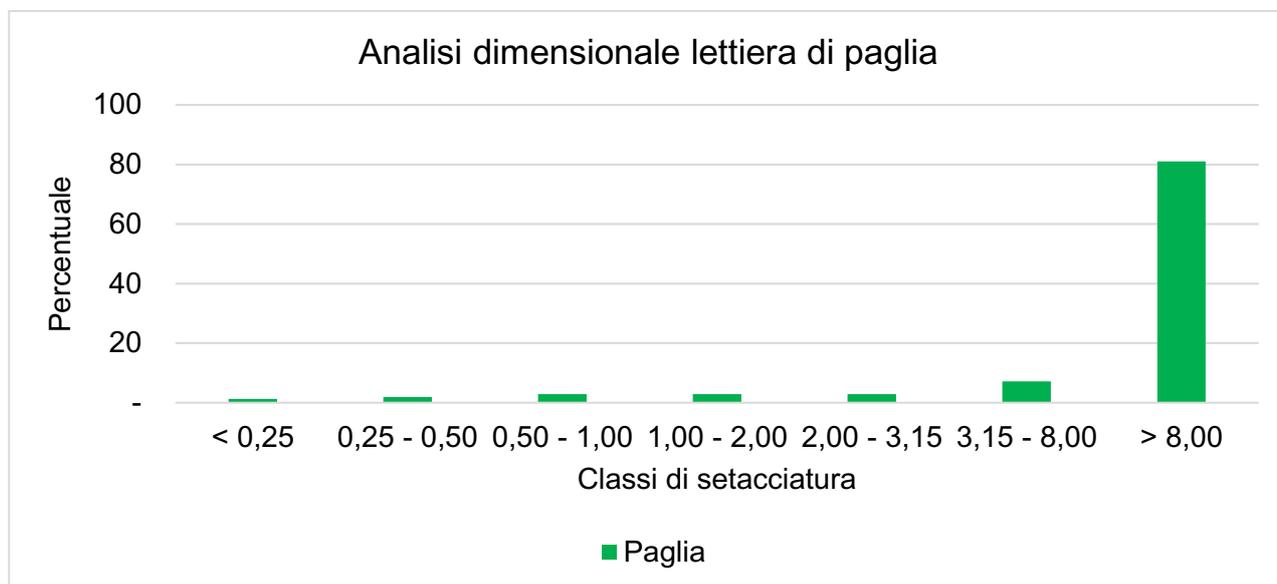


Figura 4.2 – Grafico relativo l’analisi dimensionale della lettiera a paglia

4.1.3 Sofficità

La capacità elastica di deformazione dei materiali da lettiera è un aspetto importante da considerare al fine di garantire un confort adeguato all’animale, in particolare a riposo. I risultati relativi ai due materiali da lettiera oggetto di test sono indicati nella tabella seguente. (Tab. 4.4)

I risultati derivanti dalla prova di sofficità del legno cemento non hanno evidenziato per tale materiale una spiccata capacità di deformazione (2,3%). La paglia, invece, ha confermato un’ottima elasticità e il risultato di 21,4% ne è una chiara indicazione.

I risultati ottenuti devono essere letti in un’ottica di deformazione di uno strato di prodotto di 100 cm sottoposto ad azione di compressione. L’altezza finale di tale strato è individuabile rispettivamente in 102,30 cm e 102,40 cm per la lettiera a legno cemento e di 121,40 cm per la paglia.

Tali valori permettono di affermare che il legno cemento tritato presenta un livello inferiore di confort per l’animale (in condizione di riposo), ma garantisce una eccellente capacità di sostegno degli animali in deambulazione.

Tabella 4.4 – Risultati relativi ai test di sofficità dei campioni di legno cemento e paglia

Campione	UdM	Valore misurato
Legno cemento 1	%	2,3
Legno cemento 2	%	2,4
Paglia	%	21,4

4.1.4 Capacità di assorbimento idrico

I due materiali di lettiera sono stati sottoposti a tale prova in uno stato “tal quale”, ovvero senza alcuna fase preparatoria (es. essiccazione), al fine di rilevare l’effettiva capacità di assorbimento idrico che si può ottenere in ambiente di allevamento.

Come si può osservare dalla tabella 4.5, la paglia ha dimostrato la performance migliore circa la capacità di trattenere acqua, arrivando a trattenere il 360% del proprio peso in acqua. Alle medesime condizioni di laboratorio, legno cemento ha conseguito risultati di 56,3% e 52,4% rispettivamente per primo e secondo prelievo.

Al fine di mettere a punto una metodica che assomigliasse maggiormente alle condizioni riscontrabili in ambito zootecnico, sono state effettuate altri test. I risultati finali ottenuti per il legno cemento di primo e secondo prelievo, indicati alla voce “2 prova” sono stati rispettivamente 107,4% e 73,88%. Tale metodologia non si è resa ripetibile su paglia per impedimenti dettati dalla strumentazione utilizzata durante prova.

	Legno cemento (1)		Legno cemento (2)		Paglia	
	UdM	Valore	UdM	Valore	UdM	Valore
1 prova	%	56,3	%	52,4	%	360
2 prova	%	107,4	%	73,88		

Tabella 4.5 – Risultati dei test di assorbimento idrico per legno cemento e paglia

4.1.5 Capacità di assorbimento ammoniacale

La capacità di assorbimento ammoniacale è una caratteristica importante nella valutazione del materiale da lettiera. In ambito zootecnico, essendo l’ammoniaca un gas pesante, desta le maggiori problematiche con animali di piccola taglia, in particolare avicunicoli, in quanto il deposito si ha grossomodo a livello del becco e del naso, ovvero nei primi centimetri dal pavimento.

Per quanto riguarda i bovini, le condizioni di allevamento si presentano notevolmente differenti: le stabulazioni sono individuate in edifici aperti, con notevole ricambio di aria, sia naturale che artificiale a mezzo di ventilatori a pale vincolati alla copertura. Il nasello si trova a circa 1,50 m da terra, per ridursi a circa 90 cm con animale coricato, a riposo.

I risultati ottenuti circa la capacità di trattenimento di azoto ammoniacale sono indicati nella seguente tabella. (Tab. 4.6). Il test prevedeva il confinamento di quantitativi di materiale da lettiera in recipienti chiusi, contenenti quantitativi di ammoniaca noti, indicati nella prima colonna della tabella (Tab. X). Come si può osservare, il materiale a base di legno cemento ha comportato un aumento di ammoniaca nel recipiente. Tale aumento si è osservato sia per il legno cemento di primo campionamento che di secondo campionamento. La paglia invece, se sottoposta allo stesso trattamento, è risultata in grado di assorbire un maggiore quantitativo di ammoniaca, trattenendo l’88,97% dell’ammoniaca che è stata utilizzata per effettuare la prova.

Tale limite del legno cemento è da attribuire, con probabilità alla componente cementizia della lettiera. I composti di cemento e calce presentano pH elevati e favoriscono lo strippaggio dell'ammoniaca. (Sommariva, 29/2011).

Campione	concentrazione (ppm)		
	iniziale	finale	variazione %
legno cemento 1	62	96	54,84
legno cemento 2	62	103	66,13
paglia	290	32	-88,97

Tabella 4.6 – Risultati dei test di capacità di trattenimento dell'azoto ammoniacale

4.2 Confronto tra legno cemento e paglia in una azienda zootecnica di bovini da carne

4.2.1 Livello di pulizia degli animali

Il livello di pulizia degli animali è stato valutato secondo la scala di valutazione presentata nel capitolo precedente 3.2.2. Tale valutazione è stata svolta otto volte nella Prova A e tre volte nella Prova B. In tabella sono indicate le date relative alle visite dell'allevamento. (Tab. 4.7)

Visite Aziendali								
Prova A	26-giu	03-lug	10-lug	17-lug	29-lug	07-ago	17-ago	26-ago
Prova B	10-set	07-ott	30-ott					

Tabella 4.7 – Calendario delle visite all'allevamento, divisione per stalla

Prova A

Nell'arco dei 2 mesi in cui ha avuto luogo la prova nella stalla A (dal 26 giugno 2020 al 26 agosto 2020), sono state effettuate 8 visite all'allevamento, valutando il livello di pulizia di 50 animali, 25 nella corsia con legno cemento e 25 nella corsia a paglia. È stata calcolata infine la deviazione standard del livello di pulizia tra i vari box che compongono le due corsie. I risultati sono riassunti nelle seguenti tabelle. (Tab. 4.8 e Tab. 4.9)

LEGNO CEMENTO - rilievi livello di pulizia degli animali									
data	26-giu	03-lug	10-lug	17-lug	29-lug	07-ago	17-ago	26-ago	
animali controllati	25	25	25	25	25	25	25	25 tot.	200
punteggio totale	104	98	112	110	121	108	79	100 tot.	832
punteggio medio	4,14	3,92	4,47	4,41	4,84	4,32	3,18	4,00 media	4,28
punteggio MIN rilevato	3	3	2	2	1	2	1	3	
punteggio MAX rilevato	5	5	5	5	5	5	5	5	
deviazione st. tra i box	0,66	0,40	0,43	0,62	0,48	0,49	2,10	0,13 media	0,66

Tabella 4.8 – Analisi del livello di pulizia degli animali su legno cemento, prova A

PAGLIA - rilievi livello di pulizia degli animali

data	26-giu	03-lug	10-lug	17-lug	29-lug	07-ago	17-ago	26-ago	
animali controllati	25	25	25	25	25	25	25	25 tot.	200
punteggio totale	66	61	86	91	76	105	44	124 tot.	653
punteggio medio	2,65	2,45	3,42	3,65	3,03	4,19	1,76	4,95 media	3,39
punteggio MIN rilevato	1	1	2	1	1	2	1	4	
punteggio MAX rilevato	5	5	5	5	5	5	5	5	
deviazione st. tra i box	0,82	1,09	0,52	0,48	0,95	0,50	0,67	0,08 media	0,64

Tabella 4.9 – Analisi del livello di pulizia degli animali su paglia, prova A

Come si può notare dalle tabelle 4.8 e 4.9, il livello di pulizia è risultato superiore per gli animali stabulati su lettiera di legno cemento (4,28/5) rispetto a quelli su paglia (3,39/5).

Con riferimento alla deviazione standard, il punteggio dato agli animali ad ogni visita è omogeneo tra i box considerati. La media delle deviazioni standard dei livelli di pulizia degli animali stabulati nelle due lettiere è risultata di 0,66 per legno cemento e 0,64 per paglia. Questi due risultati consentono di affermare che la variabilità tra i box in cui è stato utilizzato legno cemento come lettiera e tra i box a paglia, la situazione è paragonabile.

Per quanto riguarda la paglia, i box in cui si è usato tale materiale di lettiera sono stati integrati all'occorrenza, al fine di eguagliare il quantitativo di materiale impiegato nelle due corsie.

Durante le prove, sono state effettuate tre sostituzioni della lettiera, rispettivamente nei giorni 03 luglio, 01 agosto e 19 agosto. Gli eventi sono indicati rispettivamente nel grafico seguente (Fig. 4.3) con le sigle 1P, 2P e 3P.

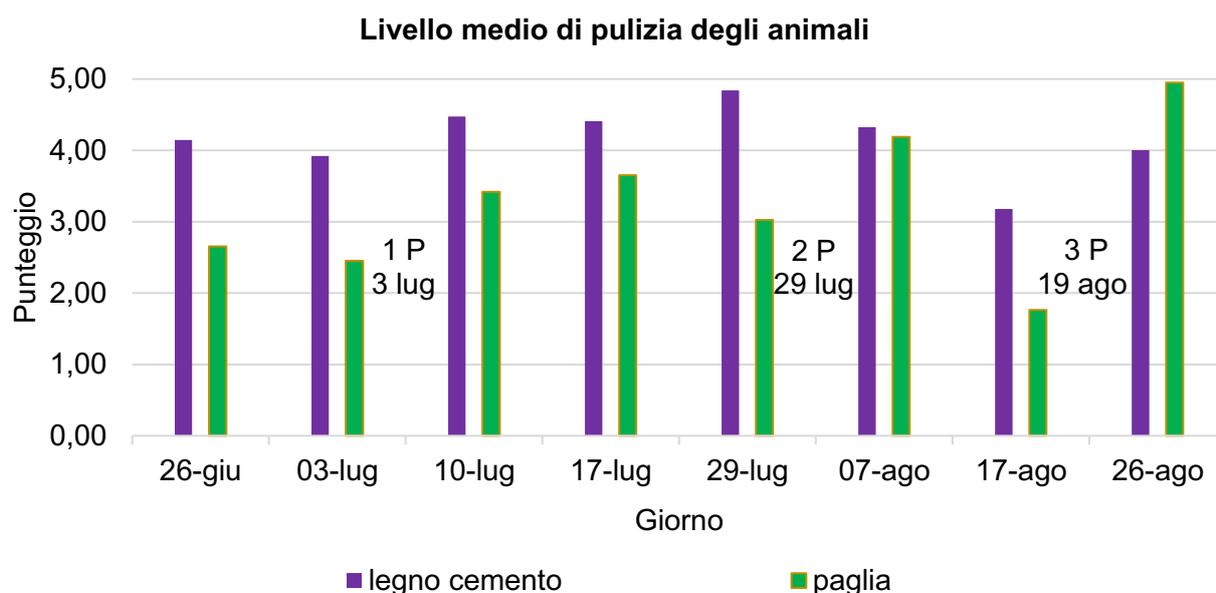


Figura 4.3 – Grafico relativo al livello medio di pulizia osservato durante le visite, con indicazione circa gli eventi di pulizia

Con la lettiera a paglia sono stati registrati i punteggi più elevati (4,95/5) e più bassi (1,96/5). I due risultati sono stati ottenuti a cavallo della 3 pulizia, effettuata il 19 agosto, a 21 giorni dalla precedente. Queste considerazioni permettono di affermare che la paglia è un ottimo materiale da lettiera ma è allo stesso tempo particolarmente degradabile e non permette un posticipo delle azioni di pulizia. Il suo deterioramento deve essere valutato con costanza e la rimozione, o addizione di ulteriore materiale, deve essere tempestiva.

Analisi visiva della lettiera

L'analisi visiva della lettiera è stata fondamentale nella scelta del momento opportuno di sostituzione della lettiera. Come si può notare, in particolare negli eventi 03 luglio e 19 agosto, il livello di pulizia degli animali tocca i minimi. Al seguito di questi rilievi è stata effettuata la pulizia. Nel grafico seguente (Fig. 4.8), ai segmenti a tratto continuo in viola (per legno cemento) e verde (per paglia), relativi ai punteggi evento per evento, sono state aggiunte alcune proiezioni (in tratteggio) relative al possibile livello di igiene degli animali in post pulizia della stalla.

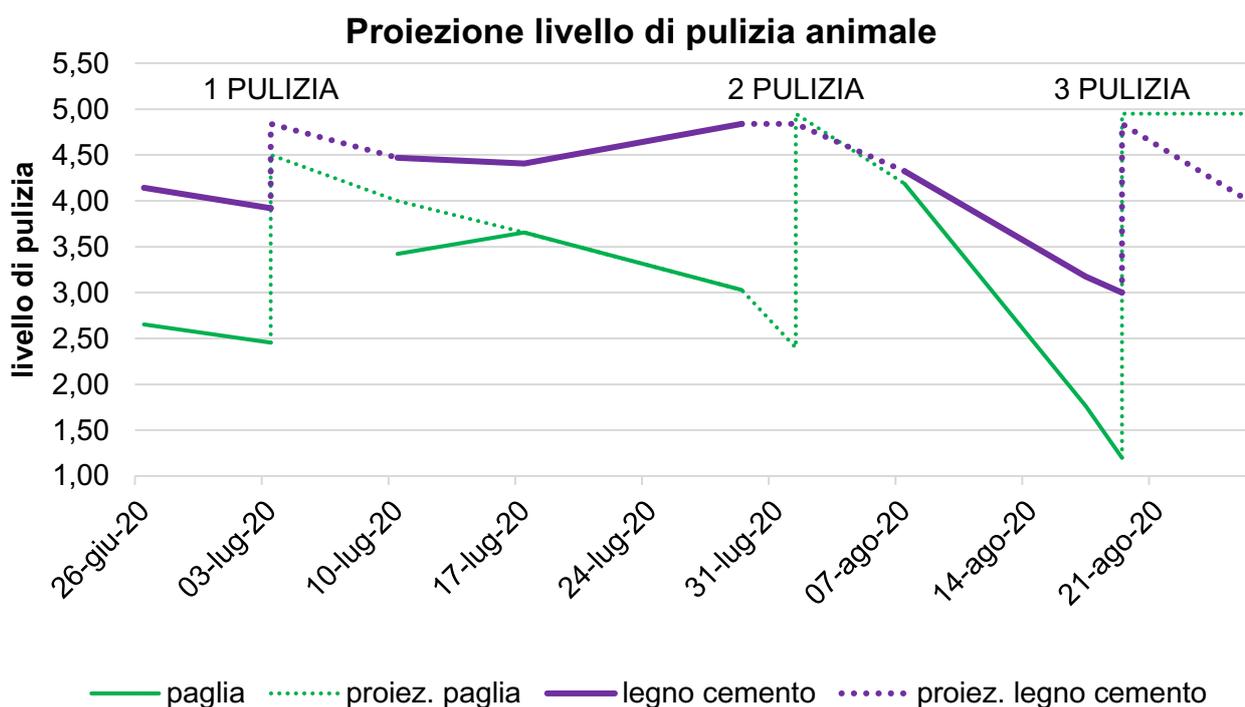


Figura 4.4 – Analisi del livello di pulizia dei soggetti e proiezione durante la prova A

Prova B

Nella seconda parte della prova in allevamento, nella stalla B (scottone Charolaise), sono state effettuate 3 rilevazioni del livello di pulizia degli animali. Nel periodo intercorso tra l'inizio e la fine della prova sono state effettuate due pulizie nei giorni 21 settembre e 15 ottobre. Come per la stalla

A, sono state effettuate alcune addizioni di paglia, al fine di eguagliare i quantitativi di materiale immessi nelle due corsie.

Nella tabella seguente si riassumono i risultati relativi alle visite di controllo. (Tab. 4.10 e Fig. 4.5)

livello di pulizia degli animali						
data	10-set		07-ott		30-ott	
	legno cem.	paglia	legno cem.	paglia	legno cem.	paglia
animale controllati	30	30	30	30	30	30
punteggio totale	112	118	88	73	145	83
punteggio medio	3,73	3,93	2,93	2,42	4,84	2,76
punteggio MIN rilevato	1	1	1	1	3	1
punteggio MAX rilevato	5	5	5	5	5	5
deviazione st. tra box	0,99	0,72	1,00	1,01	0,18	0,78

Tabella 4.10 - Analisi del livello di pulizia degli animali su legno cemento e paglia, prova B

Le medie delle deviazioni standard tra i box a legno cemento e a paglia sono risultate rispettivamente di 0,72 e 0,84.

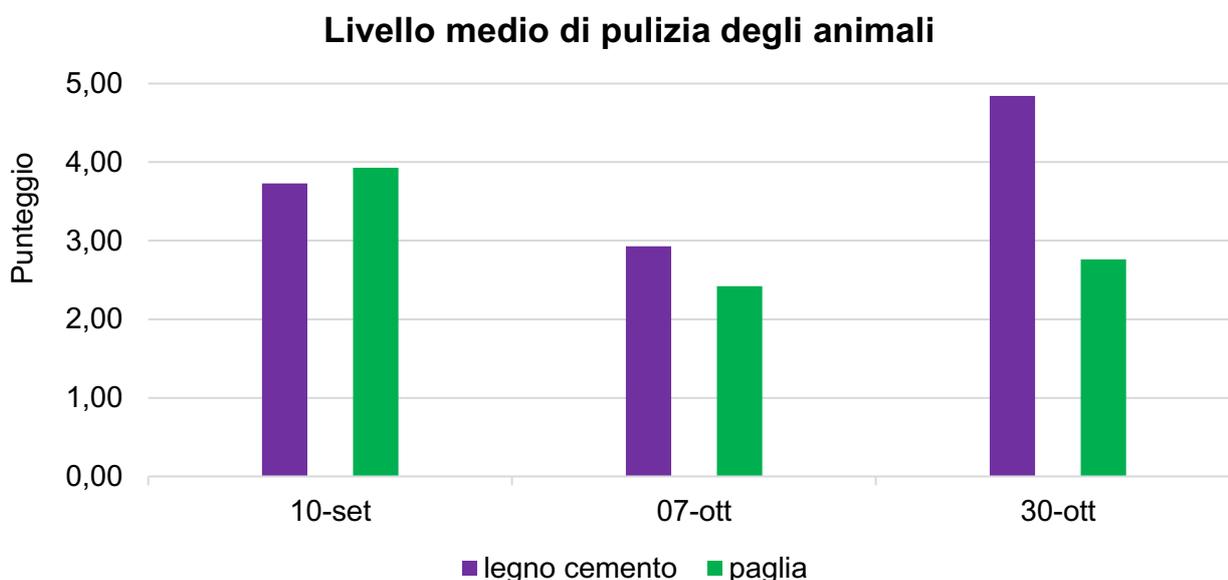


Figura 4.5 - Grafico relativo al livello medio di pulizia della prova B

4.2.2 Rilevamento ammoniacale

Prova A

L'azoto ammoniacale, rilevato a 25 cm dal piano di calpestio, ha presentato valori più elevati per la corsia di stabulazione a paglia rispetto alla corsia di stabulazione con legno cemento. (Tab. 4.11)

LEGNO CEMENTO - rilievi ammoniaci

data	26-giu	03-lug	10-lug	17-lug	29-lug	07-ago	17-ago	26-ago		
legno cemento	0,83	1,00	2,50	0,43	0,08	0,13	0,40	0,77	media	0,77
paglia	1,11	3,00	1,67	1,00	0,25	0,13	0,60	0,23	media	1,00

Tabella 4.11 – Livelli medi di ammoniaca rilevati durante la prova A

Nella seguente rappresentazione (Fig. 4.6), è possibile osservare la riproduzione grafica dei dati sopradescritti.

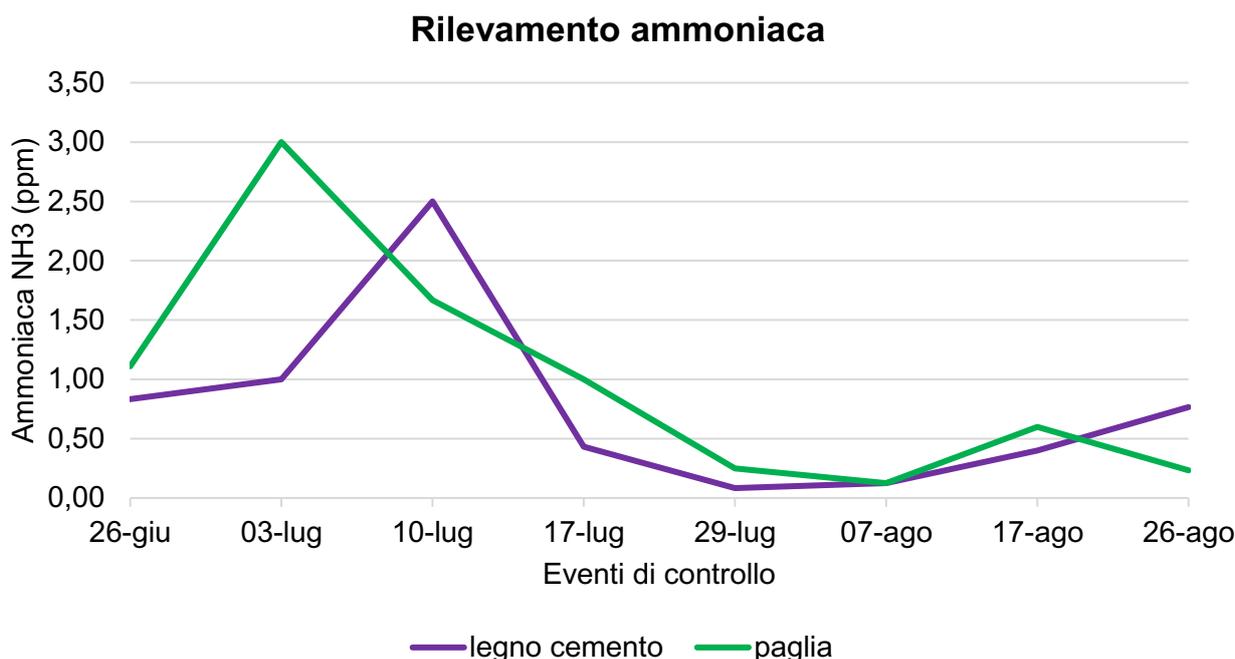


Figura 4.6 – Rappresentazione grafica dei rilievi di ammoniaca della prova A

Prova B

L'azoto ammoniacale, rilevato a 25 cm dal piano di calpestio, in questa seconda parte della prova, ha dato valori più bassi per la corsia a paglia rispetto alla corsia con legno cemento. (Tab. 4.12)

data	10-set		07-ott		30-ott	
	legno cem.	paglia	legno cem.	paglia	legno cem.	paglia
media	0,40	0,40	2,00	2,00	9,00	6,00

Tabella 4.12 - Livelli medi di ammoniaca rilevati durante la prova B

Nella seguente immagine (Fig. 4.7), è possibile osservare la rappresentazione grafica dei dati sopradescritti. Come si può vedere, i valori di ammoniaca relativi alla lettiera con legno cemento sono risultati più elevati durante tutta la prova. L'aumento finale della concentrazione di

ammoniacca, che ha coinvolto entrambe le lettiere, è giustificato dalla scelta dell'allevatore, con l'arrivo della stagione fredda, di limitare le perdite di calore dalla stalla.

Questa decisione ha comportato la riduzione dello spostamento naturale delle masse d'aria e la conseguente permanenza dell'ammoniacca all'interno dell'edificio.

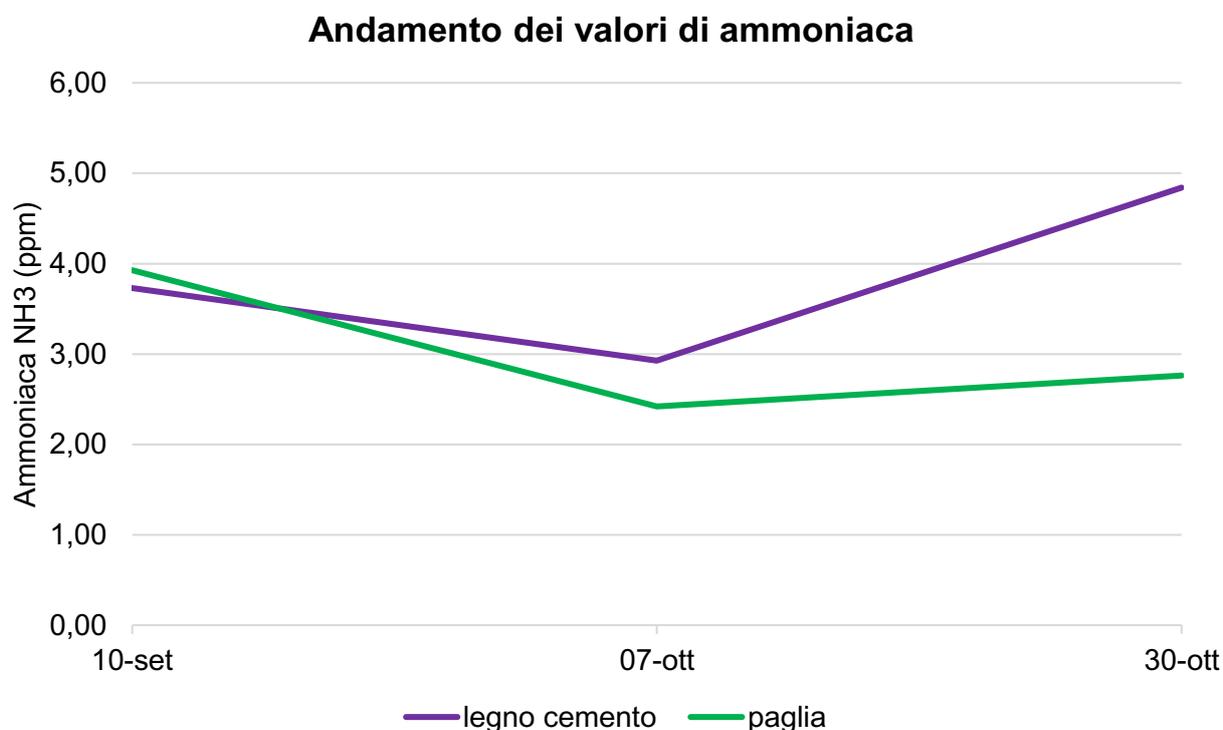


Figura 4.7 - Rappresentazione grafica dei rilievi di ammoniacca della prova B

4.2.3 Temperatura dei cumuli di maturazione della lettiera esausta

La lettiera esausta, sia a base di paglia che di legno cemento, è stata sottoposta a maturazione in cumuli. Si tratta di una fase necessaria che permette la sanificazione del prodotto, mediante il calore che viene originato dal cumulo stesso.

Come già accennato nel capitolo precedente, sono state cumulate le lettiere derivanti dal primo processo di pulizia della stalla. Il periodo di controllo dei cumuli ha avuto una durata di 112 giorni, più precisamente dal 10 luglio al 29 ottobre.

In tabella vengono riassunti alcuni parametri relativi alle temperature del cumulo di letame con legno cemento, del cumulo di letame con paglia e la temperatura ambientale rilevata in prossimità del cumulo. (Tab. 4.13)

	legno cemento	paglia	ambiente
t. media °C	35,49	32,34	21,96
t. minima (°C)	30,37	24,23	11,21
t. massima (°C)	39,62	36,97	32,78
deviazione standard	2,68	3,31	5,64

Tabella 4.13 – Temperature medie, minime, massime e deviazione standard rilevate

Nel grafico sottostante sono raffigurati gli andamenti medi giornalieri delle temperature rilevate all'interno dei due cumuli e la temperatura ambientale. (Fig. 4.8) Si può osservare come nei primi due mesi di maturazione dei letami, le temperature riscontrate nei due cumuli sono state simili. A partire dal giorno 10 settembre, le misurazioni effettuate su letame con legno cemento hanno dimostrato una differenza di 5°C rispetto a quanto rilevato su letame a paglia.

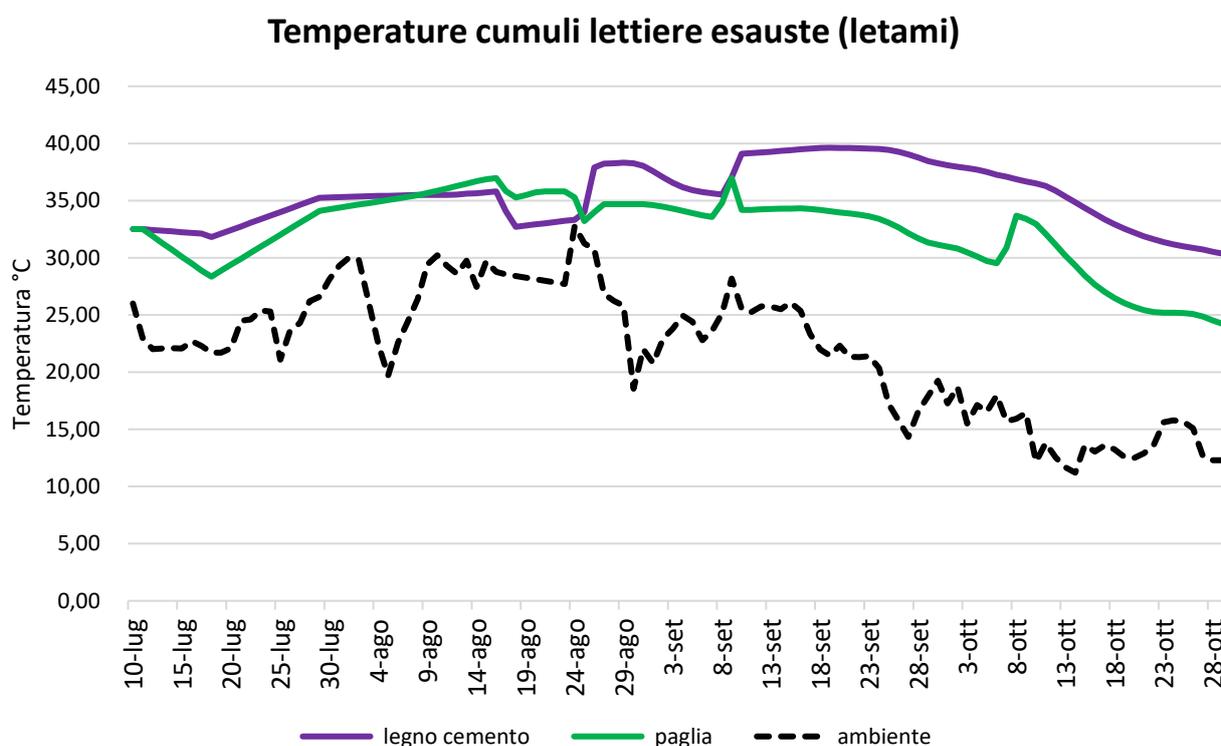


Figura 4.8 – Grafico sugli andamenti medi giornalieri delle temperature interne ai cumuli e temperatura ambientale

Il rilievo delle temperature è stato effettuato ogni 20 minuti con l'utilizzo di datalogger. Nella seguente tabella (Tab. 4.14) sono stati riassunti i valori giornalieri rilevati durante la prova.

data	sonda cumuli			sonda			sonda cumuli			sonda			sonda cumuli			sonda		
	legno cemento	paglia ambiente	data	legno cemento	paglia ambiente	data	legno cemento	paglia ambiente	data	legno cemento	paglia ambiente	data	legno cemento	paglia ambiente	data	legno cemento	paglia ambiente	data
10-lug	32,50	32,50	26,0	7-ago	35,47	35,33	24,4	4-set	36,18	34,10	25,0	2-ott	37,96	30,80	18,7			
11-lug	32,50	32,50	23,0	8-ago	35,50	35,47	26,4	5-set	35,93	33,90	24,4	3-ott	37,84	30,47	15,5			
12-lug	32,44	31,90	22,0	9-ago	35,50	35,66	29,4	6-set	35,75	33,72	22,8	4-ott	37,69	30,10	17,1			
13-lug	32,37	31,29	22,1	10-ago	35,50	35,86	30,2	7-set	35,64	33,58	23,6	5-ott	37,50	29,72	16,5			
14-lug	32,31	30,69	22,1	11-ago	35,50	36,06	29,3	8-set	35,54	34,81	25,1	6-ott	37,25	29,51	18,0			
15-lug	32,24	30,09	22,1	12-ago	35,52	36,28	28,6	9-set	37,04	36,97	28,2	7-ott	37,08	30,85	15,7			
16-lug	32,18	29,48	22,7	13-ago	35,60	36,48	29,8	10-set	39,10	34,18	25,5	8-ott	36,87	33,68	15,9			
17-lug	32,11	28,88	22,3	14-ago	35,64	36,70	27,5	11-set	39,15	34,19	25,3	9-ott	36,68	33,42	16,4			
18-lug	31,80	28,36	21,7	15-ago	35,72	36,86	29,7	12-set	39,21	34,23	25,8	10-ott	36,51	32,96	12,2			
19-lug	32,11	28,88	21,7	16-ago	35,80	36,97	28,8	13-set	39,25	34,27	25,7	11-ott	36,28	32,09	13,8			
20-lug	32,43	29,40	22,1	17-ago	34,07	35,84	28,5	14-set	39,34	34,30	25,5	12-ott	35,86	31,13	12,6			
21-lug	32,74	29,92	24,5	18-ago	32,71	35,28	28,4	15-set	39,41	34,30	26,1	13-ott	35,36	30,18	11,7			
22-lug	33,05	30,44	24,6	19-ago	32,82	35,48	28,3	16-set	39,48	34,32	25,4	14-ott	34,86	29,33	11,2			
23-lug	33,37	30,97	25,4	20-ago	32,92	35,71	28,1	17-set	39,55	34,28	23,3	15-ott	34,35	28,45	13,6			
24-lug	33,68	31,49	25,3	21-ago	33,02	35,80	28,0	18-set	39,61	34,20	22,0	16-ott	33,84	27,65	13,0			
25-lug	34,00	32,01	21,1	22-ago	33,12	35,80	27,8	19-set	39,62	34,07	21,4	17-ott	33,36	27,00	13,6			
26-lug	34,31	32,53	23,6	23-ago	33,22	35,80	27,7	20-set	39,60	33,96	22,3	18-ott	32,93	26,48	13,2			
27-lug	34,62	33,06	24,3	24-ago	33,33	35,29	32,8	21-set	39,60	33,87	21,3	19-ott	32,54	26,03	12,6			
28-lug	34,94	33,58	26,2	25-ago	34,00	33,20	31,2	22-set	39,58	33,76	21,3	20-ott	32,19	25,68	12,5			
29-lug	35,25	34,10	26,6	26-ago	37,91	33,99	30,7	23-set	39,55	33,63	21,4	21-ott	31,88	25,42	12,9			
30-lug	35,27	34,24	28,1	27-ago	38,24	34,69	26,8	24-set	39,51	33,41	20,4	22-ott	31,61	25,25	13,6			
31-lug	35,30	34,37	29,3	28-ago	38,26	34,70	26,2	25-set	39,42	33,08	17,2	23-ott	31,37	25,20	15,6			
1-ago	35,32	34,51	30,0	29-ago	38,30	34,70	25,8	26-set	39,27	32,65	15,8	24-ott	31,17	25,20	15,8			
2-ago	35,35	34,65	29,8	30-ago	38,25	34,70	18,5	27-set	39,03	32,16	14,3	25-ott	31,01	25,16	15,7			
3-ago	35,37	34,78	26,2	31-ago	38,03	34,69	22,0	28-set	38,75	31,70	16,6	26-ott	30,87	25,07	15,1			
4-ago	35,40	34,92	22,4	1-set	37,56	34,61	20,8	29-set	38,47	31,34	17,9	27-ott	30,73	24,86	12,6			
5-ago	35,42	35,06	19,7	2-set	37,02	34,46	22,9	30-set	38,26	31,15	19,2	28-ott	30,54	24,53	12,3			
6-ago	35,45	35,19	22,6	3-set	36,56	34,29	23,8	1-ott	38,09	30,97	17,3	29-ott	30,37	24,23	9,1			

Tabella 4.14 – Rilievi giornalieri delle temperature rilevate su cumulo di letame a legno cemento, paglia e ambiente

4.2.3 Analisi delle lettiera pre-post applicazione

In questo paragrafo sono stati raccolti i dati relativi alle analisi chimico fisiche delle due tipologie di materiale di lettiera (Tab. 4.15) oggetto di analisi.

La concentrazione di ioni idrogeno (pH) risulta essere particolarmente elevata nella lettiera vergine a base di legno cemento. Il valore di pH, in legno cemento, si riduce in seguito all'utilizzo del materiale, molto probabilmente per la componente azotata delle deiezioni, composta prevalentemente da urea, assestandosi attorno a 9,1, come per il letame con paglia.

La sostanza secca, ovvero il complemento a cento dell'umidità relativa, del prodotto legno cemento è inferiore rispetto alla paglia. Tale differenza, come si è detto nel sotto capitolo relativo alle caratterizzazioni fisico-dimensionali, sono da imputare in maniera preponderante alle tecniche di stoccaggio del prodotto, che non hanno previsto una condizione di controllo/protezione per quanto riguarda il legno cemento.

	U.d.m	LEGNO CEMENTO		PAGLIA	
		lettiera	letame	lettiera	letame
Concentrazione H ⁺	pH	11,7 ± 0,5	9,1 ± 0,4	7,5 ± 0,3	9,3 ± 0,4
Sost. secca (SS)	%	73,7 ± 3,4	41 ± 3,6	93,1 ± 4,3	25 ± 5,2
Salinità	meq/100 g	41 ± 2,2	51 ± 2,8	62,7 ± 3,4	96,3 ± 2,2
ceneri	% SS	69,9	66,2	8,8	35,9
Sostanza organica	% SS	30,1	33,8	91,2	64,1

Tabella 4.15 – Analisi chimico-fisiche delle lettiera e dei letami

Considerando la componente inerte del prodotto, il legno cemento ha dimostrato un elevato contenuto di ceneri. Tale percentuale è imputabile prevalentemente alle polveri di cemento adese ai trucioli di legno che compongono la matrice utilizzata come la lettiera. Il passaggio da lettiera a letame ha comportato l'incremento di elementi nutritivi in modo paragonabile per il legno cemento e paglia. (Tab. 4.16) Come è stato osservato nel sottocapitolo relativo le caratterizzazioni fisico-dimensionali, il legno cemento non ha dimostrato una spiccata capacità di trattenere azoto ammoniacale. Tale caratteristica si osserva anche nel letame, il quale presenta un quantitativo quasi doppio di azoto ammoniacale in letame con paglia rispetto al letame con legno cemento.

	U.d.m	LEGNO CEMENTO		PAGLIA	
		lettiera	letame	lettiera	letame
Azoto (N) totale	% SS	0,50	1,15	1,15	1,98
Fosforo (P)	% SS	0,10	0,25	0,14	0,82
Potassio (K)	% SS	0,23	1,16	1,93	2,70
Azoto ammoniacale (NH ₄ ⁺)	% SS	0,02	0,43	0,00	0,76
Calcio (Ca)	% SS	18,5	17,6	0,26	6,72

Tabella 4.16 - Analisi del contenuto elementare-nutritivo delle lettiera e dei letami

Considerando la componente inerte del prodotto, il legno cemento ha dimostrato un elevato contenuto di calcio (Ca). Tale percentuale è imputabile alle polveri di cemento adese ai trucioli di legno che compongono la lettiera.

Infine, sono indicate di seguito due tabelle relative ai meso e microelementi. (Tab. 4.17 e Tab. 4.18)

	U.d.m	LEGNO CEMENTO		PAGLIA	
		lettiera	letame	lettiera	letame
Cloro (Cl)	g*kg ⁻¹ SS	1,80	5,50	7,15	12,6
Ferro (Fe)	g*kg ⁻¹ SS	4,50	4,20	0,14	2,00
Magnesio (Mg)	g*kg ⁻¹ SS	3,40	4,40	0,70	5,60
Sodio (Na)	g*kg ⁻¹ SS	1,40	1,90	0,70	1,60
Zolfo (S)	g*kg ⁻¹ SS	3,80	4,70	1,23	4,80

Tabella 4.17 – Analisi del contenuto elementare-nutritivo delle lettiere e dei letami

	U.d.m	legno cemento		paglia	
		lettiera	letame	lettiera	letame
Cadmio (Cd)	mg*kg ⁻¹ SS <	1	< 1	< 1	< 1
Cromo (Cr)	mg*kg ⁻¹ SS	36 ± 10	24,6 ± 6,6	< 5	12,4 ± 3,2
Mercurio (Hg)	mg*kg ⁻¹ SS <	2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Nichel (Ni)	mg*kg ⁻¹ SS	23,3 ± 6,2	18 ± 4,8	< 10	10,1 ± 2,7
Piombo (Pb)	mg*kg ⁻¹ SS	10,3 2,8	< 10	< 10	< 10
Rame (Cu)	mg*kg ⁻¹ SS	91 ± 16	70 ± 12	< 10	59 ± 10
Zinco (Zn)	mg*kg ⁻¹ SS	72 ± 19	126 ± 34	10 ± 2,7	277 ± 47
Selenio (Se)	mg*kg ⁻¹ SS <	1	< 1	< 1	< 1

Tabella 4.18 – Analisi del contenuto di metalli delle lettiere e dei letami

4.3 Utilizzo agronomico della lettiera zootecnica esausta

4.3.1 Risultati agronomici

Risultati in coltura protetta

Pur considerando che l'impiego di matrici fertilizzanti organiche potrebbe richiedere tempi più lunghi di quelli effettivamente impiegati per la prova, dal punto di vista quantitativo, circa l'altezza e il numero di foglie delle singole piante di *Beta vulgaris*, i dati emersi sono risultati significativamente differenti all'inizio della prova. Ovvero preliminari difformità sono via via svanite al termine del test.

I substrati LC10%, LC15%, LP10% e LP15% hanno conseguito risultati paragonabili. LC5% ha permesso alle piante una performance comunque migliore a quanto registrato per il testimone (Fig. 4.9).

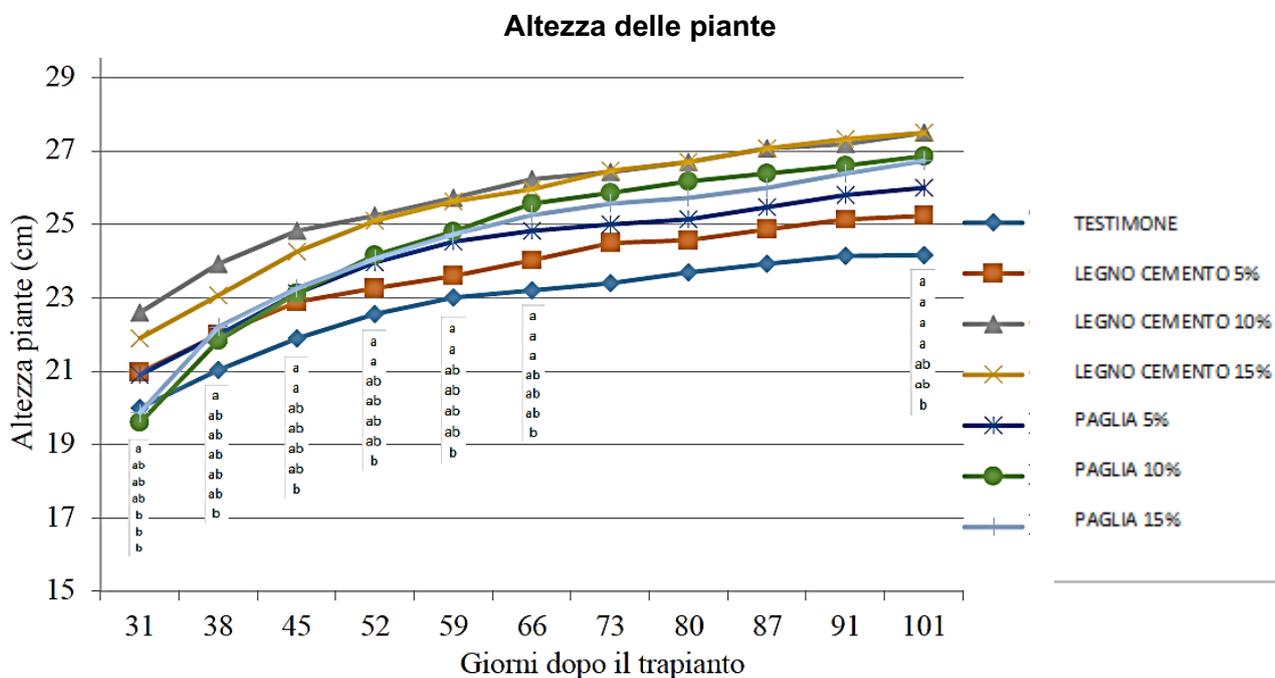


Figura 4.9 – Grafico relativo all'altezza delle piante con i diversi substrati

È stata rilevata una differenza significativa tra i tipi di matrici legno-cemento e paglia, ma non tra le diverse percentuali delle stesse: con LC15% si è riscontrato un peso medio di 80g per pianta, mentre LP (10% e 15%) ha superato tale massa. (Fig. 4.10).

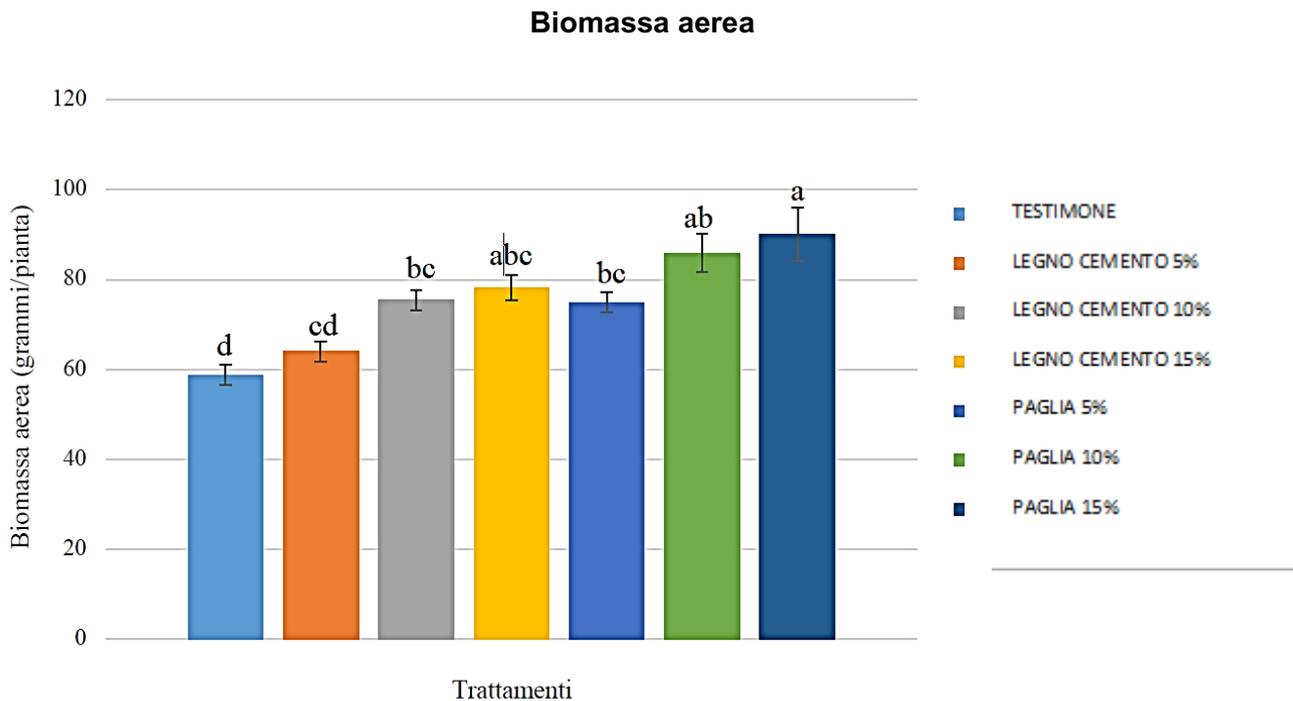


Figura 4.10 – Grafico a colonne relativo la biomassa aerea prodotta

Il contenuto di sostanza secca (SS) ha evidenziando una variazione tra il 12% e il 17% per i diversi substrati, il cui valore più alto è per la coltura su substrato LC5% ed il valore minore per la coltura su substrato paglia al 15%. Anche in questo caso si può evidenziare una variabilità tra i diversi tipi di matrici, con una significatività statistica in quanto c'è una tendenza alla riduzione del contenuto di SS con l'aumentare del quantitativo di matrice nel substrato (Fig. 4.11).

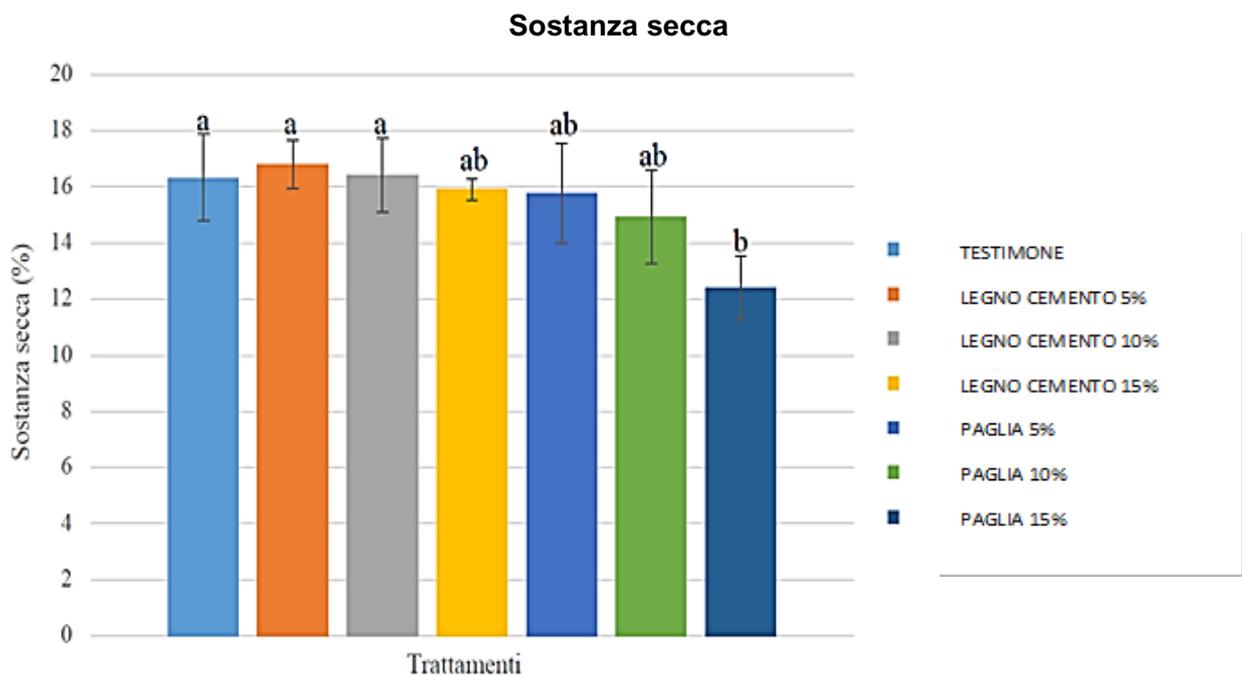


Figura 4.11 – Grafico a colonne relativo al contenuto di sostanza secca

Il maggior contenuto di azoto è stato osservato su LP15% e LP5%. LC in linea generale ha originato valori più bassi rispetto a LP, ma comunque migliori del testimone con solo terreno di campo.

Per quanto riguarda il potassio, la situazione è analoga per LP, mentre il testimone ha originato valori maggiori rispetto a LC.

In merito al quantitativo di sodio, invece, i trattamenti non hanno dato origine a differenze significative: con matrice legno-cemento hanno riportato valori maggiori rispetto al substrato con paglia 5% e al terreno testimone ma inferiori ai valori nei trattamenti con substrati paglia 15% e 10%. Tuttavia, non si riscontrano differenze statistiche significative.

I valori relativi al magnesio non hanno mostrato differenze significative tra i vari substrati. Il contenuto di calcio è risultato differente (in maniera significativa) evidenziando una quantità di 1,2 mg/g per le piante cresciute su testimone ed all'incirca un quantitativo dimezzato per quelle cresciute sul substrato composto da legno-cemento, mentre i valori più bassi si riscontrano per quelle sviluppatesi sul substrato di paglia 10%.

Per quanto riguarda il contenuto di cloruri e fosfati si sono riscontrate importanti differenze significative con valori maggiori evidenziati sempre nei trattamenti con substrati paglia 10% e 15%. Non sono stati rinvenuti fluoruri, bromuri, nitriti e nitrati nei campioni analizzati.

Attività di ricerca in campo

Cavolo cappuccio

La raccolta è avvenuta in date diverse, come già accennato, seguendo i diversi tempi di maturazione delle varietà e cultivar in prova. Per quanto riguarda il cappuccio verde "Caramba" la raccolta è avvenuta a metà giugno 2021 ed è stata effettuata recidendo 10 piante rappresentative per ogni plot in cui era stata ripartita la prova. La produzione di biomassa totale per pianta ha mostrato differenze significative per tutte e quattro le tesi a confronto (Fig. 4.12).

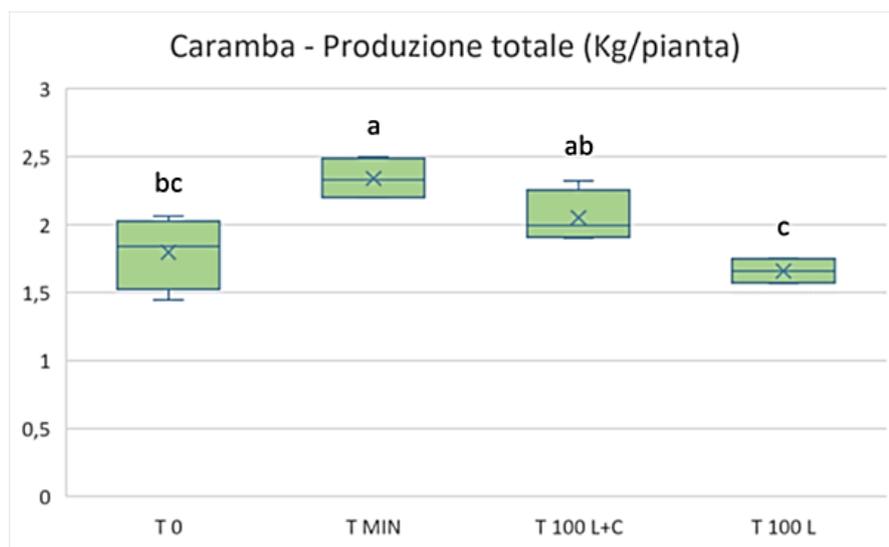


Figura 4.12 – Grafico relativo la produzione di massa fresca per Caramba con differenti concimazioni

I valori più elevati sono stati raggiunti con la concimazione minerale (TMIN), seguiti, in ordine, da T100L+C (letame con legno cemento), T0 (testimone) e T100L (letame con paglia).

Nello stesso ordine, tali differenze sono state rilevate sulla produzione della parte commerciale e dello scarto, anche se in quest'ultimo caso non si mostrano significativi discostamenti tra concimazione con matrice legno-cemento e testimone-controllo.

La stima della sostanza secca non ha portato a sottolineare differenze significative tra le tesi, anche se dal grafico (Fig. 4.13) è possibile osservare la maggiore variabilità presentata dalle concimazioni organiche rispetto alla concimazione minerale.

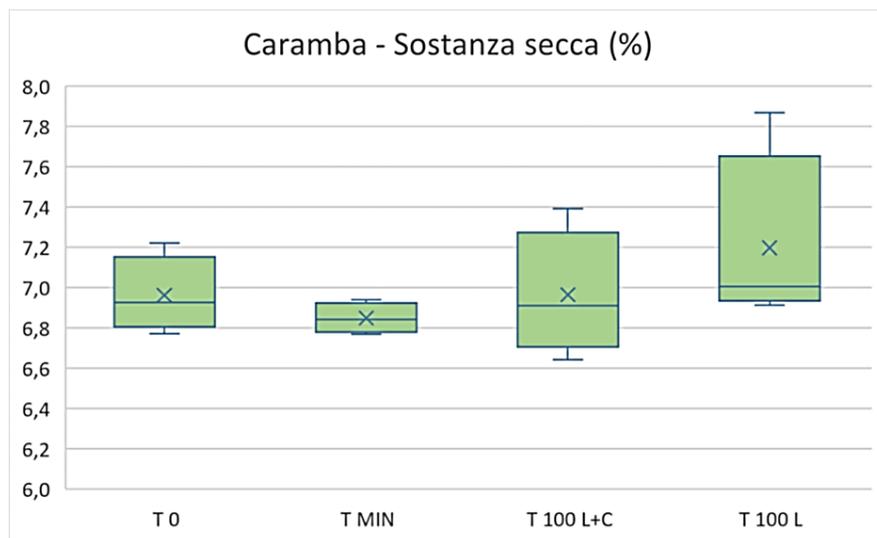


Figura 4.13 – Grafico relativo la produzione di sostanza secca per Caramba con differenti concimazioni

Passando al cappuccio viola “Alfaro” la raccolta è stata effettuata a fine giugno 2021 come già indicato per “Caramba”. Per quanto riguarda la formazione di massa fresca totale (Fig. 4.14), la parte commerciale e la parte di scarto, non sono state rilevate differenze importanti tra le concimazioni.

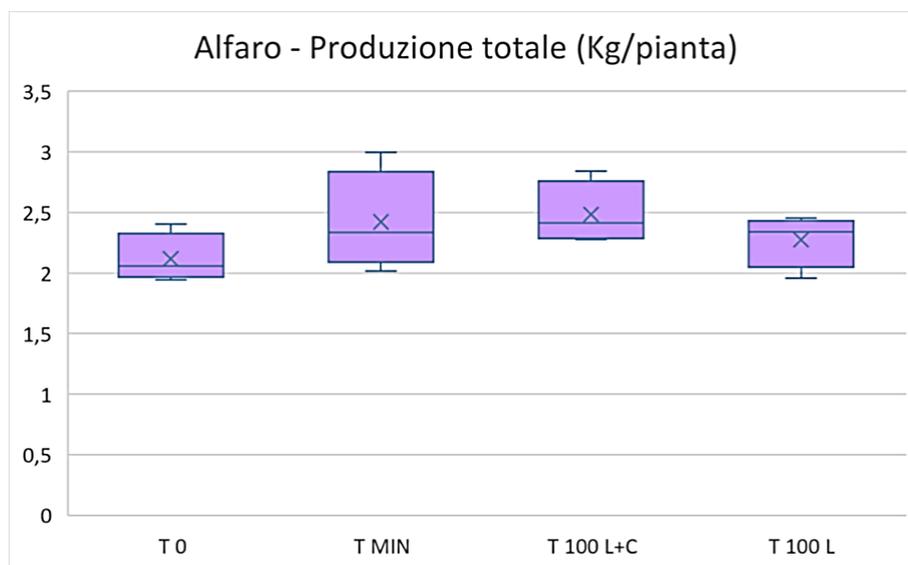


Figura 4.14 – Grafico relativo la produzione di massa fresca per Alfaro con differenti concimazioni

Si può osservare come con il trattamento con letame legno-cemento si siano registrati valori medi leggermente superiori a tutti gli altri trattamenti, compresi quello con concimazione minerale e quello con concimazione con lettiera convenzionale.

Per quanto riguarda il contenuto di sostanza secca invece si possono osservare differenze significative (Fig. 4.15) tra il trattamento con lettiera convenzionale, con i valori più elevati, e legno-cemento, assieme a testimone, con valori inferiori e non differenti statisticamente.

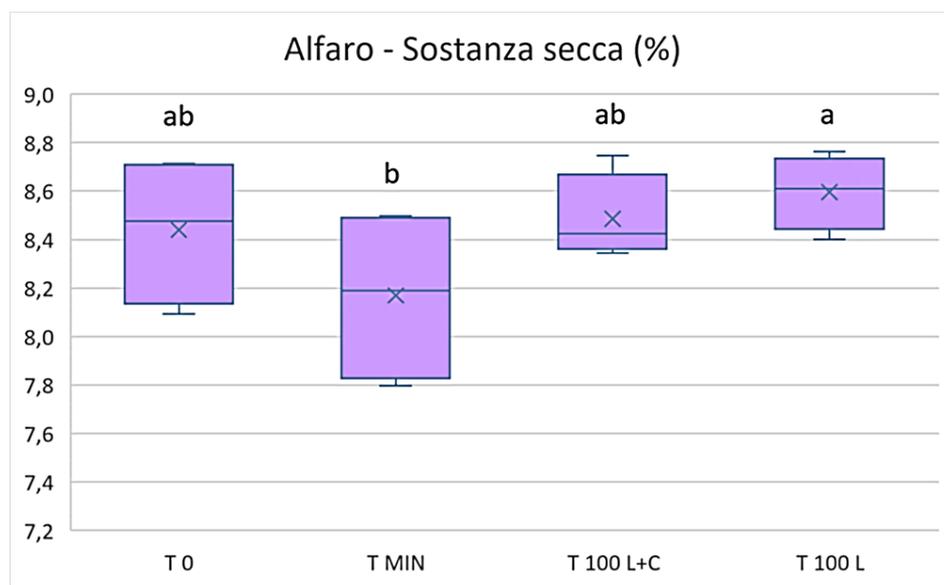


Figura 4.15 - Grafico relativo la produzione di sostanza secca per Alfaro con differenti concimazioni

I buoni risultati produttivi ottenuti con la matrice legno-cemento sono stati generalmente superiori a quelli ottenuti con lettiera convenzionale, sono forse da imputare al fatto che, avendo la stessa matrice una minor quantità di azoto, nelle parcelle di prova è stata apportata una quantità totale di materia organica superiore a quelle concimate con lettiera convenzionale. Questo potrebbe aver fornito alle piante una maggior quantità di micronutrienti oppure migliorato le capacità fisiche e chimiche del suolo di coltivazione aumentando la fertilità generale.

Queste ultime considerazioni sono ovviamente solo una prima possibile interpretazione dei dati che richiede maggiori prove per eventuali conferme o correzioni, le quali possono esser tratte anche dall'osservazione dei risultati delle successive analisi qualitative o da future nuove prove.

Cavolfiore

L'analisi produttiva delle due cultivar di cavolfiore non è stata purtroppo effettuata in quanto l'andamento termico e meteorologico della stagione, con temperature ad inizio ciclo sotto la media a cui ha fatto seguito un periodo molto caldo con altri brevi picchi con temperature sotto la media, non ha portato ad un corretto sviluppo delle infiorescenze e quindi ad un risultato che si sarebbe potuto considerare significativo.

Capitolo 5

DISCUSSIONE

Nell'ambito dell'attività di confronto tra un potenziale materiale di lettiera a base di legno cemento con paglia, sono state organizzate essenzialmente tre fasi di ricerca: caratterizzazione del materiale, allevamento e impiego agronomico. Tali fasi hanno previsto prove che sono state ripetute pedissequamente eseguite per entrambi i materiali da lettiera al fine di consentire il confronto delle due matrici.

Caratterizzazione dei materiali di lettiera

L'analisi dimensionale, effettuata tramite setacciatura dei materiali, ha permesso di dimostrare la variabilità dimensionale del prodotto legno cemento tra prelievi effettuati in momenti diversi della prova. Per quanto riguarda la paglia, la componente preponderante è data da particolato di grandi dimensioni.

L'analisi del contenuto idrico dei materiali da lettiera ha dimostrato per legno cemento un'umidità maggiore rispetto a paglia, rispettivamente del 25% e 11,8%. Tale contenuto di umidità iniziale del legno cemento, comporta una minore capacità di assorbimento dei reflui di stalla. La differente gestione dei prodotti nella fase precedente al loro utilizzo in stalla, che prevedeva per la paglia la copertura con film plastico e per legno cemento il semplice accumulo, ha sicuramente influenzato il risultato ottenuto.

L'analisi della sofficià della lettiera ha la finalità di evidenziare la propensione alla deformazione del materiale se sottoposto a pressione. I risultati ottenuti dai due prodotti esaminati si sono dimostrati notevolmente differenti: l'elasticità del legno cemento è risultata del 2,3-2,4%, contro il risultato ottenuto dalla paglia del 21,4%. Tale differenza è da attribuire alla composizione granulometrica dei due substrati: essendo il legno cemento un prodotto finemente tritato, il suo rapporto tra densità apparente e densità effettiva è inferiore rispetto alla paglia. La scarsità di aria all'interno del volume non permette un'apprezzabile compressione del materiale, tipica dei materiali più confortevoli, quali la paglia e la segatura.

L'analisi svolta sulle due matrici in pre- e post-utilizzo in stalla hanno evidenziato differenze compositive nei due materiali. Il pH della lettiera di legno cemento (11,7) si è dimostrato più elevato di quello del letame che è stato ottenuto a seguito del suo utilizzo (9,1). La motivazione di questo valore può essere ricondotta alla frazione cementizia della matrice, composta da materiali particolarmente basici, quali l'idrossido di calcio. A questa componente è da attribuire anche l'elevato contenuto di calcio riscontrabile sia nel prodotto pulito che nel letame. La frazione inerte

del legno cemento è responsabile, inoltre, dell'elevato contenuto di ceneri riscontrato nelle analisi (69,94%SS verso 8,77%SS della paglia).

L'analisi della capacità di assorbimento idrico ha manifestato nella paglia il maggior successo, con un rapporto tra acqua trattenuta e peso tal quale di 3,60/1. Il legno cemento ha dimostrato una scarsa propensione al trattenimento di liquidi, raggiungendo il massimo di 1,07/1. È da considerare che quest'ultimo materiale aveva un contenuto idrico di partenza maggiore rispetto alla paglia e la sua componente inerte (cemento) non offre capacità di assorbimento. Tale caratteristica è da attribuire alla formazione di micropori all'interno del substrato che permettono, grazie alla forza di adesione dell'acqua, il legame alle particelle di prodotto.

Il legno cemento non ha dimostrato capacità di assorbimento ammoniacale, aumentando addirittura il quantitativo di tale prodotto nell'aria. Per differenza, la paglia, nelle condizioni attuate in laboratorio, ha dimostrato un'effettiva propensione al trattenimento di suddetto gas.

Applicazione sperimentale in ambito zootecnico

Il livello di pulizia degli animali ha dimostrato risultati incoraggianti circa l'utilizzo del legno cemento come lettiera. Durante le visite effettuate all'azienda ospite, la stabulazione su lettiera di legno cemento ha garantito agli animali ottimi standard di pulizia, raggiungendo un punteggio di 4,28/5 nella prima prova e 3,85/5 nella seconda (1=animale molto sporco e 5=animale completamente pulito). A parità di condizioni, su paglia, il punteggio raggiunto è di 3,39/5 nella prima stalla e 2,96 nella successiva. Le razze bovine che hanno preso parte alla prova, Salers e Charolaise, sono caratterizzate mantelli a pelo riccio, particolarmente lungo per Salers. Questa proprietà ha consentito, tramite l'osservazione del livello di pulizia, di valutare il grado di adesione al pelo e l'eventuale formazione di aggregati. Questa evenienza potrebbe non verificarsi per soggetti dal pelo più corto e garantire standard di pulizia più elevati di quanto è stato osservato durante le prove con le razze considerate.

Il rilevamento di ammoniaca, effettuato mediante fiale colorimetriche sensibili, ha dimostrato emissioni di ammoniaca a livelli paragonabili tra le due lettiere considerate in questo progetto. Nella prima prova, il risultato medio è stato di 0,77 ppm per il sottoprodotto a base legno cemento e di 1 ppm per la paglia. Il risultato è in controtendenza nella seconda prova, in cui sono stati ottenuti rispettivamente 3,80 ppm e 2,80ppm con una variazione percentuale tra i due substrati del 26% (23% nella prima prova). Il movimento delle masse d'aria all'interno della stalla ha uniformato il livello di ammoniaca, conducendo alla rilevazione di risultati paragonabili. La capacità della lettiera a trattenere l'ammoniaca è in funzione della capacità della stessa di trattenere acqua. L'ammoniaca infatti, a temperatura ambiente, è in grado di solubilizzarsi in acqua, in ragione di 517 g l⁻¹. Questa proprietà consente alla lettiera di paglia di ottenere risultati maggiori rispetto al legno cemento, in quanto è appurata per quest'ultimo la propensione al drenaggio dei liquidi rispetto al trattenimento.

Prime valutazioni di carattere agronomico

L'analisi delle temperature dei cumuli, ottenute tramite datalogger per il periodo di maturazione del letame del primo ciclo di pulizia della prova A, ha permesso di affermare che il letame con legno cemento ha dato luogo temperature tendenzialmente più elevate, in particolare dalla seconda metà del periodo di fermentazione.

I risultati agronomici conseguiti dalle prove in ambiente protetto e in pieno campo hanno dimostrato le capacità fertilizzanti del prodotto oggetto di prova. Il primo test è stato effettuato in serra attraverso la coltivazione di piante in vaso su substrato composto da terreno di campo e letame compostato.

L'effetto della concimazione con letame a paglia, il quale gode peraltro di un maggior quantitativo di elementi nutritivi, in particolare di azoto, ha permesso il raggiungimento di performance migliori circa lo sviluppo dell'apparato epigeo di bieta da coste.

Nella prova di campo su cappuccio e cavolfiore, invece, i concimi sono stati distribuiti nell'ottica di fornire le stesse quantità di elementi nutritivi. Per letame a paglia sono stati utilizzati quantitativi inferiori rispetto a quanto adoperato per letame con legno cemento, appunto per la maggior concentrazione di questi all'interno della matrice. I buoni risultati produttivi ottenuti con il sottoprodotto oggetto d'indagine sono stati generalmente superiori a quelli ottenuti con lettiera convenzionale. Essi sono forse da imputare al fatto che, avendo la stessa matrice una minor quantità di azoto, nelle parcelle di prova è stata apportata una quantità totale di materia organica superiore a quelle concimate con lettiera convenzionale (paglia). Questo potrebbe aver fornito alle piante una maggior quantità di micronutrienti oppure migliorato le capacità fisiche e chimiche del suolo di coltivazione aumentando la fertilità generale

Capitolo 6

CONCLUSIONI

La valorizzazione di sottoprodotti e materiali di scarto in ottica “*end of waste*”, assume e assumerà sempre più importanza anche in ambito agrario. La possibilità di recupero di materiali compatibili provenienti da altri settori prende forma sia attraverso l’“utilizzo agronomico” in campo, sia attraverso fasi aggiuntive di elaborazione volte al riciclo per scopi alternativi.

In questo elaborato di tesi sono state valutate le caratteristiche di un materiale residuo a base di legno e cemento derivante dalla produzione di prodotti per l’edilizia, opportunamente sottoposto a condizionamento (tranciatura e miscelazione).

Questo materiale è stato testato come lettiera per bovini da carne. La possibilità di sostituire la paglia con altre matrici più economiche e performanti è di fondamentale importanza in un’ottica di sostenibilità del settore zootecnico in generale.

L’impiego in qualità di lettiera per bovini da ingrasso è stato valutato analizzando il livello di pulizia del mantello degli animali. Mediante l’elaborazione di una scala ad oc sono stati effettuati numerosi rilievi durante il periodo di accrescimento dei soggetti: è possibile affermare che il prodotto a base di legno cemento ha dato buoni risultati, aggiudicandosi punteggi di 4,28/5 e 3,58/5 nelle due ripetizioni. Per contro, su paglia, i valori hanno raggiunto rispettivamente 3,39/5 e 2,96/5.

I test effettuati in laboratorio, al fine di valutare la sofficietà, la capacità di assorbimento idrico e ammoniacale hanno visto nel legno cemento il conseguimento di risultati inferiori. Legno cemento ha presentato una scarsa propensione alla deformazione. La sua elasticità massima si è dimostrata del 2,4% (21,4% per la paglia) e ha raggiunto la capacità di assorbimento idrico massima di 107% (360% per la paglia).

Circa la propensione al trattenimento ammoniacale, i test di laboratorio hanno dimostrato che il materiale non è in grado di trattenere questo composto azotato. La basicità, caratteristica propria della componente inerte della matrice, ha probabilmente determinato la manifestazione di reazioni che favoriscono la liberazione di ammoniaca gassosa. Tuttavia, le prove in stalla hanno dimostrato l’assenza di differenze sostanziali tra le stabulazioni su paglia e legno cemento. Sarà dunque opportuno continuare a valutare se quanto è stato emerso durante le prove di laboratorio abbia un’effettiva correlazione con ciò che si verifica in fase di utilizzazione.

L’ultima fase dell’iter di valutazione del sottoprodotto è stata svolta in ambito agronomico, con l’applicazione del letame maturo sia in qualità di substrato per la coltivazione in coltura protetta sia come concime per la coltivazione di orticole in campo aperto. L’osservazione dei risultati delle prove, ripetute pedissequamente con letame a paglia, ha dimostrato l’efficacia del prodotto in qualità di fertilizzante e ammendante. Sarà da tenere in considerazione la necessità di valutare la composizione nutritiva-elementare del prodotto prima della sua utilizzazione, in quanto il semplice

apporto basato sull'uguaglianza quantitativa con letame a paglia non porta ai medesimi risultati colturali. Si è visto, durante la prova in coltura protetta, come l'addizione dei due letami nel substrato colturale abbia condotto a risultati effettivamente diversi. In campo aperto invece, la somministrazione è stata ponderata valutando il titolo degli elementi azoto, fosforo e potassio (in questo caso la prova ha originato risultati paragonabili).

Concludendo, le valutazioni preliminari circa l'applicabilità di tale materiale in ambito agrozootecnico sembrano essere positive, tuttavia, sarà necessario proseguire con le ricerche e le applicazioni sperimentali al fine di confermare tali aspetti anche nel lungo periodo.

BIBLIOGRAFIA

- Aguerre, M. J., Wattiaux, M. A., Hunt, T., & Larget, B. R. (2010). Effect of dietary crude protein on ammonia-N emission measured by herd nitrogen mass balance in a freestall dairy barn managed under farm-like conditions. *Animal*, 4(8), 1390-1400.
- Aguerre, M. J., Wattiaux, M. A., & Powell, J. M. (2012). Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane, and carbon dioxide during storage of dairy cow manure as affected by dietary forage-to-concentrate ratio and crust formation. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 7409-7416.
- Allen, D. (2007). The impact of housing on mastitis. In Proc. British Mastitis Conference, Warwickshire, UK (pp. 35-41).
- Bickert, W. G. 1999. Building and remodeling freestall housing for cow comfort. *Adv. Dairy Technol.* 11:335–342.
- Bradley, A. J., Leach, K. A., Green, M. J., Gibbons, J., Ohnstad, I. C., Black, D. H., ... & Breen, J. E. (2018). The impact of dairy cows' bedding material and its microbial content on the quality and safety of milk—A cross sectional study of UK farms. *International journal of food microbiology*, 269, 36-45.
- Bewley, J. M., Black, R. A., Taraba, J. L., Day, G. B., Damasceno, F. A., (2013). Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. *Journal of dairy science*, 96(12), 8060-8074.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs, Scottish Government, Welsh Government, 2017. Conditions of Use in Relation to the Use of Recycled Manure Solids as Bedding for Dairy Cattle. Animal & Plant Health Agency, AB143 (Rev. 01/17).
- EPA (US Environmental Protection Agency). 2006. Fact Sheet. Final Rule: Fine particulate matter national ambient air quality standards: State implementation plan requirements. Accessed Oct. 20, 2018
- Fregonesi, J. A., & Leaver, J. D. (2001). Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in strawyard or cubicle systems. *Livestock production science*, 68(2-3), 205-216.

- Fulwider, W. K., Grandin, T., Garrick, D. J., Engle, T. E., Lamm, W. D., Dalsted, N. L., & Rollin, B. E. (2007). Influence of free-stall base on tarsal joint lesions and hygiene in dairy cows. *Journal of dairy science*, 90(7), 3559-3566.
- Galama, P., Bokma, S., van Dooren, H. J., Ouweltjes, W., Smits, M., & Driehuis, F. (2011). *Prospects for bedded pack barns for dairy cattle* (No. 17). Lelystad, The Netherlands: Wageningen UR Livestock Research.
- Green, M.J., Leach, K.A., Breen, J.E., Ohnstad, I., Tuer, S., Archer, S.C., Bradley, A.J. 2014. Cattle Practice, Volume 22, Part 2, p207-214.
- Janni, K. A., Endres, M. I., Reneau, J. K., & Schoper, W. W. (2007). Compost dairy barn layout and management recommendations. *Applied engineering in agriculture*, 23(1), 97-102.
- Leso, L., Uberti, M., Morshed, W., & Barbari, M. (2013). A survey of Italian compost dairy barns. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(3), e17-e17.
- Norring M., E. Manninen, A.M. De Passillé, J. Rushen, L. Munksgaard and H. Saloniemi J. Dairy Sci., 91 (2008), pp. 570-576
- Peeler, E. J., Green, M. J., Fitzpatrick, J. L., Morgan, K. L., & Green, L. E. (2000). Risk factors associated with clinical mastitis in low somatic cell count British dairy herds. *Journal of dairy science*, 83(11), 2464-2472.
- Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare (SCAHAW), 2001. The welfare of cattle kept for beef production. European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General.
- Shane, E. M., Endres, M. I., & Janni, K. A. (2010). Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in Minnesota: a descriptive study. *Applied engineering in agriculture*, 26(3), 465-473.
- Sonck, B., Daelemans, J., & Langenakens, J. (1999). Preference test for free stall surface material for dairy cows. *Emerging technologies for the 21st century. ASAE, St. Joseph, Michigan*, 1-9.
- Tucker, C. B., Weary, D. M., & Fraser, D. (2003). Effects of three types of free-stall surfaces on preferences and stall usage by dairy cows. *Journal of dairy science*, 86(2), 521-529.

Tucker, C. B., Weary, D. M., Von Keyserlingk, M. A. G., & Beauchemin, K. A. (2009). Cow comfort in tie-stalls: Increased depth of shavings or straw bedding increases lying time. *Journal of dairy science*, 92(6), 2684-2690.

Tuytens, F. A. M. (2005). The importance of straw for pig and cattle welfare: a review. *Applied animal behaviour science*, 92(3), 261-282.

Zehner, M.M., Farnsworth, R.J., Appleman, R.D., Larntz, K., Springer, J.A., 1986. Growth of environmental mastitis pathogens in various bedding materials. *J. Dairy Sci.* 69, 1932–1941.

Valacon-Diary, 2012. Verslag van een praktijkonderzoek naar het gebruik van vaste fractie uit gescheiden mest als boxbedekkingsmateriaal in ligboxen voor melkvee. November 2012.

Weary, D. M., & Tazskun, I. (2000). Hock lesions and free-stall design. *Journal of dairy science*, 83(4), 697-702.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio Dott. Pezzuolo Andrea per la disponibilità che ha sempre dimostrato attraverso il suo aiuto essenziale. Ringrazio Professor Guercini Stefano per il sostegno e l'occasione di lavorare ad un progetto interdisciplinare molto interessante. Ringrazio inoltre Dott.ssa Greco Rosa per avermi consentito di partecipare alle attività di laboratorio.