



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti

Risorse naturali e Ambiente

Corso di laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

**Effetto della fertilizzazione razionale con compost su produzione  
e qualità di specie orticole in successione**

Relatore: Prof. Carlo Nicoletto

Correlatore: Dott.ssa Marina De Bonis

Laureando: Stefano Pastrello  
Matricola n. 2007642

ANNO ACCADEMICO 2021/2022



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>INTRODUZIONE</b> .....	9
<b>LA SOSTANZA ORGANICA NEL TERRENO</b> .....	10
<b>COMPOSTAGGIO</b> .....	12
<b>CICLO DELL'AZOTO</b> .....	19
<b>SCOPO DEL LAVORO</b> .....	25
<b>MATERIALI E METODI</b> .....	27
<b>ANALISI DEL SUOLO</b> .....	34
<b>ANALISI QUALITATIVE</b> .....	35
<b>ANDAMENTO METEOROLOGICO</b> .....	38
<b>RISULTATI</b> .....	43
<b>POMODORO DA INDUSTRIA</b> .....	43
<b>BIETOLA DA COSTA E CICORIA CATALOGNA</b> .....	50
<b>CAVOLO E CAVOLFIORE</b> .....	57
<b>RADICCHIO</b> .....	62
<b>BILANCIO DELL'AZOTO</b> .....	76
<b>DISCUSSIONE</b> .....	81
<b>CONCLUSIONI</b> .....	90
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	93



## RIASSUNTO

Le attuali problematiche relative alla fertilità dei terreni agrari e alla gestione di matrici organiche in modo circolare rappresentano il contesto entro cui si è sviluppata la sperimentazione. Si sono analizzate le risposte produttive di diverse specie orticole (pomodoro da industria, bieta da costa e cicoria catalogna, cavolo cappuccio e cavolfiore e radicchio) ad una concimazione effettuata con compost, in sostituzione parziale o completa del quantitativo di azoto generalmente fornito con i concimi minerali.

La prova è stata svolta presso l'Azienda Sperimentale Agraria "L. Toniolo" (Università degli Studi di Padova) in un arco temporale di 2 anni.

Le prove sono state eseguite con un disegno sperimentale in blocchi randomizzati con quattro ripetizioni e hanno previsto il confronto fattoriale fra le seguenti tesi:

- Testimone non concimato (T0);
- Tesi trattata con concimi minerali (TMIN), 100% del fabbisogno di azoto è stato apportato in forma minerale;
- Tesi tratta con compost a dose bassa (T50), 50% del fabbisogno di azoto apportato con compost;
- Tesi con trattamento compost a dose alta (T100), 100% del fabbisogno in azoto apportato con compost;
- Tesi trattata con compost a dose doppia (T200), 200% del fabbisogno in azoto apportato con compost.

Tale sperimentazione ha previsto successivamente la determinazione di indici di efficienza d'uso dell'azoto e la redazione di un bilancio dell'azoto, grazie cui si sono definiti i primi trend osservabili. Dal punto di vista qualitativo non si sono osservate differenze significative, dal punto di vista invece della gestione dell'azoto, si comincia a delineare un andamento nonostante i soli due anni di sperimentazione con un miglioramento dell'efficienza d'uso dell'azoto grazie all'instaurarsi un equilibrio nel terreno, con una messa a disposizione dei nutrienti graduale a seguito del processo di mineralizzazione della matrice organica. Saranno comunque necessari ulteriori anni di sperimentazione al fine di validare queste prime osservazioni raccolte.



## ABSTRACT

The current problems relating to the fertility of agricultural land and the management of circular organic matrices represent the context within which the experimentation has developed. We analyzed the productive responses of different horticultural species (tomato for industry, chard and chicory catalonia, cabbage and cauliflower and radicchio) to a fertilization carried out with compost, partial or complete replacement of the quantity of nitrogen generally supplied with mineral fertilisers.

The test was carried out at the Azienda Sperimentale Agraria "L. Toniolo" (University of Padua) over a period of 2 years.

- The tests were carried out with an experimental design in randomized blocks with four repetitions and provided for the factorial comparison between the following theses: Untreated Witness (T0);
- Thesis treated with mineral fertilizers (TMIN), 100% of the need for nitrogen was supplied in mineral form;
- Thesis treated with low-dose compost (T50), 50% of the nitrogen needs supplied with compost;
- Thesis with high-dose compost treatment (T100), 100% of the need in nitrogen supplied with compost;
- Thesis treated with double-dose compost (T200), 200% of the need in nitrogen supplied with compost.

This experiment subsequently included the determination of nitrogen use efficiency indices and the drawing up of a nitrogen balance, thanks to which the first observable trends were defined. From a qualitative point of view, no significant differences were observed from the point of view of nitrogen management, a trend is beginning to emerge despite only two years of experimentation with an improvement in the efficiency of use of nitrogen thanks to the establishment of a balance in the soil, with a gradual supply of nutrients following the process of mineralisation of the organic matrix. However, further years of experimentation will be needed to validate these first observations.





## INTRODUZIONE

A livello globale, l'urbanizzazione e il costante aumento della popolazione hanno causato generazione di grandi quantità di rifiuti portando una serie di problematiche per la loro gestione (ambientali, sociali, economiche) per cui è necessario trovare soluzioni efficaci per la loro gestione.

Per quanto riguarda la componente organica tra le varie tipologie di trattamento dei rifiuti il compostaggio ha guadagnato un'ampia popolarità grazie ai vantaggi che comporta: l'igienizzazione del materiale di scarto, la sua conversione in prodotti di valore aggiunto, la quale permette quindi di creare un sistema di economia circolare, un modello che trasforma i beni arrivati a fine vita e gli scarti di produzione in risorse utili per altri settori vicini, cambiando quindi la concezione del rifiuto, non più come materiale da smaltire, ma risorsa da utilizzare (Qian et al., 2014). In questo contesto il Veneto risulta tra i primi posti in Italia per la raccolta differenziata e per l'impiego del processo di compostaggio.

Parallelamente, l'inserimento nei terreni coltivati di materiale organico è un'esigenza particolarmente pressante, soprattutto da quando sono stati modificati i criteri di allevamento. Gli attuali indirizzi dell'agricoltura e della zootecnica hanno infatti portato alla separazione delle due attività, con un'agricoltura intensiva da un lato che non dispone di fertilizzanti organici, e dall'altro, con allevamenti intensivi senza terra nei quali la quantità elevata di deiezioni prodotte pone problemi di inquinamento e degrado ambientale (Biavati et al., 2008).

Nell'orticoltura moderna uno dei principali problemi riguarda l'elevato sfruttamento del suolo derivato dalla necessità di eseguire successioni colturali ravvicinate e svolgere le operazioni colturali in un lasso di tempo breve che causa un progressivo impoverimento del terreno e all'utilizzo elevato di fertilizzanti minerali.

L'uso di input chimici rappresenta un tema fondamentale per due motivi principali: il mantenimento della sostanza organica nel terreno e tutti i benefici che ne derivano, e per la gestione dell'azoto, elemento particolarmente critico nella gestione per le numerose perdite che si possono generare.

Si procederà ora ad analizzare uno per uno i punti che sono stati accennati in questa introduzione.

## LA SOSTANZA ORGANICA NEL TERRENO

Lo sfruttamento eccessivo dei terreni dovuto all'attuazione di un'agricoltura intensiva non razionale e il minore apporto di sostanza organica rispetto alle necessità, ha portato ad una progressiva perdita nel suo contenuto e alla riduzione della fertilità del terreno ovvero la sua attitudine a sostenere nel tempo le colture.

Attualmente con gli attuali sistemi produttivi, il ciclo della sostanza organica risulta nettamente sbilanciato verso il consumo e la fase di mineralizzazione, a netto svantaggio della fase di accumulo e di umificazione. Risulta invece necessario mantenere nei sistemi agrari un equilibrio tra accumulo e consumo di sostanza organica, fondamentale per conservare la fertilità dei suoli.

La concentrazione di C organico può variare notevolmente da terreno a terreno in relazione alle condizioni climatiche, alla presenza e al tipo di copertura vegetale, alla geomorfologia, agli apporti e soprattutto alle lavorazioni, per tipo e intensità (Sansavini et al., 2012). Si ricorda che, escludendo i terreni torbosi, generalmente il contenuto di sostanza organica nei suoli alle nostre latitudini varia tra l'1 e il 2% (Sansavini et al., 2012).

La sostanza organica ha numerosi effetti su diverse caratteristiche del suolo, quali:

- la struttura: la sostanza organica presenta un ruolo determinante nel favorire una buona struttura del suolo, ottenendo una buona permeabilità, una buona aerazione, un più facile drenaggio, minori problemi di compattazione e polverizzazione. Il tutto grazie all'interazione della sostanza organica con gli altri componenti del suolo formando dei micro-aggregati che garantiscono un'equa ripartizione tra spazi pieni e vuoti garantendo a sua volta una buona porosità, presupposto fondamentale per un buon sviluppo radicale delle colture, una buona circolazione dell'aria tellurica, percolazione e risalita capillare dell'acqua.
- ritenzione idrica: grazie sia al miglioramento della porosità ma anche per la sua grande capacità di assorbimento dell'acqua, risulta infatti in grado di trattenere acqua fino a 20 volte il suo peso (Sequi et al., 2017).
- temperatura: la sostanza organica conferisce un colore scuro al terreno favorendo l'assorbimento della radiazione solare e a sua volta il riscaldamento del suolo.

Inoltre considerando la capacità termica dell'acqua e il fatto della maggiore ritenzione operata dalla sostanza organica, influenza le variazioni di temperatura (quando il contenuto di acqua è più elevato il terreno si scalda e si raffredda più lentamente).

- Disponibilità di elementi nutritivi: la sostanza organica presente nel terreno rappresenta un vero e proprio serbatoio di nutrienti infatti grazie ai processi di mineralizzazione, rilascia tali elementi (macro e micro) e ne influenza la disponibilità mettendo in atto meccanismi di ritenzione e scambio che ne condizionano tempi, forme e mobilità (Wang et al., 2015; Proietti et al., 2016). Oltre a ciò, la sostanza organica agisce anche indirettamente, grazie alla liberazione di acidi organici che incrementano la disponibilità di elementi poco mobili come il fosforo.
- capacità di scambio ionico: dovuta alla presenza di cariche elettriche superficiali che permettono la ritenzione sia di cationi che di anioni anche se la ritenzione cationica prevale.
- pH e potere tampone: presenta capacità di acidificare il suolo sia durante i processi ossidativi, sia stimolando la respirazione microbica e produzione di CO<sub>2</sub>. A cui si aggiunge l'effetto tampone esercitato dalle sostanze umiche per un ampio intervallo di pH.
- capacità di interazione con agrofarmaci: condiziona la loro bioattività, biodegradabilità e persistenza nel suolo e influenza i criteri di somministrazione e dosaggi (Sequi et al., 2017).

La sostanza organica riveste quindi un ruolo chiave nel suolo controllandone molte proprietà chimiche, fisiche e biologiche, per cui diventa fondamentale mantenerne livelli adeguati per garantire una buona funzionalità della risorsa suolo (Sequi et al., 2017).

Per la conservazione della sostanza organica nel suolo esistono varie tecniche che possono essere attuate, tra queste, due riscuotono maggior successo ovvero il tipo di lavorazioni effettuate e il tipo di concimazioni attuate (in un'ottica di agricoltura conservativa). Le lavorazioni profonde e ripetute rappresentano uno dei motivi principali di perdita di SO in quanto tendono ad accelerare i processi di mineralizzazione perché aumentano il potenziale redox, i periodi di umettamento e bagnatura, processi questi che maggiormente accelerano l'ossidazione della sostanza organica (Sansavini et al., 2014).

D'altra parte, le concimazioni organiche, atte a reintegrare la sostanza organica, possono essere effettuate con diverse matrici: il concime organico tradizionalmente usato è il letame o stallatico, ottenuto mediante fermentazione e maturazione della lettiera degli allevamenti.

Altri prodotti ampiamente impiegati nell'agricoltura moderna sono i liquami, mentre con minor diffusione ritroviamo: la pollina, la torba, i sovesci ed il compost. L'utilizzo di quest'ultimo è in forte crescita sia per l'incremento demografico che porta ad una maggior produzione di scarti, sia per le necessità del settore agricolo enunciate fino ad ora. Tali prodotti sono adatti ad essere utilizzati in un sistema di economia circolare in cui gli scarti diventano non più un problema ma una risorsa per il mantenimento della fertilità dei terreni.

## COMPOSTAGGIO

In Italia i rifiuti solidi di origine urbana (RSU) sono mediamente prodotti in quantità superiori a 1 kg per abitante al giorno, quantitativi a cui vanno aggiunti i rifiuti industriali e quelli dell'agricoltura. Il compostaggio rappresenta attualmente la tecnica preferita dalle aziende municipali per il riciclo di sostanze solide organiche, in quanto rappresenta il trattamento più efficiente per produrre un ammendante ambientalmente sicuro e agronomicamente vantaggioso a costi operativi accettabili (Onwosi et al., 2016).

Il compostaggio è un processo biochimico eterogeneo che implica la mineralizzazione della materia organica in  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e umificazione incompleta, producendo un prodotto finale stabilizzato (Fig. 1) con ridotta presenza di sostanze tossiche e microrganismi patogeni (Das et al., 2011), in condizioni naturali o controllate, in totale accordo con l'agricoltura sostenibile. Il compostaggio è un'opzione affidabile di trattamento dei rifiuti perché al posto di un'applicazione diretta dei rifiuti organici, fornisce prodotti igienizzati e stabilizzati che possono essere utilizzati come fertilizzante organico o ammendante nei suoli (Quian et al., 2014).



*Figura 1 Compost (prodotto finito).*

Tale processo può essere utilizzato per trasformare materiale organico in prodotti utili sfruttando l'attività degradativa della microfauna e dei microrganismi presenti nella matrice. È una tecnologia ampiamente utilizzata che consente di riciclare i nutrienti minerali sfruttandoli poi in agricoltura in un'ottica di economia circolare (Wang et al., 2015). Le condizioni termofile associate al processo forniscono spazio per l'igienizzazione del compost, devitalizzando i microrganismi presenti nei rifiuti (Kulikowska, 2016; Pandey et al., 2016). Essendo inoltre fonte di sostanze umiche può essere impiegato anche in suoli contaminati da metalli pesanti immobilizzandoli e riducendo la loro fitotossicità (Kulikowska et al., 2015).

I prodotti del compostaggio si sono dimostrati migliori rispetto ai tradizionali fertilizzanti secondo Hermann et al. (2011) infatti supportano la formazione di humus. La sostanza organica nel suolo va infatti a promuovere la crescita della coltura, il suo stato di salute, presenta un'azione di biocontrollo dei patogeni soil-borne e tutti gli altri vantaggi richiamati nel precedente paragrafo.

I vantaggi legati alle procedure di compostaggio possono essere raggiunti solo se il processo è gestito in modo efficace con l'uso di giusti rapporti di miscelazione, ottimizzazione dei vari parametri di processo quali aerazione, rapporto C/N e contenuto di umidità.

Il processo di compostaggio è una tecnica attraverso la quale viene controllato, accelerato e migliorato il processo naturale a cui va incontro la sostanza organica in natura, per effetto della degradazione microbica. Si tratta infatti di un processo aerobico di decomposizione biologica della sostanza organica che permette di ottenere un prodotto biologicamente stabile la cui componente organica presenta un elevato grado di evoluzione.

L'effetto nutritivo, così come i benefici ottenibili dal suo impiego in agricoltura sono collegati all'attività fisiologica di diversi microrganismi (principalmente aerobi termofili) (Pietronave et al., 2004) i quali operano un ruolo fondamentale nel processo di compostaggio in quanto traggono energia per le loro attività metaboliche dalla materia organica, liberando acqua, biossido di carbonio, sali minerali e sostanza organica stabilizzata ricca di sostanze umiche. In aggiunta le comunità microbiche presenti nel compost possono essere utilizzate nel biocontrollo dei patogeni presenti nel suolo (Mehta et al., 2014). Questi consorzi microbici sopprimono lo sviluppo di malattie delle piante attraverso la loro capacità di produrre di produrre composti anti microbici, emanare calore, competere con il patogeno e influenzare la vitalità dei patogeni soil-borne (sono disponibili diverse formulazioni commerciali di inoculanti per il miglioramento agronomico del prodotto finale).

Durante le fasi di compostaggio gli attori microbici variano in base alle condizioni fisico-chimiche del sistema. Innanzitutto, il processo può essere suddiviso in quattro fasi (Biavati et al., 2008) la cui durata viene influenzata dalla natura della sostanza organica e dall'efficienza del processo dovuta a una moltitudine di fattori come temperatura, umidità, aerazione, rapporto C/N, ecc.

La prima fase è detta fase mesofila (Fig. 2), si tratta di una fase aerobica ed esotermica in cui i microrganismi mesofili sono i predominanti. In questa fase abbiamo la decomposizione dei composti prontamente metabolizzabili (molecole semplici quali zuccheri, acidi organici, amminoacidi). Le reazioni biologiche ossidative, essendo esotermiche, provocano un aumento della temperatura. Contemporaneamente si assiste a una lieve diminuzione del pH, presumibilmente determinata dalla produzione di acidi organici liberati dalla degradazione delle sostanze organiche.

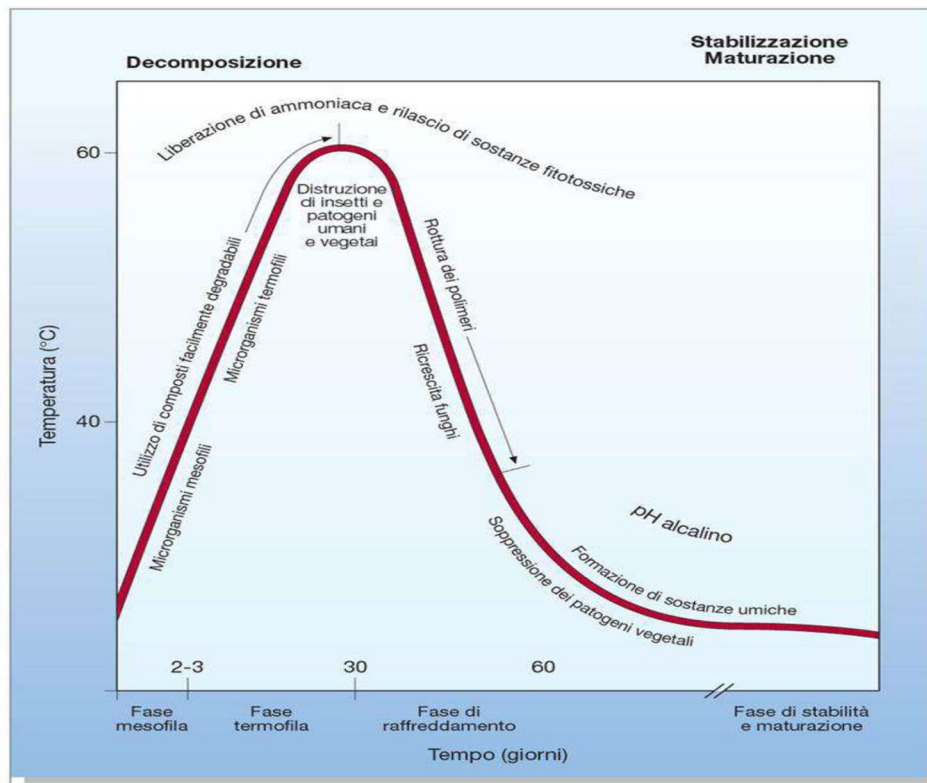


Figura 2 Esempificazione dell'andamento del processo di compostaggio.

Questo rapido incremento della temperatura, da valori di temperatura ambiente a 60°C e oltre, è legato alla fermentescibilità del substrato e alla disponibilità di ossigeno e porta alla successione dei microrganismi mesofili ai termofili che danno inizio alla seconda fase. In suddetta fase avviene la decomposizione di molecole quali: polisaccaridi, proteine e lipidi, e la formazione di composti intermedi come gli acidi grassi volatili a catena corta (acido acetico, propionico, butirrico), tossici per le piante ma rapidamente metabolizzati dalle popolazioni microbiche. L'aumento della temperatura è importante perché porta all'igienizzazione della matrice, distruggendo i microrganismi patogeni e devitalizzando i semi delle infestanti. In questa fase il pH aumenta per effetto dei microrganismi ammonificanti. Al termine di questa fase viene ottenuto il compost fresco, un materiale igienizzato e sufficientemente stabilizzato.

Nella terza fase si ha il raffreddamento del prodotto che arriva a temperatura ambiente per opera dei microrganismi mesofili che degradano le molecole organiche più complesse con processi più lenti con conseguente minor produzione di calore. Il pH si stabilizza su valori compresi tra 7,5 e 8 e l'umidità si riduce a valori attorno al 25%.

L'ultima fase consiste nella maturazione e stabilizzazione finale, che può durare parecchie settimane o anche mesi. In questa fase i composti più resistenti vengono degradati e

parzialmente trasformati in sostanze umiche. Il prodotto così ottenuto si presenta come una matrice di colore scuro, con una tessitura simile a quella di un terreno ben strutturato, ricca di composti umici e dal caratteristico odore di terricci di bosco, e prende il nome di compost maturo.

Una serie di fattori fisico-chimici condizionano l'andamento delle reazioni biologiche che avvengono durante il compostaggio; dal grado con cui vengono governati tali fattori dipende la corretta evoluzione verso la definitiva stabilizzazione del substrato, sia in termini di durata del processo che di qualità del prodotto finale.

I fattori che vanno presi in considerazione per una rigorosa gestione del processo vengono di seguito analizzati.

- Aerazione: il compostaggio utilizza notevoli quantità di ossigeno, in particolar modo nelle prime fasi in cui le componenti più facilmente degradabili della matrice vengono rapidamente metabolizzate comportando oltre al consumo di ossigeno anche a una notevole produzione di calore.

Senza una sufficiente aerazione, nella biomassa si creerebbe un ambiente anossico in cui la microflora microbica anaerobica prenderebbe il sopravvento, portando all'accumulo di composti ridotti (es. acidi grassi volatili, idrogeno solforato, mercaptani, ecc.) che conferiscono odori sgradevoli e fitotossicità. Nonostante questi composti vengano prodotti anche in condizioni aerobiche, in questo caso vengono rapidamente degradati. Tra umidità e aerazione esiste una stretta relazione, infatti all'aumentare della ventilazione, aumenta l'evaporazione dell'acqua e la dissipazione di calore. Riassumendo quindi, la ventilazione risulta importante per garantire che il processo avvenga in condizioni aerobiche, per ridurre l'umidità e la temperatura. Essa può avvenire con diverse modalità (attiva, passiva e naturale) e la diffusione dell'aria dipende fortemente dalla porosità della matrice.

- Temperatura: per effetto dell'attività dei microrganismi che operano la degradazione della materia organica, viene prodotto calore, che all'interno della massa porta a raggiungere temperature di 70-80°C. Fattore importante è che il riscaldamento deve avvenire in modo omogeneo all'interno per assicurarsi che l'igienizzazione riguardi l'intero cumulo. Infatti le temperature termofile permettono la distruzione degli eventuali organismi patogeni presenti. Il limite largamente fissato per la disattivazione dei patogeni umani è 55°C. Questa temperatura è in



grado di abbattere anche la maggior parte degli organismi fitopatogeni, mentre, per i semi delle erbe infestanti sono necessarie temperature non inferiori a 60°C. Anche per la temperatura risulta importante l'aerazione in quanto nei casi in cui non c'è un'adeguata dissipazione del calore generato, la temperatura può raggiungere e superare i 70°C, temperature alle quali la totalità dei microrganismi soccombe o diventa dormiente portando al blocco del processo di compostaggio. Si interviene in questi casi, quando la temperatura è maggiore di 60°C con aerazioni e rivoltamenti della massa. (Anpa, 2022)

- Umidità: l'umidità ottimale per il processo di compostaggio si attesta tra il 50 e 65%. In condizioni di bassa umidità nella massa di partenza, con tassi del 20-25%, il processo è inibito in quanto non consente un buon sviluppo della microflora. Al contrario elevati tassi di umidità, rendono difficile la circolazione dell'aria con il rischio che si creino zone anossiche con sviluppo di microflora anaerobica con i svantaggi già annunciati. Considerando ciò, quando l'umidità della massa risulta inferiore a 40% si procede con l'umidificazione, viceversa con umidità eccessiva viene lasciata ad essiccare prima di procedere al compostaggio. Per tutto il corso del compostaggio, l'umidità deve mantenersi al di sopra dei limiti compatibili con l'evoluzione delle reazioni biologiche. L'eccessiva disidratazione potrebbe portare a valutare erroneamente l'andamento delle reazioni biologiche ed interpretare il declino dell'attività microbica come segno di avvenuta stabilizzazione.
- Rapporto C/N: deve essere tra 25 e 35%. Concentrazioni basse di N sono un fattore limitante per la riproduzione della microflora che si sviluppa in quantità troppo basse per un regolare processo con elevate quantità di CO<sub>2</sub> dispersa; al contrario un eccesso di N porta alla sua perdita sotto forma di NH<sub>3</sub> e generazione di odore sgradevole. Per ottenere dei rapporti adeguati in partenza, in genere si ricorre al mescolamento di diverse matrici, come ad esempio RSU (ricchi in carboidrati) e fanghi di depurazione delle acque (ricchi in sostanze azotate). In generale durante il processo il rapporto C/N diminuisce in seguito alla respirazione microbica che crea una perdita di carbonio sotto forma di CO<sub>2</sub> mentre l'azoto viene riciclato.
- pH: durante il processo subisce delle variazioni legate alle attività microbiche che si verificano. Inizialmente abbiamo un declino del pH per la produzione di acidi organici, successivamente con l'ammonificazione del materiale proteico risale

portandosi a valori alcalini (intorno a 8.5) per poi stabilizzarsi a valori di 7,5-8.

- Conducibilità elettrica: riflette la salinità della matrice ovvero il suo contenuto in sali. Per garantire un buon accrescimento delle colture l'EC del compost secondo diversi autori, non dovrebbe superare i 3-4 mS/cm, questo perché presenta effetti negativi maggiormente nelle fasi giovanili della pianta durante la germinazione (Anpa, 2022).

La possibilità di poter collocare sul mercato il compost, è strettamente correlata alla qualità del compost prodotto, alla quantità e alla qualità della sostanza organica contenuta nello stesso, alla sua maturità e stabilità e al grado di evoluzione della sostanza organica (Caporali, 1991). Per ottenere un compost di buona qualità, è necessario impiegare materiali di partenza idonei ed operare con una corretta tecnica di trattamento.

La qualità dei materiali di partenza è molto importante, in alcuni casi, possono dar luogo a compost contaminati da materiali inerti (plastica, vetro) o con elevato contenuto in sali solubili.

La qualità di un compost, può essere quindi determinata in base alla presenza di:

- materiali inerti (plastica e vetro) compromettono l'immagine di un compost e si accumulano nel suolo;
- metalli pesanti, in particolare modo zinco, cadmio, piombo e rame. I limiti imposti per questi elementi sono dettati non tanto dalla paura di effetti fitotossici dei metalli stessi, effetti che si potrebbero riscontrare a concentrazioni molto superiori a quelle trovate anche nei peggiori compost, quanto alla necessità di preservare i terreni agricoli dall'accumulo eccessivo di tali elementi;
- agenti patogeni per gli animali e le piante. I compost prodotti correttamente sono privi di questi agenti, anzi sono in grado di esercitare un'azione repressiva nei confronti di alcuni fitopatogeni presenti nel suolo.

Inerente sempre la qualità del prodotto finito, si ricorda che per poter essere usato con vantaggio in agricoltura il compost deve trovarsi generalmente in uno stadio avanzato del processo di stabilizzazione o almeno aver completato la fase termofila (raggiungimento di condizioni igienico sanitarie accettabili) e la decomposizione della maggior parte del materiale organico facilmente attaccabile da parte dei microrganismi (Sequi, 1989).

## CICLO DELL'AZOTO

La sfida fondamentale nella gestione dell'azoto in agricoltura è migliorare la produttività per nutrire una popolazione in crescita, riducendo al contempo il trasferimento delle forme reattive dell'azoto agli ecosistemi non bersaglio.

Nella maggior parte dei sistemi agricoli intensivi, le prove sperimentali effettuate mostrano costantemente che meno della metà dell'azoto applicato viene recuperato dalle colture, gran parte viene comunemente perso nell'ambiente con forti effetti sull'efficienza di utilizzo dell'azoto (Cassman et al., 2002). Il miglioramento dell'efficienza con cui l'N viene utilizzato, richiede una profonda comprensione del suo ciclo negli ecosistemi agricoli. I principali processi e trasformazioni che lo coinvolgono sono rappresentati dalla figura 3.

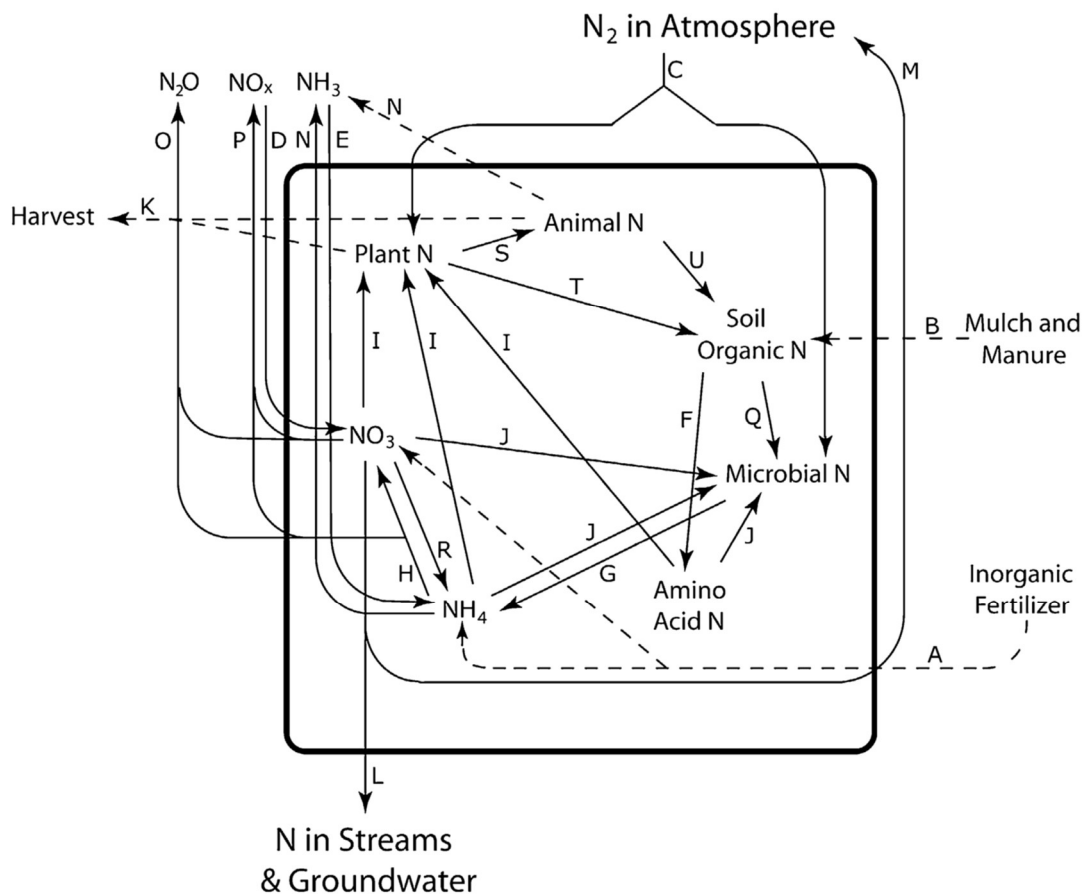


Figura 3 Schematizzazione del ciclo dell'azoto.

## INPUT

L'apporto di azoto nel sistema colturale può avvenire attraverso diverse vie: fertilizzanti (freccia A nella figura), ammendanti organici (B), fissazione dell'azoto atmosferico (C) e deposizione atmosferica (D e E).

I fertilizzanti e gli ammendanti organici input artificiali che possono essere gestiti dall'uomo, i primi sono immediatamente o rapidamente disponibili per l'assorbimento da parte delle piante, mentre i secondi devono essere sottoposti prima alla degradazione da parte dei microrganismi.

La fissazione biologica dell'azoto è effettuata dai microrganismi sia negli agro-ecosistemi che negli ecosistemi naturali. Alcuni di questi microrganismi vivono liberi e traggono energia dalla materia organica, ma la maggior parte dell'azoto viene fissato da microrganismi simbiotici che ottengono energia dalla fotosintesi operata dalla pianta. Un classico esempio applicativo di quest'ultimo caso è rappresentato dalla simbiosi tra leguminose e *Rhizobium*.

## TRASFORMAZIONI

Le trasformazioni chiave che devono essere considerate sono:

- la mineralizzazione (freccia F e G), che porta N da forme organiche insolubili a forme solubili e biologicamente disponibili;
- la nitrificazione (freccia H), che porta l'azoto dalla forma ridotta e meno mobile (ione ammonio) alla forma ossidata e più mobile (ione nitrato). Quest'ultimo è più facilmente assorbito dalle radici, ma viene più facilmente perso negli strati più profondi del suolo per lisciviazione;
- assorbimento da parte della coltura e altre piante (I);
- immobilizzazione da parte dei microrganismi (J), che trattengono l'azoto mobile che altrimenti sarebbe perso nell'ambiente, il quale attraverso una successiva mineralizzazione verrà reso disponibile per la coltura successiva. Questo processo può essere utile in quanto riduce le perdite ma può portare anche a una minor disponibilità di azoto per la coltura.

## OUTPUT

Le maggiori vie di perdita di azoto dei sistemi coltivati sono rappresentate dagli asporti colturali (ovvero dall'N contenuto nei prodotti raccolti) (freccia K), dalla lisciviazione in acque superficiali e sotterranee (L), dalla denitrificazione ad azoto molecolare  $N_2$  (M), dalla volatilizzazione dell'ammoniaca (N), dal flusso di  $N_2O$  e NOX in atmosfera (O e P).

La lisciviazione è tipicamente la via preferenziale di perdita dell'azoto. La forte mobilità dello ione nitrato assicura infatti che esso sia la forma dominante di azoto disciolto in acqua che si muove attraverso i profili del suolo. Se la lisciviazione è al primo posto in termini quantitativi per la perdita di azoto, al secondo posto troviamo la volatilizzazione dell' $NH_3$  la cui perdita avviene maggiormente nel breve periodo successivo alla fertilizzazione in particolare con terreno secco.

La denitrificazione a  $N_2$  rimuove l'azoto biologicamente disponibile dagli ecosistemi agricoli, ma poiché restituisce l'N nell'atmosfera, le conseguenze ambientali sono benigne. Idealmente l'eccesso di N applicato ai sistemi agricoli passerebbe attraverso questo percorso e in effetti la denitrificazione chiudeva il ciclo globale dell'azoto in epoca preindustriale, impedendo quindi all'azoto reattivo di accumularsi nella biosfera. Tale effetto prende il nome di Nitrogen Cascade, ovvero l'effetto che un singolo atomo di azoto in forma reattiva può avere sull'ambiente e sulla salute dell'uomo, inteso come eventi a cascata che si innescano nel tempo (una specie reattiva di N “vive” in media alcuni decenni prima di trasformarsi nuovamente in azoto molecolare) e nello spazio (in quanto presenta un ciclo che avviene a livello globale).

## EFFICIENZA D'USO DELL'AZOTO

Come migliorare la gestione dell'azoto e quindi degli input per ridurre al minimo le molteplici problematiche all'ambiente e alla salute umana causate dalla perdita di N reattivo negli ecosistemi? Rappresenta questa la domanda al centro delle sfide per un razionale uso dell'azoto.

Sebbene l'efficienza d'uso dell'azoto sembri un concetto semplice, in pratica esistono diversi modi per la sua valutazione.

Il metodo più applicato valuta la resa per unità di N fornito, ad esempio nel caso della efficienza agronomica (AE) viene calcolata nel seguente modo:

$$AE = (Y_f - Y_0) / N \text{ rate}$$

dove  $Y_f$  rappresenta la resa nelle aree fertilizzate,  $Y_0$  la resa nelle aree non fertilizzate e  $N \text{ rate}$  è il tasso di azoto impiegato (Ahrens et al., 2009).

Misure alternative valutano invece la NUE considerando la frazione di azoto applicato che viene assorbito dalla coltura o rimossa nei prodotti agricoli (metodo più utilizzato). Esistono due metodi per calcolare la NUE in termini di bilancio dell'azoto (in entrambi i casi la NUE sarà più elevata quando ci sarà una maggiore frazione di fertilizzante aggiunto catturato dalla coltura):

- utilizzo di N aggiuntivo marcato con l'isotopo  $^{15}\text{N}$ , per poi valutare la frazione di  $^{15}\text{N}$  recuperata nel prodotto raccolto;
- studi di bilancio che valutano il rapporto fra azoto contenuto nel prodotto raccolto e azoto fornito alla coltura.

Il primo approccio è particolarmente utile per comprendere il ciclo dell'azoto, permette infatti di differenziare l'azoto fornito (quello marcato) dall'azoto già presente nel terreno.

Il secondo approccio presenta anche sfide interpretative: affinché ci sia una giusta rappresentazione della NUE, l'N aggiunto deve rappresentare la principale fonte di N che entra nel sistema e la quantità di azoto organico nel suolo deve essere vicino allo stato stazionario. Infatti se la SOM cala in modo significativo, la NUE verrà sovrastimata (Cherry et al., 2008).

Indipendentemente dal metodo utilizzato bisogna ricordare però che le misurazioni annuali della NUE, dipendono fortemente dalle condizioni di crescita colturale nell'anno di misurazione.

La quantità di azoto apportata alle colture è spesso sbilanciata rispetto alla quantità rimossa dai prodotti raccolti e la differenza può verificarsi in entrambe le direzioni. Nei paesi poveri infatti viene attuata un'agricoltura di "rapina" in cui sfruttano in modo insostenibile la fertilità presente nel terreno, degradandola progressivamente.

Dall'altra parte invece esistono realtà in cui gli apporti superano di gran lunga le asportazioni colturali lasciando un saldo positivo importante in termini di azoto, la maggior parte del quale viene perso per lisciviazione di nitrati e volatilizzazione dell'ammoniaca (Ju X-N et al., 2009). Quest'ultimo modello tipico dei paesi sviluppati o in rapido sviluppo, implica sostanziali perdite con tutti i costi associati, da qui ci si è posti il problema di come apportare le concimazioni in modo razionale al fine di ridurre i suoi effetti dannosi.

Concettualmente, la più semplice risposta è sincronizzare gli apporti con le richieste biologiche della coltura. Al contrario di quanto avviene in natura, negli ecosistemi agrari annuali, l'assorbimento risulta più concentrato in un breve lasso di tempo, stimato in 8-12 settimane secondo Robertson (1997). Sebbene questi tassi di assorbimento possano raggiungere picchi fino a 2 kg/ha al giorno nel caso del mais, scendono a zero quando la coltura raggiunge la maturità e non risalgono fino alla crescita della coltura successiva.

Di conseguenza, l'azoto che è disponibile durante la stagione di crescita ma non viene assorbito e tutto l'azoto che si rende disponibile al sistema in altri periodi di non coltura (ad esempio quello derivante dalla mineralizzazione della sostanza organica, quello derivante dagli apporti di ammendanti organici in autunno, ecc.), vanno persi. Gran parte della bassa efficienza dei sistemi colturali annuali deriva quindi dalla loro breve stagione di crescita.

#### COME MIGLIORARE LA NUE

Sono stati identificati numerosi approcci per migliorare la NUE in sistemi agricoli come riporta Cherry KA et al. (2008), raggruppabili in quattro opzioni principali per i sistemi di coltivazione annuali: perfezionare la rotazione colturale per aumentare la sua complessità e migliorare la capacità della comunità vegetale di assorbire più N disponibile; fornire agli agricoltori sistemi di supporto alle decisioni (DSS – Decision support system) che consentano loro di prevedere meglio il fabbisogno di azoto delle colture per evitare una fertilizzazione eccessiva e programmare meglio l'irrigazione per evitare di portare l'azoto al di sotto della zona radicale; gestire meglio la tempistica, il posizionamento e la formulazione del fertilizzante azotato nei sistemi di coltivazione per garantire che l'N sia disponibile dove e quando la domanda di azoto della pianta è maggiore; gestire i bacini idrografici per mitigare o reindirizzare le perdite di N a valle dei campi.





## SCOPO DEL LAVORO

Negli ultimi decenni si sta assistendo, come già riportato precedentemente, ad una diminuzione del contenuto di sostanza organica nei terreni a causa di molteplici fattori tra cui l'aumento dell'impiego di concimi minerali, lavorazioni troppo profonde, il cambiamento delle tipologie di allevamento e la difficoltà di reperimento in alcune zone di sostanze organica.

Parallelamente a questo trend invece sta gradualmente incrementando la produzione di compost derivante dalla componente organica della raccolta differenziata, sia per una crescente diffusione del sistema di differenziamento degli scarti, sia per un aumento demografico.

In questo contesto si inserisce tale tesi che vuole valutare l'applicazione di compost in sostituzione parziale o totale delle concimazioni azotate minerali, al fine di migliorare le caratteristiche del suolo, migliorare l'efficienza di utilizzazione degli elementi forniti, senza pregiudicare però le produzioni commerciabili ottenibili, in modo da ottenere una sorta di linee guida per un'effettiva futura applicabilità nel campo orticolo.



## MATERIALI E METODI

La prova sperimentale si è svolta presso l’Azienda Sperimentale Agraria “L. Toniolo” (Università di Padova) ubicata nel comune di Legnaro (PD). L’appezzamento di terreno che ha ospitato la prova è stato suddiviso in parcelle di dimensioni 12 x 8 metri per una superficie unitaria di 96 mq come raffigurato in figura 4.

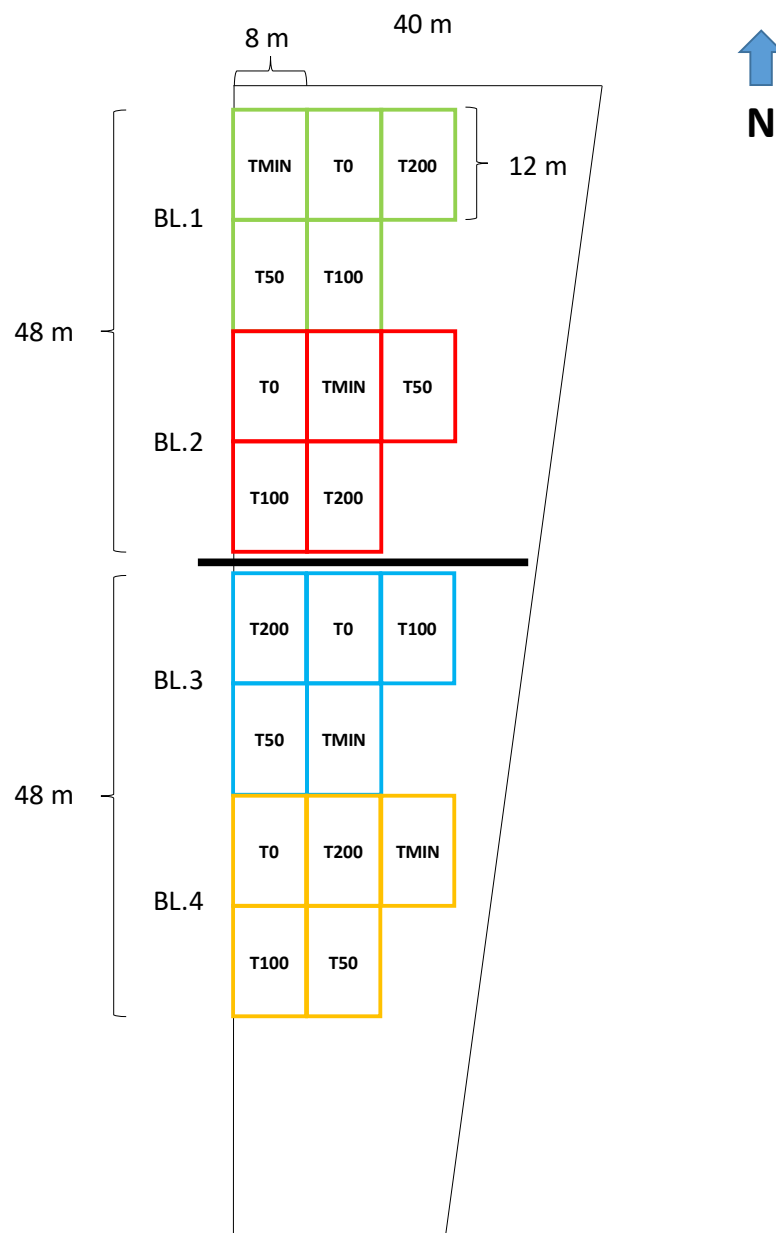


Figura 4 Panoramica dello schema sperimentale utilizzato per la prova.

È stato impiegato uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con quattro ripetizioni.

Come si evince dalla figura 4 le tesi oggetto della prova sono state:

- T0: testimone non trattato;
- TMIN: tesi trattata con concimi minerali, in cui l'intero fabbisogno in azoto è stato apportato in forma minerale;
- T50: tesi in cui il 50% del fabbisogno in azoto è apportato in forma minerale e 50% in forma organica;
- T100: tesi in cui l'intero fabbisogno in azoto è stato apportato in forma organica;
- T200: tesi in cui è stato apportato due volte il fabbisogno in azoto richiesto dalla coltura.

La successione colturale coinvolta nella sperimentazione unitamente alle principali informazioni colturali sono riportate in tabella 1.

*Tabella 1 Elenco delle principali operazioni colturali e delle specie coinvolte nella successione colturale oggetto della prova.*

<b>ANNO</b>	<b>COLTURA</b>	<b>EPOCA TRAPIANTO</b>	<b>EPOCA RACCOLTA</b>
2020	<b>Pomodoro da industria</b>	6 Maggio	5/6 e 17/18 Agosto
	<b>Bietola da costa e cicoria catalogna</b>	28 Agosto	10 Novembre
2021	<b>Cavolo e cavolfiore</b>	2 Aprile	
	<b>Radicchio</b>	12 Agosto	10 - 25 Gennaio

Il compost distribuito sul terreno è stato fornito dall'azienda SESA Spa di Este (PD) con due consegne effettuate in data 13 marzo 2020 e in data 31 marzo 2021. Prima dell'impiego in campo sono state fatte delle analisi di laboratorio riportate di seguito

Lotto 1 (13 marzo 2020)

Tabella 2 Analisi dei principali nutrienti e metalli pesanti.

	N	P	K							
% ps	1.65	0.53	1.98							
	Ca	Fe	Mg	Na	S					
g/kg ps	79,9	8,74	13,2	10,1	18,7					
	Al	As*	B	Ba	Be	Cd*	Co	Cr tot.	Cu	
mg/kg ps	7797	3,59	42,7	132	0,15	0,62	3,34	27,1	94,4	
	Li	Mn	Mo	Ni*	Pb*	Si	Sr	Ti	Zn	Hg*
mg/kg ps	10,9	309	2,19	13,2	31,4	601	293	208	179	< 0,10

\*Il Regolamento fertilizzanti n. 1009/2019 prevede un contenuto massimo di Cd, Cr VI, Hg, Ni, Pb e As pari a: 2 mg/kg ps, 2 mg/kg ps, 1 mg/kg ps, 50 mg/kg ps, 120 mg/kg ps e 40 mg/kg ps rispettivamente.

Lotto 2 (31 marzo 2021)

Tabella 3 Analisi dei principali nutrienti e metalli pesanti.

COMPOST	N totale	C totale	P	K	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
	%	%	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
CAMPIONE 1	1,97	22,82	6223,7	26724,5	0,68	36,43	108,24	38,10	238,99
CAMPIONE 2	1,97	21,75	6828,0	26383,2	0,67	35,89	107,29	36,78	249,25
CAMPIONE 3	2,02	22,67	6069,3	26539,6	0,85	38,56	98,39	37,24	254,41
media	1,99	22,41	6373,67	26549,09	0,74	36,96	104,64	37,37	247,55

# POMODORO DA INDUSTRIA

## 1- OPERAZIONI COLTURALI E RILIEVO

Per quanto riguarda le operazioni colturali si è iniziato con la distribuzione del compost e fertilizzanti minerali, le cui quantità sono state determinate considerando un fabbisogno di 170, 130, 260 kg/ha rispettivamente di N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O (Perelli et al., 2009), in data 4 maggio 2020 e immediatamente interrati.

Al fine di garantire il soddisfacimento di tali fabbisogni nutrizionali vengono di seguito riportati i quantitativi di compost e fertilizzanti minerali impiegati nei diversi trattamenti (Tab. 2). Si ricorda che (ad eccezione del T0 e TMIN) il calcolo per la determinazione della quantità di matrice organica da apportare è stato effettuato in base al suo contenuto di azoto e al rispettivo fabbisogno; per gli altri due macroelementi (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O), nel caso non fossero soddisfatti i fabbisogni con l'apporto di compost, si è proceduto ad un'integrazione con l'utilizzo di fertilizzanti minerali.

Tabella 4 Apporti di fertilizzanti minerali (testo nero) e delle matrici organiche (testo verde) impiegati nelle rispettive tesi.

	<b>TMIN</b>	<b>T0</b>	<b>T50</b>	<b>T100</b>	<b>T200</b>
<i>Matrice organica (t/ha)</i>	/	/	10,75 (85 kg N/ha)	21,25 (170 kg N/ha)	42,5 (340 kg N/ha)
<i>N (kg/ha)</i>	170	/	85	/	/
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha)</i>	130	/	64,4	/	/
<i>K<sub>2</sub>O (kg/ha)</i>	260	/	132	7,1	/

Successivamente alla distribuzione si è proceduto all'immediato interrimento e al trapianto avvenuto in data 6 maggio.

La raccolta è stata effettuata in due momenti:

il primo, avvenuto tra il 5 e il 6 agosto, ha permesso di analizzare la situazione colturale valutando la scalarità di produzione della coltura in relazione ai diversi trattamenti di

concimazione; il secondo, effettuato tra il 17 e il 18 agosto ha permesso di valutare il potenziale produttivo delle tesi a confronto.

Nella prima raccolta si sono valutate quindi le singole componenti ponderali della pianta e dei frutti, raccogliendo 3 piante per ogni parcella e suddividendole in biomassa fogliare e produttiva (dividendo per quest'ultima i frutti in maturi, immaturi e scarto). È stato inoltre determinato l'harvest index (HI) e per ogni campione di biomassa, parte di essa è stata destinata alla determinazione della sostanza secca in stufa ventilata a 65°C e una parte è stata stabilizzata a -20°C al fine di conservarla per le successive analisi qualitative e successivamente liofilizzata.

Effettuato il primo rilievo distruttivo, l'intera prova è stata trattata con Ethrel (2,5 l/Ha), agente maturante impiegato per stimolare la maturazione delle bacche e sincronizzare la loro maturazione per agevolare la successiva raccolta eseguita tra il 17 e 18 agosto. In questo secondo rilievo distruttivo sono state campionate 18 piante per parcella e valutata la sola produzione commerciale simulando quanto avviene con le comuni operazioni di raccolta meccanica e cernita immediata.

## **BIETOLA DA COSTA E CICORIA CATALOGNA**

Successivamente al ciclo del pomodoro da industria si è proceduto alla liberazione dell'appezzamento dall'impianto di irrigazione, alla trinciatura dei residui colturali e al loro interrimento tramite due erpicature eseguite il 26 agosto. Fatto questo il campo è stato risquadrato in modo da ottenere le parcelle fatte nella coltura precedente e conservare quindi la stessa disposizione delle tesi a confronto.

In questo ciclo colturale non sono stati distribuiti fertilizzanti minerali e matrici organiche per sfruttare la fertilità residua presente nel terreno, con lo scopo di utilizzare al meglio i nutrienti presenti e ridurre al minimo le perdite durante il periodo autunno invernale.

Il trapianto è stato effettuato in data 28 agosto sia per quanto riguarda le bietole da costa (tipologia pugliese) sia per la cicoria catalogna (varietà Katrina l'Ortolano) con un sesto d'impianto di 27 x 40 cm per una densità di 9,3 pp/m<sup>2</sup>, seguito poi dalla stesura dell'impianto di irrigazione a manichetta.

Raggiunta la pezzatura commerciale, è iniziata la raccolta (10 novembre), prelevando per ogni parcella 20 piante. Le piante sono state raccolte recidendole a livello del colletto e su queste sono stati effettuati i rilievi: partendo con la determinazione del peso della biomassa totale e il peso dello scarto, per poi procedere con il prelievo di due sub-campioni dal campione originario per destinarli uno all'essiccazione in stufa, l'altro per la conservazione in congelatore per le successive analisi qualitative (come nel caso del pomodoro da industria).

## CAVOLO E CAVOLFIORE

Terminato il ciclo di coltivazione di coste e catalogne, con la consegna del nuovo compost, hanno preso avvio le operazioni di lavorazione del terreno. Si è proceduto quindi ad un'aratura seguita da un'erpicoltura e squadratura del campo per ripristinare le parcelle.

Prima di effettuare la distribuzione in campo del compost (consegnato da SESA Spa il 31 marzo 2021) è stata effettuata un'analisi chimica del suolo e del compost.

Ora conoscendo la composizione del compost e i fabbisogni nutrizionali della coltura, si sono determinati i quantitativi di matrice organica da distribuire nelle diverse tesi, con eventuale integrazione mediante fertilizzanti minerali per quanto riguarda il fosforo e il potassio, al fine di operare con le medesime quantità di macroelementi come fatto in precedenza per il pomodoro da industria.

Tabella 5 Apporti di fertilizzanti minerali (testo nero) e delle matrici organiche (testo verde) impiegati nelle rispettive tesi.

	minerale	T0	T50	T100	T200
<b>Matrice organica (t/ha)</b>	/	/	4,33	8,66	17,32
<b>N (kg/ha)</b>	100	/	50	/	/
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha)</b>	70	/	/	/	/
<b>K<sub>2</sub>O (kg/ha)</b>	160	/	/	/	/

Fatto questo si è proceduto con la loro distribuzione, al loro interrimento e al trapianto avvenuto il 2 aprile 2021.

Il primo rilievo non distruttivo è stato eseguito a trenta giorni dal trapianto in data 6 maggio, con lo scopo di raccogliere i dati sul numero di foglie sviluppate, rilevare il valore di



SPAD, che indica il contenuto di clorofilla nei tessuti fogliari e a sua volta il vigore vegetativo delle plantule.

A distanza di ulteriori trenta giorni dal rilievo precedente è stato fatto un'ulteriore rilevazione non distruttiva (su tutte le varietà sia di cavolo che cavolfiore) in data 3 giugno allo scopo di valutare il potenziale produttivo delle tesi.

Le operazioni di raccolta si sono svolte in due momenti, a maturità commerciale. Hanno permesso di valutare le singole componenti ponderali della pianta.

In particolare, per ogni parcella sono state raccolte 10 piante e suddivise in biomassa fogliare e commerciale, permettendo di definire i rapporti vegeto produttivi della pianta e l'Harvest Index (HI). Infine per ogni campione parte della biomassa è stata destinata alla determinazione della sostanza secca mediante stufa ventilata a 65°C e parte è stata stabilizzata a -20°C per conservarla per le successive analisi qualitative.

Quanto illustrato sulle operazioni di raccolta è stato valido per le due varietà di cavolo (Caramba e Alfaro), mentre per le varietà di cavolfiore non è stato possibile ottenere prodotto commerciale su cui effettuare i rilievi quantitativi e qualitativi in seguito alle condizioni meteo anomale che hanno determinato un anticipo della fioritura.

## RADICCHIO

Successivamente al ciclo colturale dei cavoli e cavolfiori, si è proceduto alla trinciatura e interrimento dei residui colturali (13-23 luglio 2021) e si è risquadrato l'appezzamento con il ripristino delle parcelle.

Tabella 6 Apporti di fertilizzanti minerali (testo nero) e delle matrici organiche (testo verde) impiegati nelle rispettive tesi.

	minerale	T0	T50	T100	T200
<b>Matrice organica (t/ha)</b>	/	/	3.03	6.06	12.12
<b>N (kg/ha)</b>	70	/	35	/	/
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha)</b>	60	/	/	/	/
<b>K<sub>2</sub>O (kg/ha)</b>	110	/	/	/	/

Il trapianto si è svolto in data 12 agosto e ha riguardato quattro tipologie:

- radicchio variegato di Castelfranco,
- radicchio di Chioggia

- radicchio di Verona
- radicchio rosso di Treviso precoce.

Con un sesto di impianto di 30x50 cm per una densità pari a 6,7 piante/mq.

La raccolta ha preso avvio il 10 gennaio una volta che le diverse varietà hanno raggiunto la maturazione commerciale. Le piante sono state raccolte al centro di ogni parcella, recidendole a livello del colletto e sono state utilizzate in prima battuta per le analisi di tipo quantitativo determinando il peso della biomassa totale e scarto valutando quindi i rapporti vegeto-produttivi; in seguito, da ciascun campione, sono stati prelevati tre sub campioni: uno da destinare all'essiccazione in stufa a 65°C per la determinazione del peso secco, gli altri due campioni sono stati conservati a -20°C per le successive analisi qualitative di laboratorio.

Terminata la raccolta dei radicchi si è proceduto ad un ultimo campionamento del suolo.

## ANALISI DEL SUOLO

Durante i due anni di sperimentazione sono stati effettuati campionamenti a più riprese al fine di valutare le dinamiche instauratesi con l'impiego di compost o meno nelle diverse tesi a confronto. I campionamenti sono stati eseguiti a due intervalli di profondità il primo superficiale nello strato 0-20 cm ovvero nello strato maggiormente interessato dallo sviluppo radicale, ed un secondo nello strato 20-40 cm per valutare anche le eventuali perdite di elementi nutritivi.

Per procedere con il campionamento, si è inizialmente eliminato i residui colturali presenti in superficie per poi effettuare dei carotaggi mediante un'apposita trivella, alla profondità desiderata.

Dopo la raccolta i campioni sono stati lasciati ad asciugare naturalmente in un ambiente arieggiato. Passato un mese circa i campioni sono stati pestati con un mortaio e un pestello e setacciati con una maglia di 2 millimetri ottenendo dei campioni pronti per le analisi di laboratorio.

## ANALISI QUALITATIVE

### 1 pH e conducibilità elettrica:

Le analisi sulla conducibilità elettrica e il pH sono state eseguite sul succo del campione scongelato tramite un pHmetro conduttivimetro portatile, modello HI 255 Hanna Instruments.

### 2 Contenuto di solidi solubili:

una goccia di succo del campione scongelato è servita per la determinazione del contenuto di solidi solubili (°Brix), che è stata effettuata tramite rifrattometro portatile digitale HI 96801 Hanna Instruments, uno strumento che utilizza la misura dell'indice di rifrazione per determinare il contenuto zuccherino (°Brix).

### 3 Acidità titolabile:

tale analisi esprime la quantità di acidi liberi e salificati nella soluzione in analisi, è stata determinata secondo il metodo standard ISO 750:1998 (E), che prevede il prelievo di un volume noto di succo cellulare (10 mL) ai quali vengono aggiunti 40 mL di acqua demineralizzata. Servendosi del titolatore automatico Titrex Act STEROGLOSS s.r.l, si è proceduto ad eseguire la titolazione del campione. Si sono quindi annotati i mL di soda 0,1N che sono serviti a raggiungere il valore soglia di pH a 8,2 della soluzione composta dal campione più l'acido (NaOH). Quindi si è definita l'acidità titolabile in grammi di acido citrico per 100 g di prodotto fresco, tramite la seguente formula.

$$Z = V * N * mEqwt * 100 / Y$$

dove:

Z= g di acido per 100 g di campione

V= volume in mL di NaOH (idrossido di sodio) usato per la titolazione

N= normalità di NaOH (0,4 g/l)

mEqwt = milliequivalenti di acido (0,064 ac.citrico)

Y= volume in mL di campione

4 Colore: è stato valutato con il colorimetro ottico Minolta CR-300, secondo il metodo Hunter Lab, a partire dai valori di L che indica la luminosità del campione e varia dal nero (zero) al bianco (100), a che indica il colore del campione nell'intervallo tra il verde e il rosso e b nell'intervallo tra il blu e il giallo.

5 Capacità antiossidante totale (CAT) e fenoli totali (FT): La determinazione della capacità antiossidante totale (CAT) e dei fenoli totali ha previsto per entrambi la pesata di 0.5 di campione liofilizzato al quale sono stati aggiunti 20 mL di metanolo ad alto grado di purezza; il campione è stato omogeneizzato per 30'' con l'ausilio dell'Ultra Turrax a velocità di 17000 rpm e quindi filtrato con carta da filtro (589 Schleicher).

La CAT è stata determinata con il metodo FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma). Il reagente FRAP (soluzione 1 mM di 2,4,6-tripiridil-2 triazina [TPTZ], 2 mM di cloruro ferrico e 250 mM di acetato di sodio a pH 3.6) è stato preparato giornalmente a partire da soluzioni madre di 300 mM di buffer acetato, 12 mM di TPTZ (in acido cloridrico 48 mM) e 24 mM di cloruro ferrico in rapporto 10:1:1. A 100 µL di estratto sono stati aggiunti 1900 µL di reagente FRAP e si è omogeneizzato con l'ausilio di un vortex; dopo 4' a 20° C'è stata letta l'assorbanza a 593 nm (Shimadzu UV-1800 Minolta Chroma meter). La lettura è stata confrontata con una curva di calibrazione costituita da soluzioni di solfato di ammonio ferroso con concentrazione da 0 a 1200 µg mL<sup>-1</sup> di ione ferroso. La CAT è stata espressa come mg di Fe<sup>2+</sup> equivalenti (Fe<sup>2+</sup>E) per kg di campione fresco o secco.

Per la determinazione dei fenoli totali, invece, si sono prelevati 200 µL dell'estratto, sono stati aggiunti 1000 µL di reattivo Folin-Ciocalteu, 800 µL di carbonato di sodio anidro al 7.5% e, al fine di diluire la soluzione, sono stati aggiunti 2000 µL di acqua demineralizzata. Si è proceduto con 15'' di agitazione e successivo riposo per 30' a temperatura ambiente prima di leggere allo spettrofotometro ad una lunghezza d'onda di 765 nm. L'assorbanza è stata confrontata con quella letta da soluzioni a concentrazione nota di acido gallico (da 0 a 600 µg mL<sup>-1</sup>) le quali hanno subito lo stesso procedimento dei campioni. Il contenuto totale

di fenoli è stato espresso come mg di acido gallico equivalenti (GAE) per kg di campione fresco o secco.

#### 6 Profilo minerale dei campioni e dotazione di azoto organico:

La prima analisi è effettuata mediante cromatografia ionica (I.C.). In questa operazione sono stati pesati 200 mg di campione disidratato a 65°C ai quali sono stati aggiunti 50 mL di acqua demineralizzata. È stata eseguita un'agitazione su piastra rotante per 20 minuti a 150 rpm e successivamente, con aiuto di imbuto e carta da filtro (589 Schleicher diametro 125 mm), è stato filtrato il campione. Il filtrato ottenuto è stato nuovamente filtrato con filtri per siringa in acetato di cellulosa da 20 µm ed iniettato nel cromatografo. Per l'analisi degli anioni è stata utilizzata una colonna Ion Pac AS23 con dimensioni 4x250 mm mentre per l'analisi dei cationi è stata utilizzata una colonna Ion Pac CS12A con dimensioni 4x250mm, entrambe a temperatura ambiente. La corsa cromatografica è stata eseguita ad una velocità di flusso pari a 1 mL/min. L'eluente utilizzato è costituito da sodio carbonato 4.5 mM, sodio bicarbonato 0.8 mM per l'analisi degli anioni e da acido metensolfonico 20 mM per l'analisi dei cationi. La velocità di flusso utilizzata è 1 mL/min.

L'identificazione degli composti nella miscela in esame è avvenuta mediante il confronto dei tempi di ritenzione con i composti standard. Per l'analisi degli anioni è stata utilizzata una miscela costituita da fluoruri, cloruri, nitriti, bromuri, nitrati, fosfati, e solfati mentre per l'analisi dei cationi è stata utilizzata una miscela costituita da litio, sodio, ammonio, potassio, magnesio e calcio. L'analisi quantitativa è stata eseguita mediante curva di calibrazione creata in seguito a diluizioni seriali delle soluzioni madre. Infine, sempre in laboratorio, verrà determinato il contenuto di azoto con il metodo Kjeldahl su 700 mg di campione disidratato a 65°C.

In questo elaborato al fine di valutare l'efficienza di utilizzo dell'azoto, sono stati impiegati i seguenti metodi di calcolo in accordo con Fageria et al. (2009):

- Efficienza agronomica: definita come la produzione commerciale ottenibili per unità di nutriente applicato.  $AE (mg/mg) = (Gf-Gu)/Na$

dove Gf rappresenta la resa della parcella fertilizzata, Gu di quella non fertilizzata e Na rappresenta la quantità di nutriente apportato;

- Efficienza fisiologica: definita come la resa in biomassa ottenuta per unità di fertilizzante apportato.  $PE (mg/mg) = (BYf-BYu) / (Nf-Nu)$

dove Byf e Byu rappresentano le rese in biomassa rispettivamente del trattamento fertilizzato e del testimone non trattato mentre Nf e Nu rappresentano il quantitativo di nutrienti assorbito nella biomassa del trattamento concimato e in quello non concimato;

- Efficienza agrofisiologica: rappresenta la resa commerciale ottenuta per unità di nutriente assorbito.  $APE (mg/mg) = (Gf-Gu) / (Nuf-Nuu)$

dove Nuf e Nuu rappresentano rispettivamente la quantità di nutrienti assorbiti dalla biomassa del trattamento fertilizzato e del non fertilizzato;

- Apparent recovery efficiency: definita come la quantità di nutriente assorbita per unità di nutriente apportato.  $ARE (\%) = (Nf-Nu/Na) * 100$

dove Na è la quantità di nutriente applicato;

- Efficienza di utilizzazione:  $EU(mg/mg) = PE * ARE$

## ANDAMENTO METEOROLOGICO

### POMODORO DA INDUSTRIA

I parametri ambientali nei quali si è svolta la prova sono stati registrati dalla stazione meteorologica installata in prossimità del campo sperimentale (in particolare, dalla stazione Legnaro n° 111 (45°20'50,525 °N – 11°57'7,772" °E) dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) - Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio, Servizio Meteorologico per tutta la durata del ciclo produttivo). Sono state rilevate le precipitazioni (mm) e le temperature (°C) minime e massime (Fig. 5). Si riporta una piovosità complessiva dell'intero ciclo colturale pari a 248 mm manifestando una sufficiente frequenza degli eventi piovosi che, in alcuni casi (10 giugno e 30 luglio) hanno superato i 50 e i 30 mm rispettivamente. Date in cui si è assistito ad un calo termico, in particolar modo una grandinata ha interessato il 10 giugno.

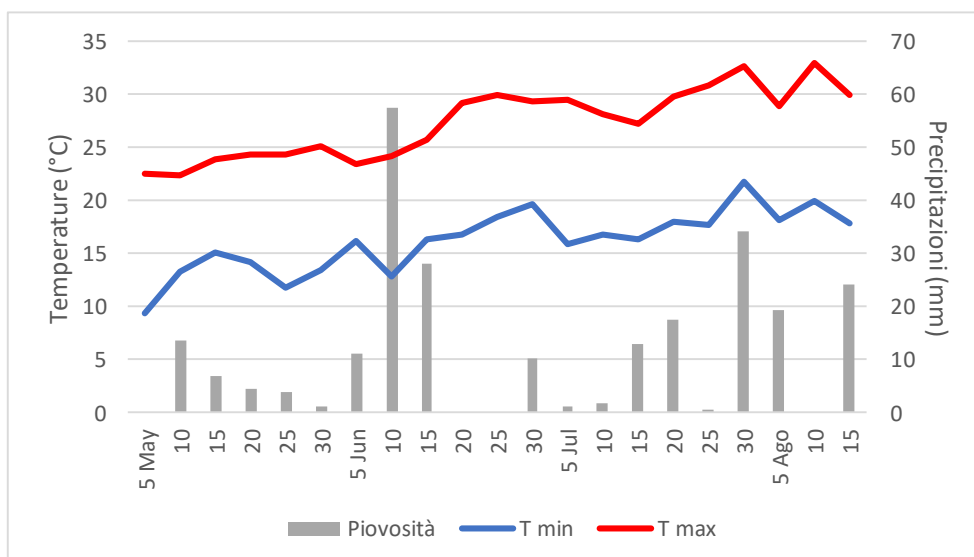


Figura 5 Andamento metereologico nel corso del ciclo culturale di pomodoro da industria.

## BIETA DA COSTA E CICORIA CATALOGNA

I valori termici rilevati si sono attestati al di sopra della media stagionale di circa 1 °C nei mesi di agosto e settembre e simili nel mese di ottobre e novembre rispetto ai valori registrati negli ultimi 25 anni. Per quanto riguarda le precipitazioni, l'annata in corso è risultata scarsamente piovosa nel corso del ciclo culturale (dal 26 agosto al 10 novembre). In particolare le precipitazioni cumulate dal trapianto alla raccolta sono state pari a 133,6 mm, valore inferiore rispetto alla media dello stesso periodo registrata negli ultimi 25 anni che si afferma a circa 260,3 mm (Fig.6).

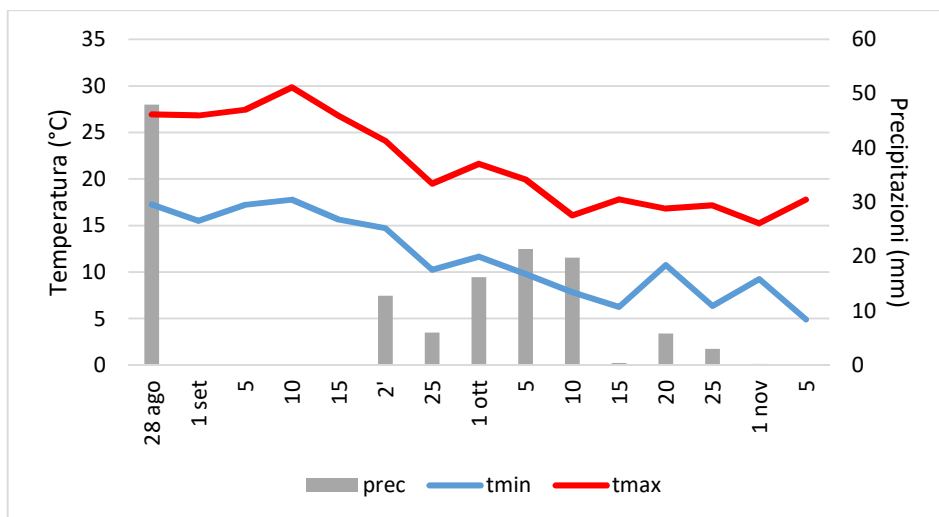


Figura 6 Andamento meteorologico nel corso del ciclo culturale di bieta da costa e cicoria catalogna.

## CAVOLO E CAVOLFIORE

Si è riscontrato in prossimità dell'inizio di aprile, ovvero in prossimità dell'inizio del ciclo culturale, un abbassamento termico. In questi contesti, soprattutto i valori minimi hanno manifestato una riduzione significativa determinata da perturbazioni anche di forte intensità. A questo proposito si sottolinea la significativa piovosità che si è protratta anche per il successivo mese di maggio, conseguendo la prefioritura del cavolfiore, e quindi la mancata produzione commerciale (Fig.7).

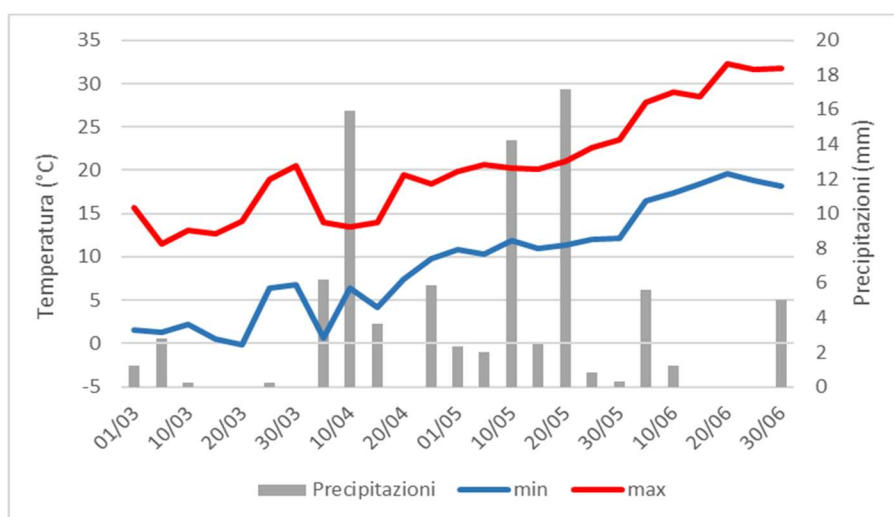


Figura 7 Andamento meteorologico nel corso del ciclo culturale di cavolo e cavolfiore.



## RADICCHIO

Nell'ambito dei valori termici si è osservato (Fig.8) il naturale decremento delle temperature minime e massime, soprattutto nella seconda metà del mese di ottobre, e negli ultimi giorni del mese di novembre. Le precipitazioni, discontinue, tuttavia hanno evidenziato fenomeni alla fine di agosto, a 10-15 giorni dal trapianto, che hanno favorito anche la riduzione di irrigazione artificiale e un migliore attecchimento delle piantine e successivamente attorno al 10 ottobre e al 1 novembre con oltre 18 mm di pioggia.

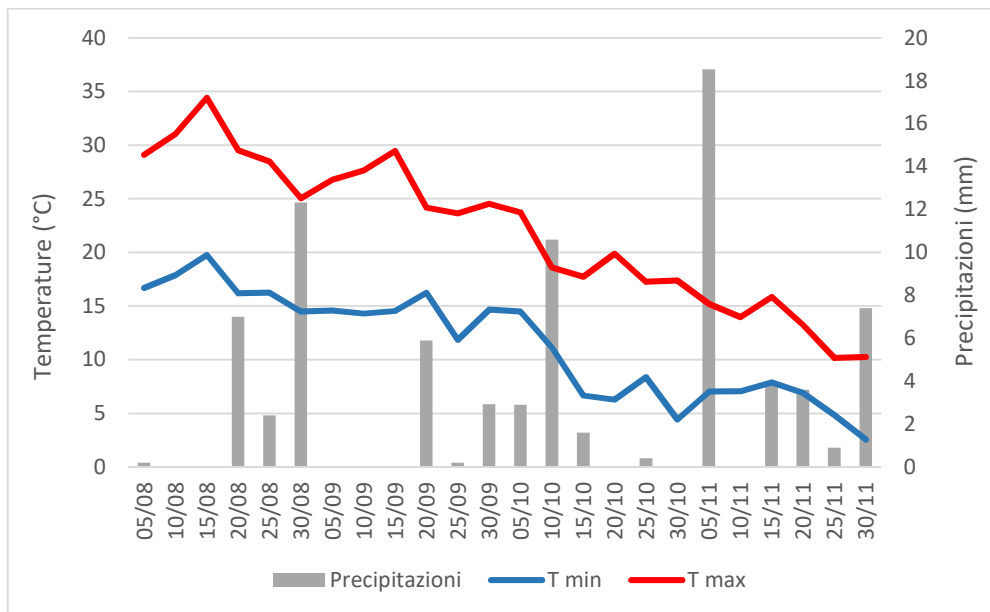


Figura 8 Andamento meteorologico nel corso del ciclo colturale di radicchio.

I dati ricavati dai rilievi e dalle analisi di laboratorio sono stati elaborati statisticamente attraverso l'analisi della varianza ANOVA mediante l'impiego del software Statgraphics 19 centurio e le medie sono state separate attraverso il test HSD di Tukey con  $P < 0,05$ .



## RISULTATI

### POMODORO DA INDUSTRIA

Riguardo le dinamiche di assorbimento ed efficienza d'uso dell'azoto siamo partiti dall'analisi del contenuto di azoto. La concentrazione di azoto sul peso secco della biomassa fogliare è risultato statisticamente maggiore in T50 seguito da TMIN rispettivamente con 2,4% e 2,2%, seguiti poi dagli altri trattamenti con valori intorno al 2%. Analogamente nel caso dei frutti, i valori più alti in termini di azoto, si sono riscontrati in TMIN e T50 (3,3%).

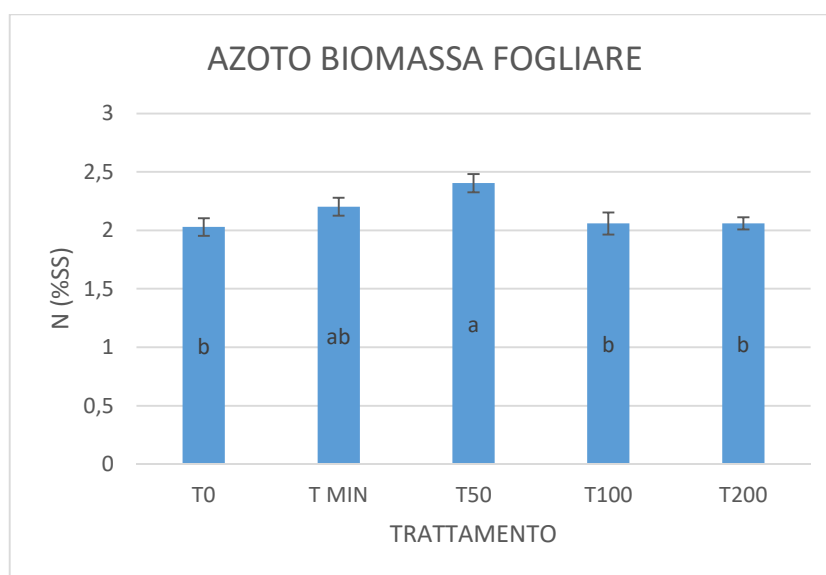


Figura 9 Effetto del trattamento di concimazione sulla percentuale di azoto nella biomassa fogliare di pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0.05$  secondo il Test HSD di Tukey.

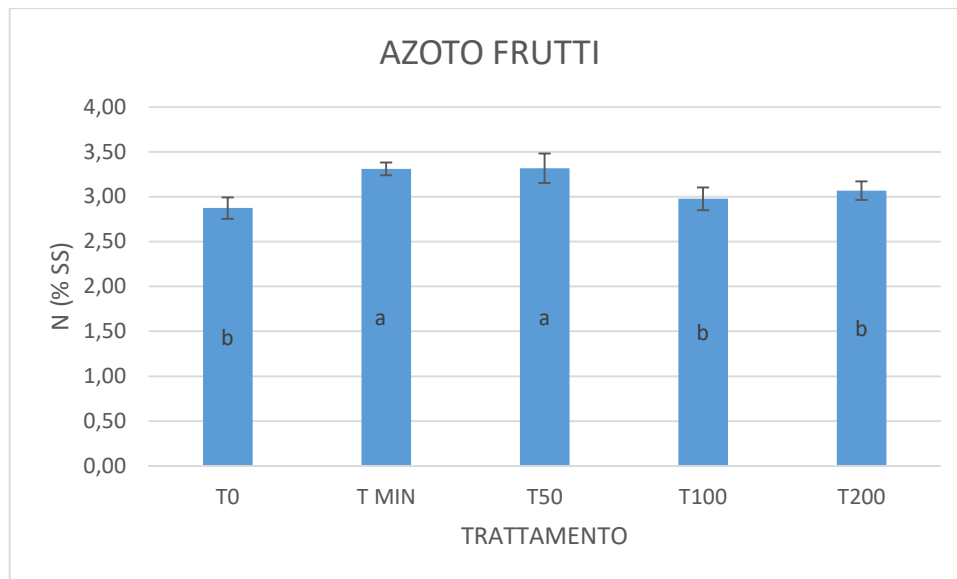


Figura 10 Effetto del trattamento di concimazione sulla percentuale di azoto nei frutti di pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

Successivamente è stato possibile determinare il quantitativo di azoto assorbito (N uptake) da ciascuna componente ponderale della pianta. L'azoto contenuto nei frutti è stato valutato in entrambi i rilievi e non sono emerse particolari differenze tra i due rilievi. Nel primo rilievo, TMIN, T100 e T200 hanno dato valori più alti di circa 100 kg/ha, mentre nel rilievo a fine ciclo T100 è risultato leggermente inferiore agli altri trattamenti mentre T50 ha performato come TMIN e T200.

Per quanto riguarda i frutti di scarto, i quantitativi assorbiti risultano essere modesti, maggiori in T0 con circa 10 kg/ha, seguito poi da TMIN, T50 e T200, e infine T100 che ha presentato il valore minimo.

Analizzando il contenuto nei frutti immaturi risultati maggiori di assorbimento si sono osservati in T200 (160kg/ha) dovuto presumibilmente al fatto che la maggior quantità di azoto fornita in questa tesi ha portato ad un allungamento del ciclo colturale con un aumento della quota di frutti immaturi.

In relazione alla biomassa totale, l'assorbimento più elevato si è osservato in T200 con 448 unità seguito poi da TMIN e T50 (con valori di 419 e 408 kg/ha rispettivamente).

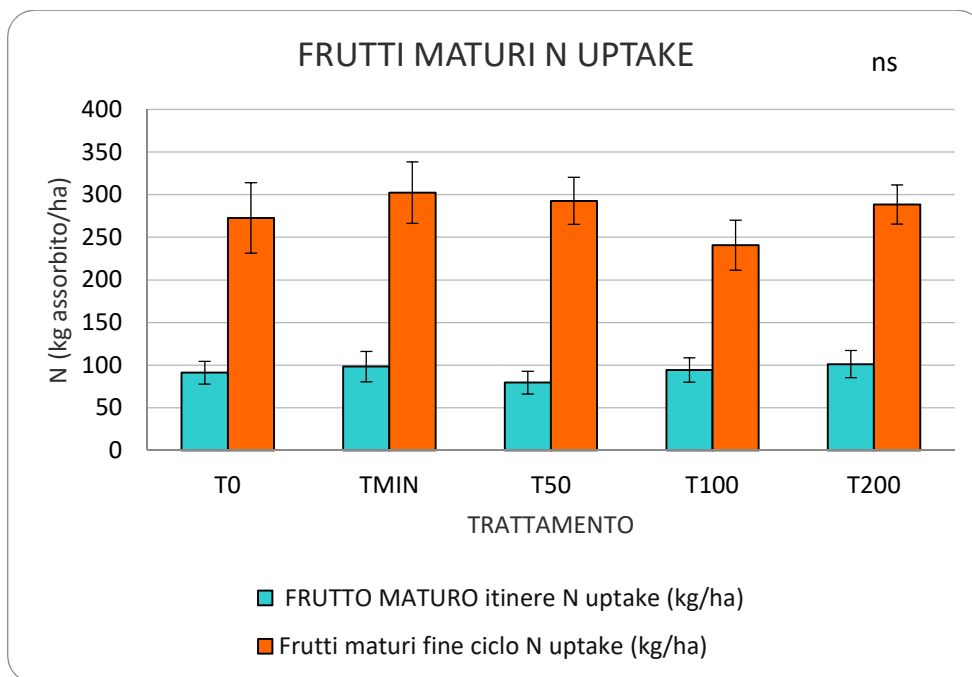


Figura 11 Effetto del trattamento di concimazione sul quantitativo di azoto assorbito dai frutti maturi di pomodoro da industria in corrispondenza del rilievo in itinere e della raccolta finale. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente

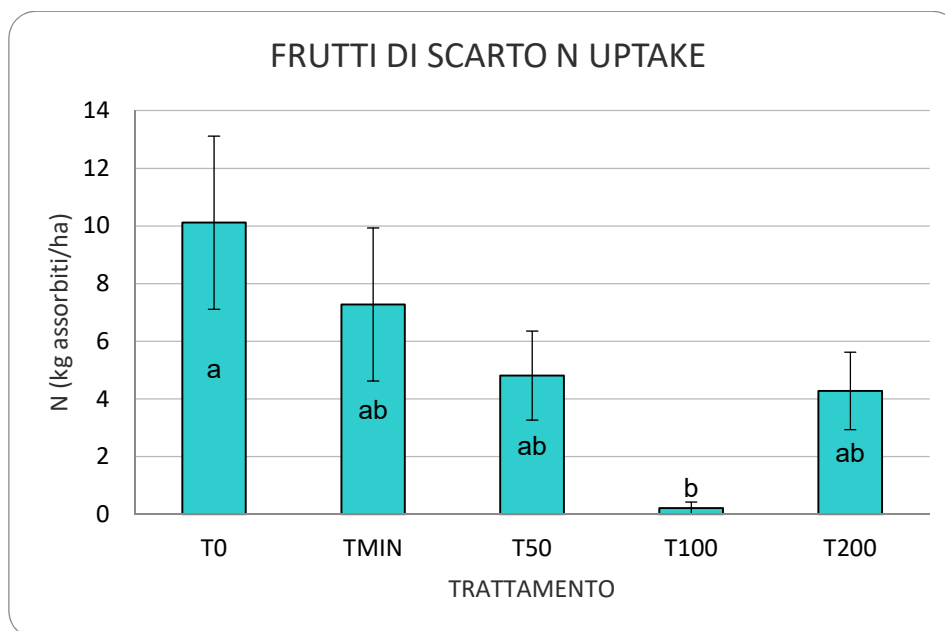


Figura 12 Effetto del trattamento di concimazione sul quantitativo di azoto assorbito dai frutti di scarto in pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

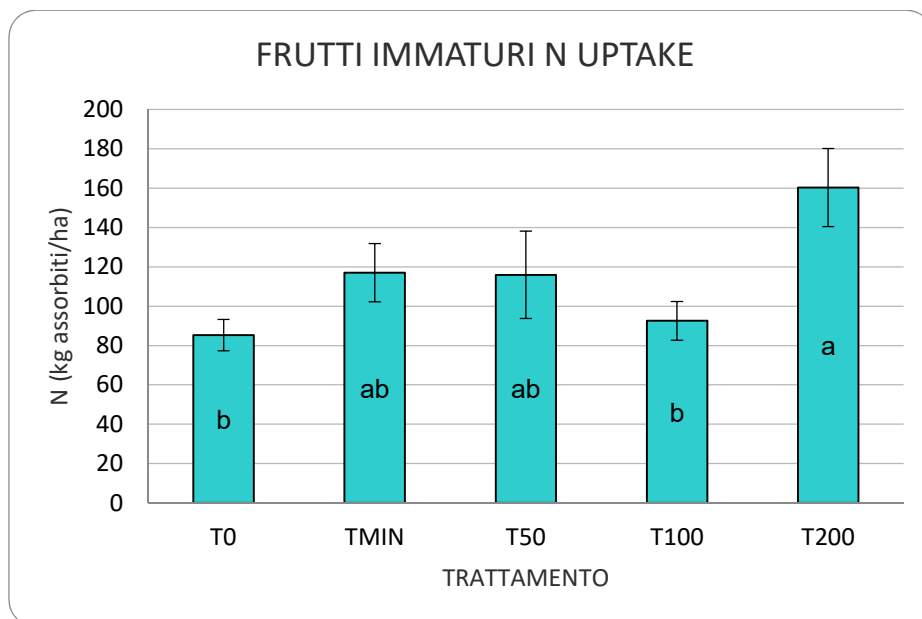


Figura 13 Effetto del trattamento di concimazione sul quantitativo di azoto assorbito dai frutti immaturi in pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

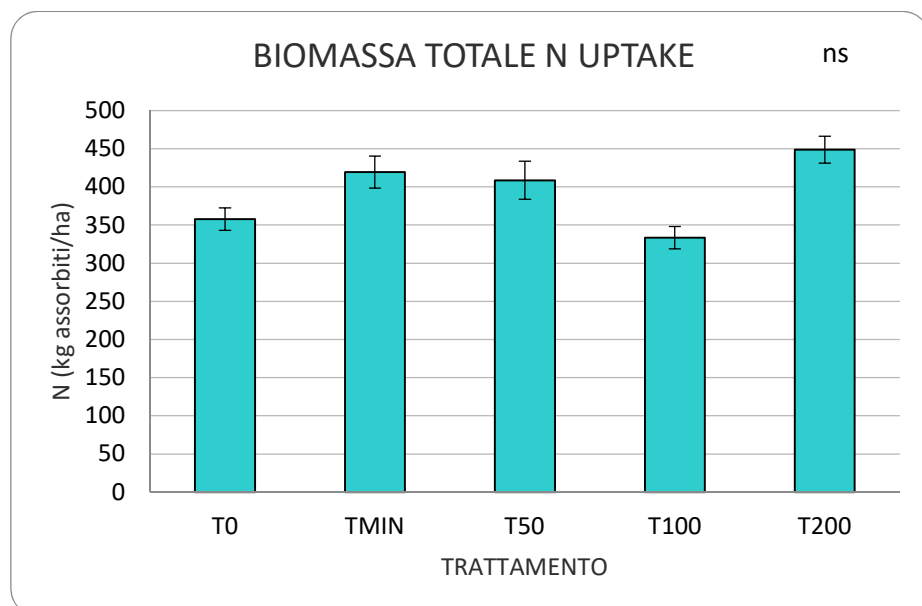


Figura 14 Effetto del trattamento di concimazione sul quantitativo di azoto assorbito dalla biomassa totale in pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey

Determinato l'assorbimento delle singole parti della pianta, si è proceduto con il calcolo degli indici di efficienza dell'azoto.

L'efficienza agronomica è stata valutata come fatto in precedenza in due fasi ovvero in relazione ai dati ottenuti nei due rilievi effettuati. Dal grafico successivo si può vedere come nel primo rilievo l'efficienza agronomica era negativa per TMIN e T50 contrariamente a quanto si osserva per il T100 e T200. Nel secondo rilievo invece i valori più alti si sono osservati in TMIN, T200 e T50. Bisogna comunque dire che le differenze non risultavano significative. I risultati presentavano un'elevata variabilità legata al terreno su cui è stata condotta la prova, in questa fase iniziale infatti le parcelle non sono ancora a regime e risentono quindi della fertilità residua del terreno.

Riguardo l'efficienza fisiologica il valore più alto si è osservato in TMIN con 419 kg per kg di azoto fornito, seguito da T50, T100 e T200 con differenze non significative.

L'Apparent Recovery Efficiency, anch'essa non mostrando differenze significative, è risultata negativa solo per T100 contrariamente alle altre tesi che hanno riportato valori tra il 30 e il 55%

Infine l'efficienza d'uso complessiva dell'azoto per questo primo ciclo colturale è stata maggiore per T200 con quasi 300 unità di azoto per ettaro, seguito da TMIN e T50, l'unico trattamento risultato negativo è stato T100 seppur con differenze non significative.

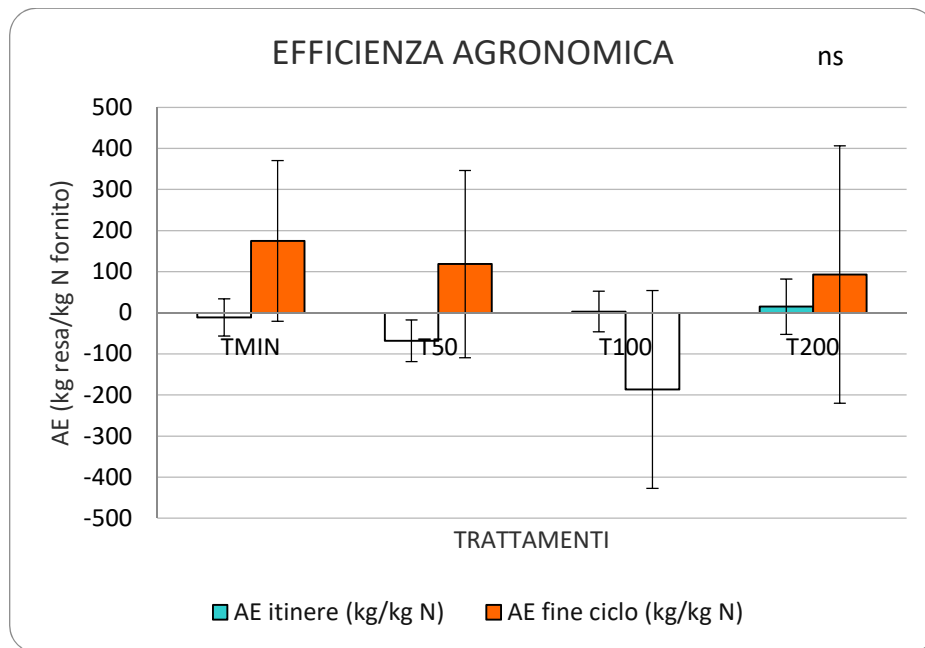


Figura 15 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza agronomica calcolata in corrispondenza del rilievo in itinere e della raccolta finale in pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,0$

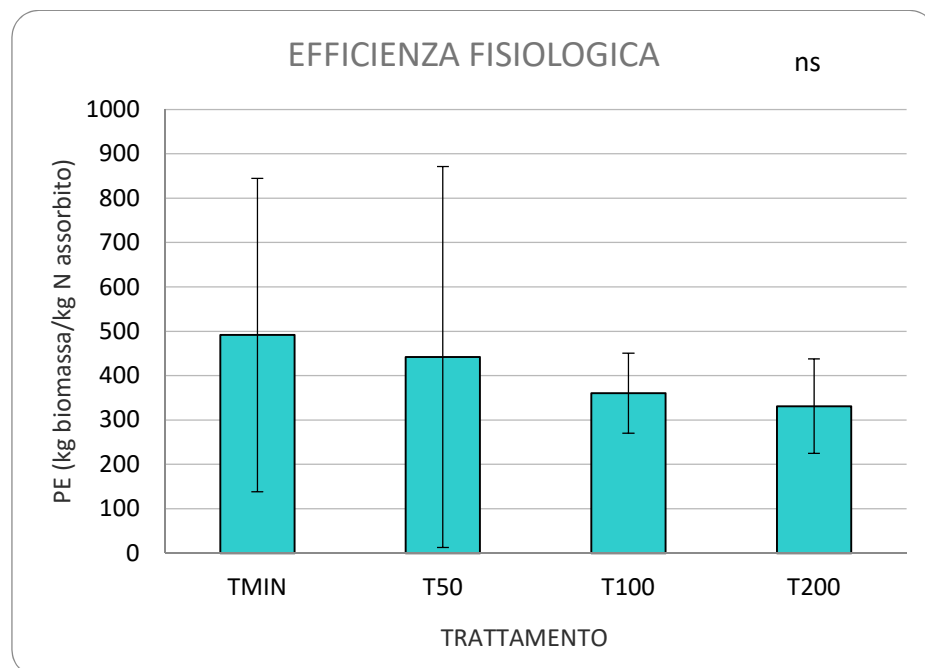


Figura 16 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza fisiologica in pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.



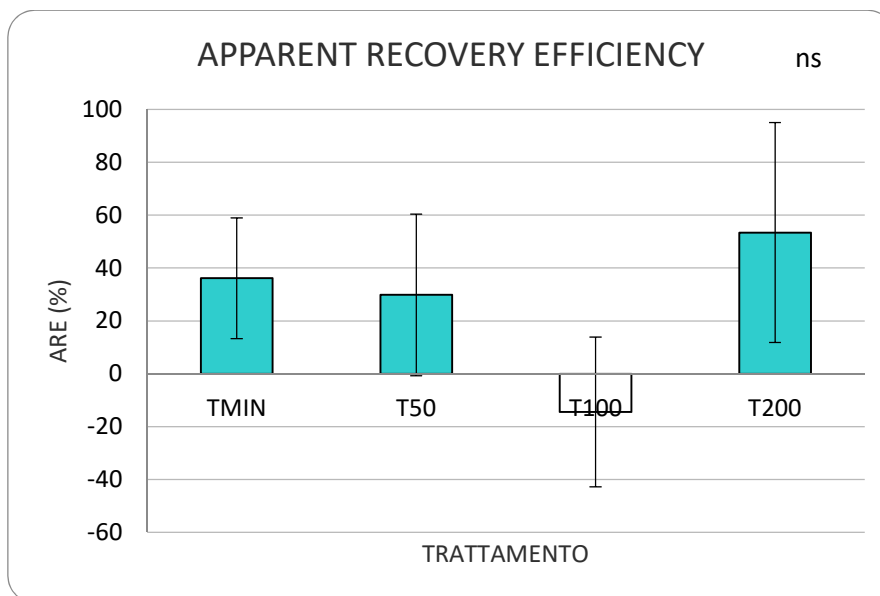


Figura 17 Effetto del trattamento di concimazione sull'Apparent Recovery Efficiency in pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

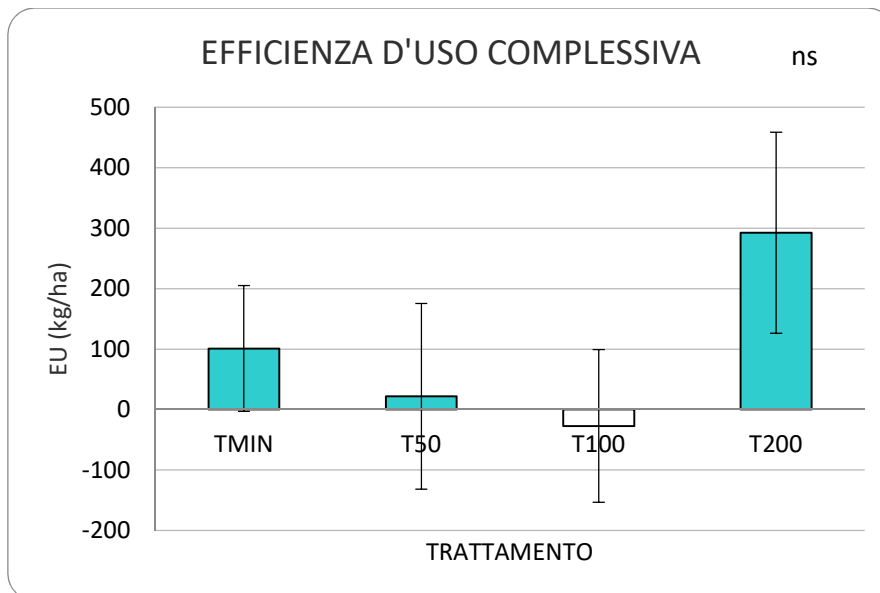


Figura 18 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza d'uso dell'azoto complessiva in pomodoro da industria. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

## BIETOLA DA COSTA E CICORIA CATALOGNA

Essendo stata effettuata la seconda prova di coltivazione sfruttando la fertilità residua del terreno a seguito della prova con diverse concimazioni su pomodoro, si è andati a valutare i suoi effetti sulla coltivazione successiva di bietole da costa e cicoria catalogna.

### **BIETA DA COSTA**

Partendo sempre dal contenuto di azoto delle diverse componenti della pianta, l'azoto espresso su peso secco è risultato stabile in tutti i trattamenti con valori attorno al 3,7%

Questi dati ci hanno consentito di valutare il quantitativo di azoto assorbito dalla coltura nei diversi trattamenti. Anche se non sono emerse differenze significative, TMIN è stato il trattamento che ha portato al maggiore assorbimento con oltre 180 kg/ha ripartiti in 160 kg/ha di biomassa commerciale e 20 kg/ha di scarto, risultati simili hanno riguardato anche T50 e T200, mentre T100 e T0 ha riportato risultati inferiori. Si ricorda che in questo ciclo colturale è stata sfruttata la fertilità residua del terreno da qui possiamo capire le ingenti perdite di azoto che possono verificarsi in periodo autunno invernale dove la piovosità risulta maggiore.

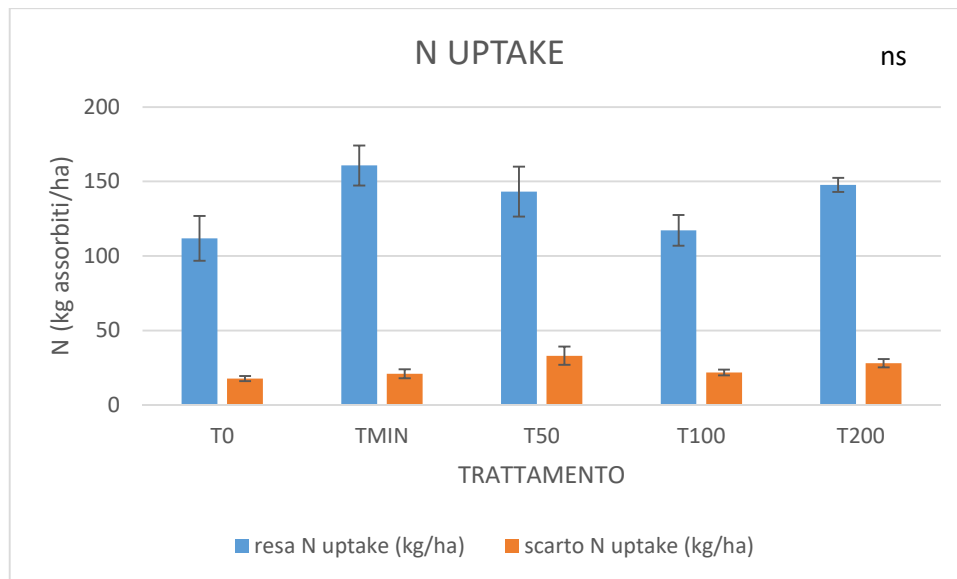


Figura 19 Effetto della fertilità residua del suolo sul quantitativo di azoto assorbito dalla coltura nella biomassa commerciale e di scarto in bietola da costa. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per P

L'efficienza agronomica, a differenza di quanto osservato in pomodoro, è sempre risultata positiva. TMIN e T200 hanno mostrato risultati più elevati in termini di efficienza agronomica arrivando a valori vicini a 90 kg di prodotto commerciale per kg di azoto fornito, differenziandosi statisticamente da T100 ha mostrato i valori più bassi.

L'efficienza fisiologica, anch'essa risultata sempre positiva, non ha evidenziato differenze significative, seppur le tesi T200 e T50 hanno riportato valori più elevati prossimi a 450 kg di biomassa per kg di azoto assorbito.

L'Apparent Recovery Efficiency ha mostrato le migliori performance in TMIN, T50 e T200 (con valori compresi tra 27,2 e 30,6%). differenziandosi statisticamente da T100 che ha mostrato un ARE decisamente inferiore prossima al 5%.

L'efficienza d'uso dell'azoto non ha presentato differenze significative, seppur le tesi TMIN, T50 e T200 hanno riportato valori più elevati pari a 107, 102 e 137 kg/ha rispettivamente.

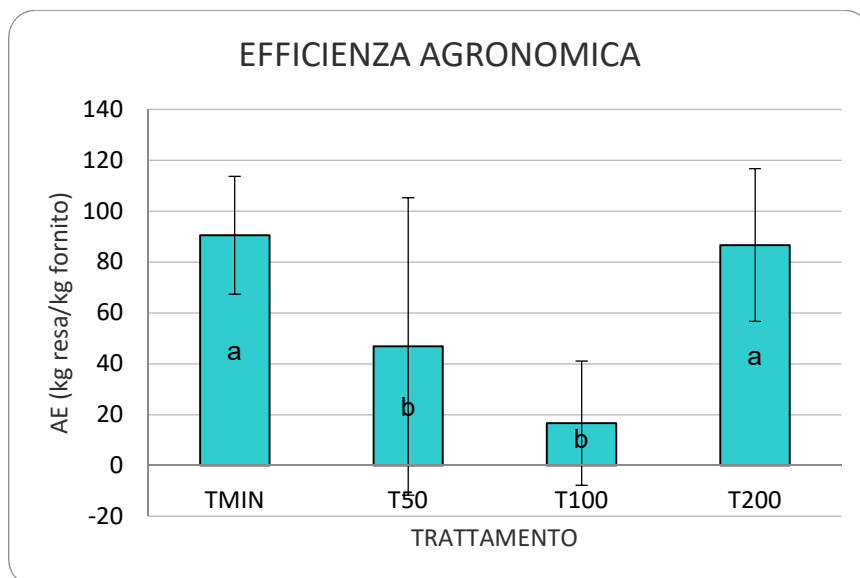


Figura 20 Effetto della fertilità residua del suolo sull'efficienza agronomica dell'azoto fornito in bietola da costa. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

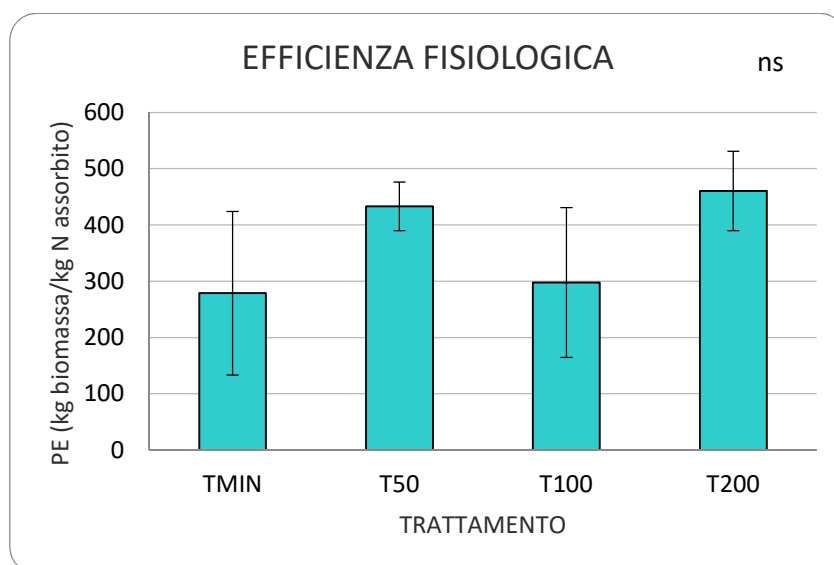


Figura 21 Effetto della fertilità residua del suolo sull'efficienza fisiologica dell'azoto fornito in bietola da costa. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

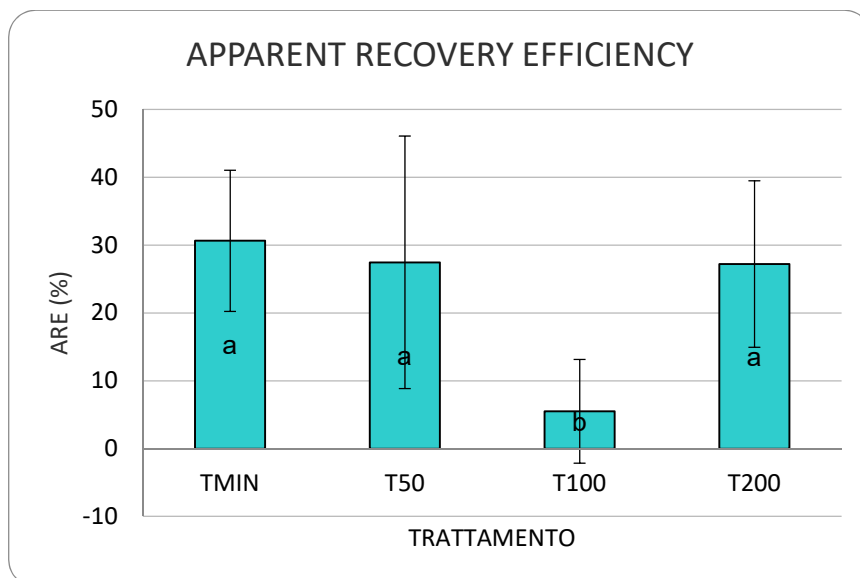


Figura 22 Effetto della fertilità residua del suolo sull'Apparent Recovery Efficiency dell'azoto fornito in bietola da costa. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey

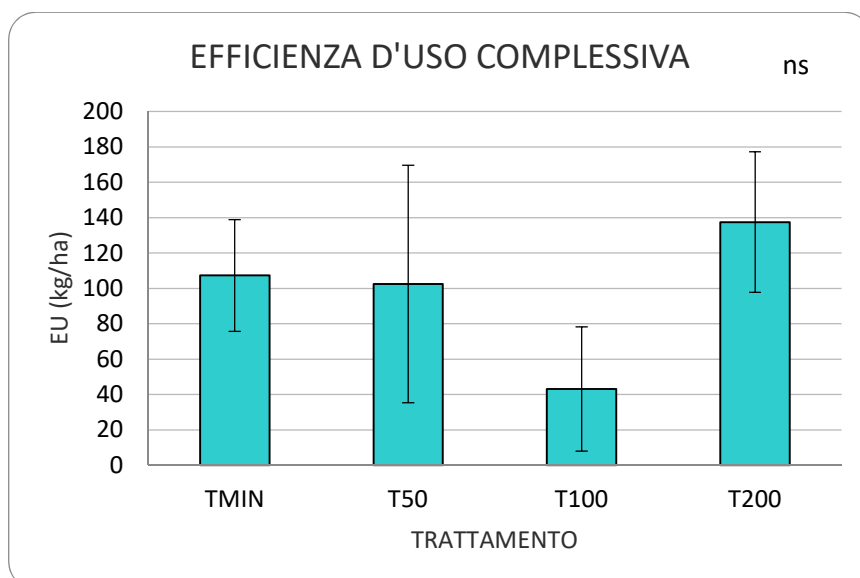


Figura 23 Effetto della fertilità residua del suolo sull'efficienza d'uso dell'azoto fornito in bietola da costa. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

## CICORIA CATALOGNA

Nei diversi trattamenti, la percentuale dia azoto sul peso secco non si è differenziata fra le tesi riportando valori molto simili e prossimi al 2,7%.

Considerando i livelli di azoto trovati, si sono calcolate le quantità di azoto assorbito a livello di biomassa totale, biomassa commerciale e scarto, trovando così una sostanziale non differenza significativa tra le tesi anche se un maggior assorbimento è rilevabile in TMIN con oltre 125 kg/ha assorbiti nella biomassa commerciale.

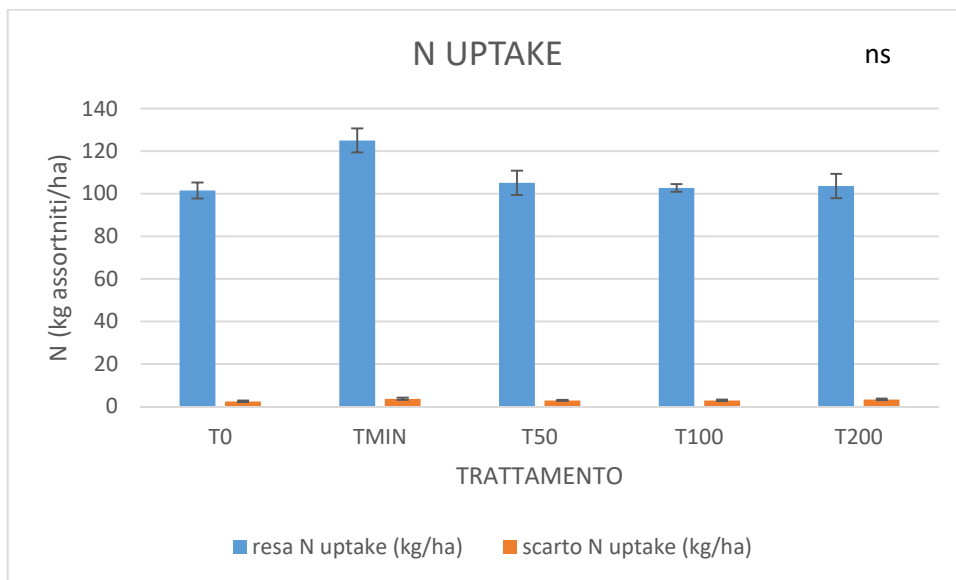


Figura 24 Effetto della fertilità residua del suolo sull'assorbimento di azoto (kg/ha) della biomassa commerciale e biomassa di scarto in cicoria catalogna. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD

Se osserviamo i dati riguardanti l'efficienza, nell'efficienza agronomica notiamo che TMIN si differenzia statisticamente dalle restanti tesi, a supporto di quanto detto sull'assorbimento dell'azoto, con 71 kg/kg di azoto fornito rispetto ai meno di 12 kg/kg di azoto fornito delle altre tesi.

Nell'efficienza fisiologica, i valori di T100 sono risultati statisticamente inferiori rispetto a tutte le altre tesi, manifestando per T100 una minore biomassa prodotta per kg di azoto assorbito.

L'Apparent Recovery Efficiency è risultata superiore per TMIN con valori maggiori a 14%, più contenuti invece sono risultate le altre tesi.

Andamento che è stato analogo per l'efficienza d'uso dell'azoto, pari a 80 kg/ha in TMIN seguita da T50, T100 e T200 con valori inferiori a 20 kg/ha.

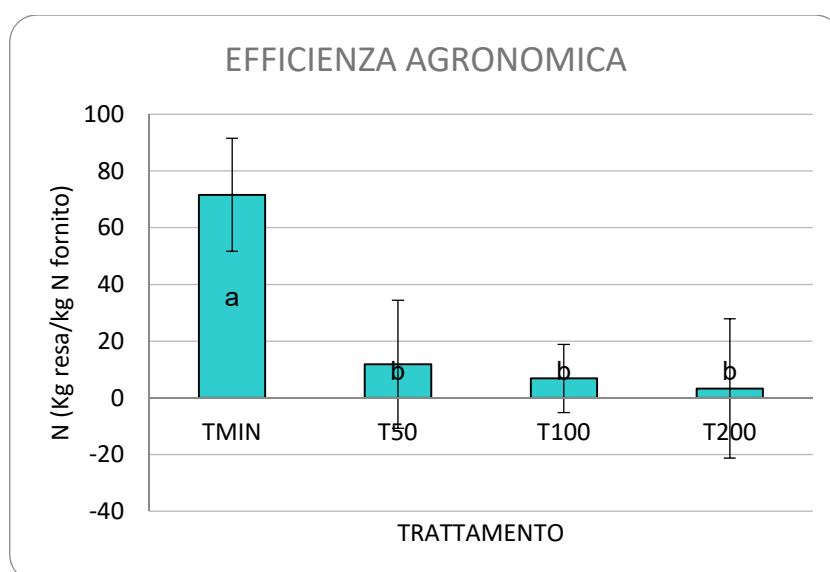


Figura 25 Effetto della fertilità residua del suolo sull'efficienza agronomica dell'azoto in cicoria catalogna. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

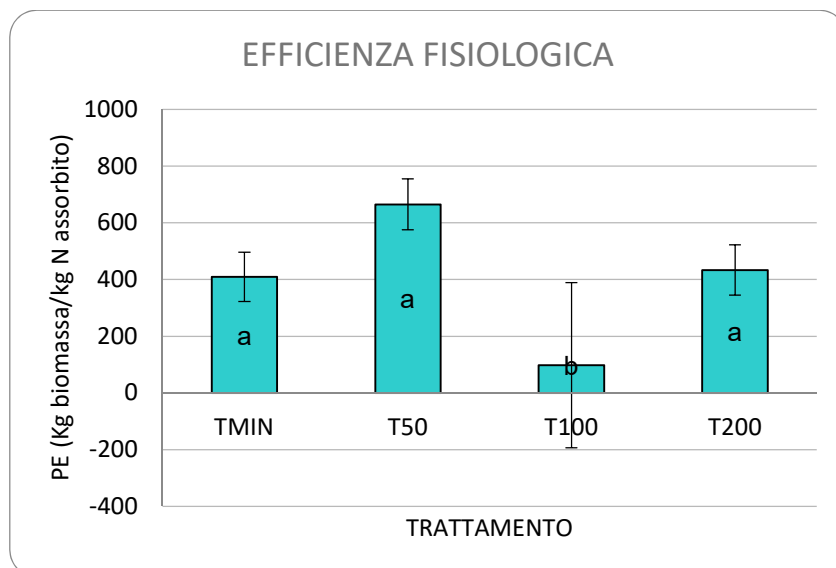


Figura 26 Effetto della fertilità residua del suolo sull'efficienza fisiologica dell'azoto in cicoria catalogna. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

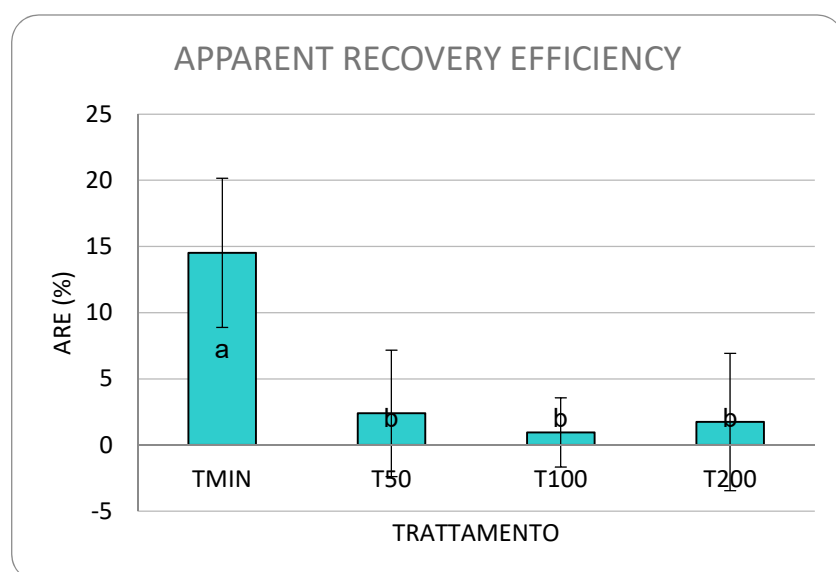


Figura 27 Effetto della fertilità residua del suolo sull'Apparent Recovery Efficiency dell'azoto in cicoria catalogna. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.



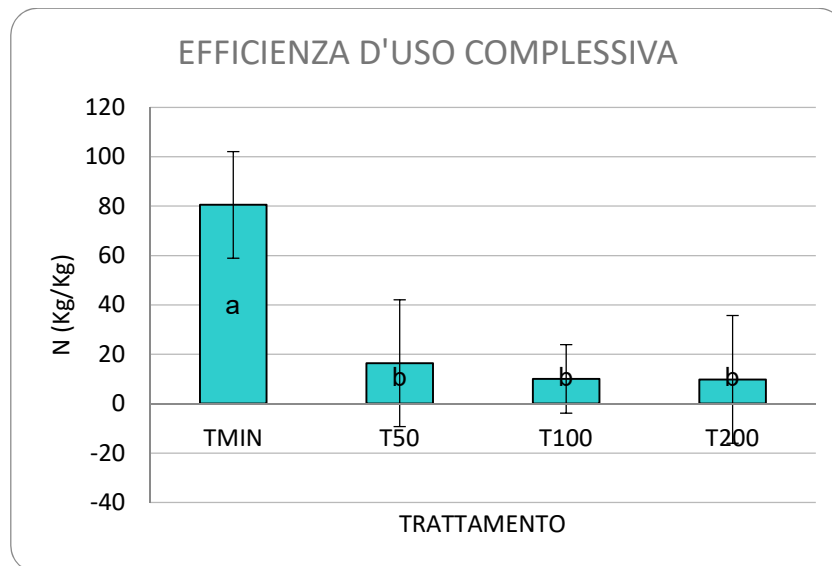


Figura 28 Effetto della fertilità residua del suolo sull'efficienza d'uso complessiva dell'azoto in cicoria catalogna. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

## CAVOLO E CAVOLFIORE

Considerando le problematiche climatiche che hanno indotto ad una precoce fioritura delle due varietà di cavolfiore, le analisi quanti/qualitative ed elaborazioni dei dati per la determinazione dell'efficienza sull'utilizzo dell'azoto, sono state svolte solamente per le varietà di cavolo cappuccio.

### CAVOLI

Analizzando il contenuto di azoto nella biomassa non sono emerse differenze significative in entrambe le varietà di cavolo cappuccio, percentuali molto prossime al 2% sia per il cavolo Alfaro che Caramba.

I dati inerenti al contenuto di azoto sulla sostanza secca sono poi stati utilizzati per valutare i quantitativi di azoto assorbiti dalle singole parti rappresentanti la biomassa.

Si può notare come il quantitativo di azoto assorbito dalla biomassa totale presenti un minimo in T0 per il mancato apporto, un massimo in TMIN mentre le tesi con matrice organica presentano valori molto prossimi per entrambe le varietà.

Comportamento che poi è stato ripreso sia per l'azoto assorbito a livello della biomassa commerciale sia per quella di scarto.

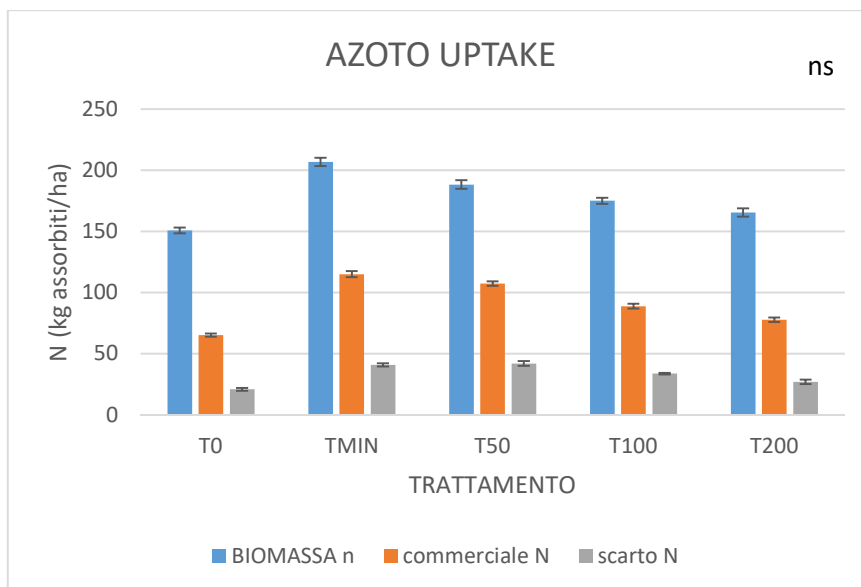


Figura 29 Effetto dei diversi trattamenti sul quantitativo di azoto assorbito dalla coltura nella biomassa commerciale e scarto di cavolo cappuccio Alfaro

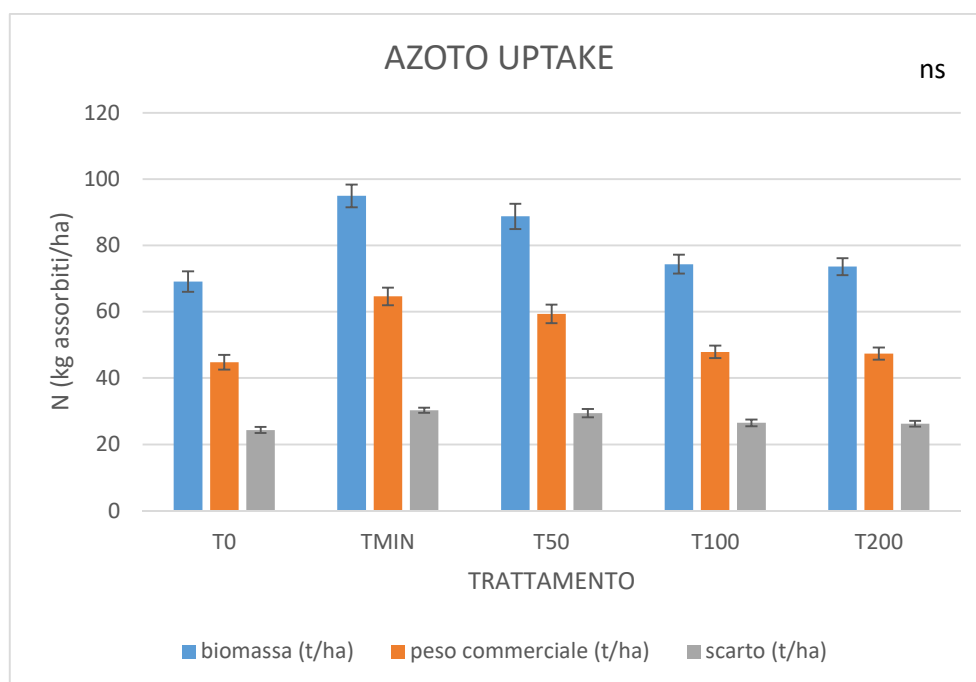


Figura 30 Effetto dei diversi trattamenti sul quantitativo di azoto assorbito dalla coltura nella biomassa commerciale e scarto di cavolo cappuccio Caramba.

Al fine di valutare le dinamiche dell'azoto si sono determinati infine gli indici di efficienza.

L'efficienza agronomica, ha presentato un trend analogo per le due varietà con maggiori valori di kg di peso commerciale ottenuto per unità di azoto apportato sulle tesi TMIN e T50, distaccandosi dalle altre due tesi a confronto

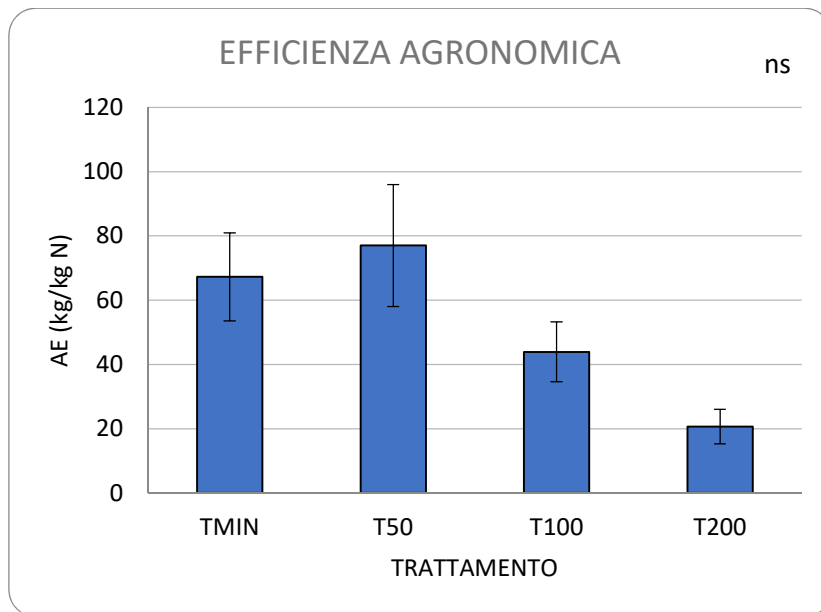


Figura 31 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza agronomica in cavolo cappuccio varietà Alfaro. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$

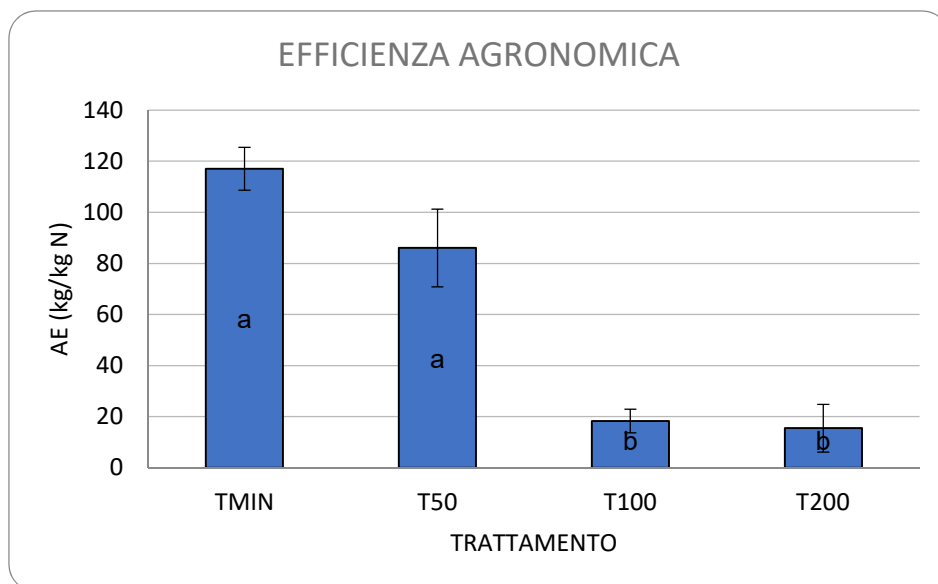


Figura 32 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza agronomica in cavolo cappuccio varietà Caramba. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$ .

Diverso è risultato invece il comportamento riguardante l'efficienza fisiologica, in cui la varietà Caramba ha mostrato valori molto simili per tutte le tesi eccetto per il TMIN che ha riportato valori più elevati. Nel caso invece del cavolo Alfaro, le migliori performance si sono riscontrate su T100 seguito poi da T50.

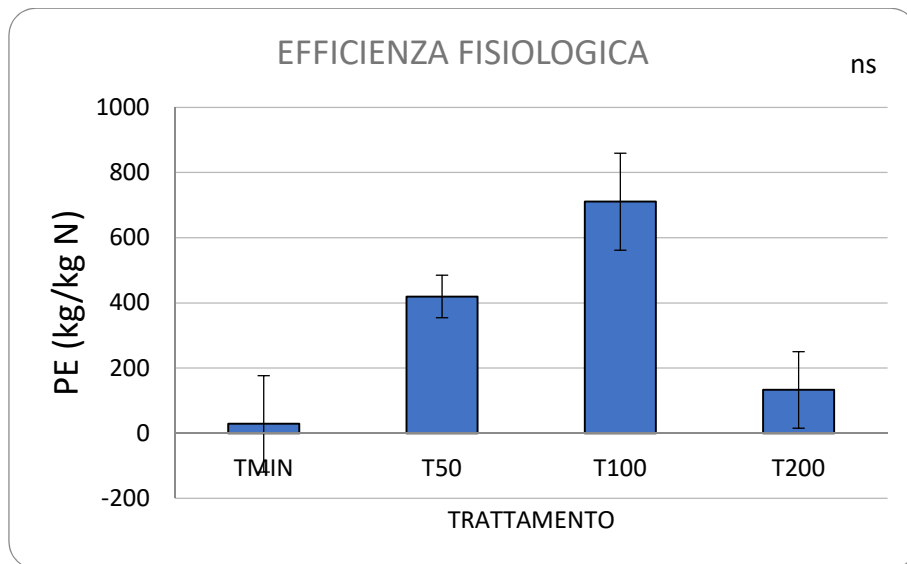


Figura 33 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza fisiologica in cavolo cappuccio varietà Alfaro. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$ .

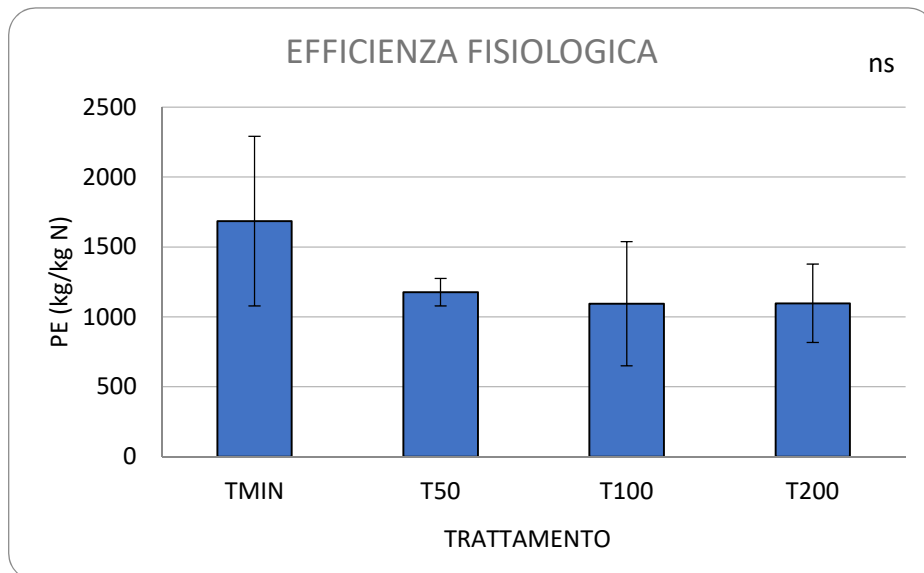


Figura 34 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza fisiologica in cavolo cappuccio varietà Caramba. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$ .

L'Apparent Recovery Efficiency ha presentato un andamento analogo nelle due varietà, valori maggiori in TMIN per poi ridursi nelle tesi con compost all'aumentare degli apporti.

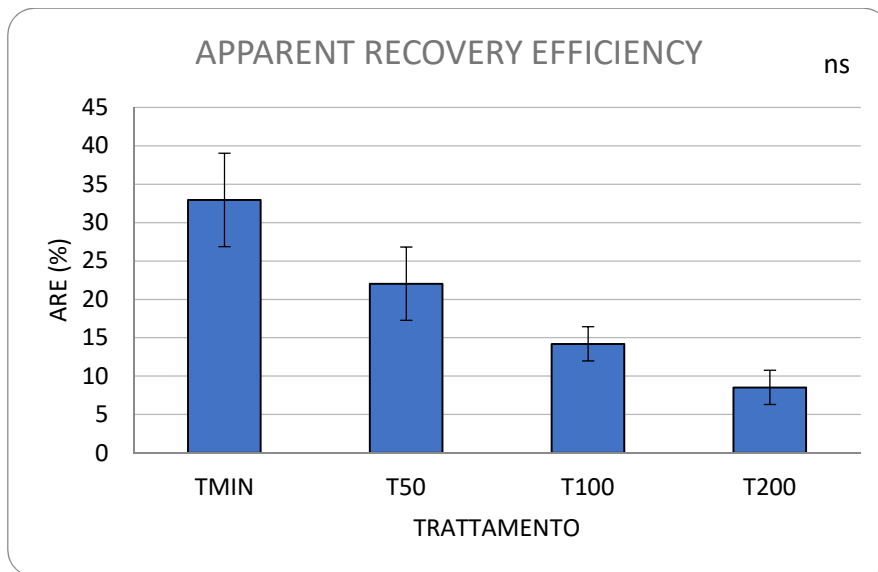


Figura 35 Effetto del trattamento di concimazione sull'Apparent Recovery Efficiency in cavolo cappuccio varietà Alfaro. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$ .

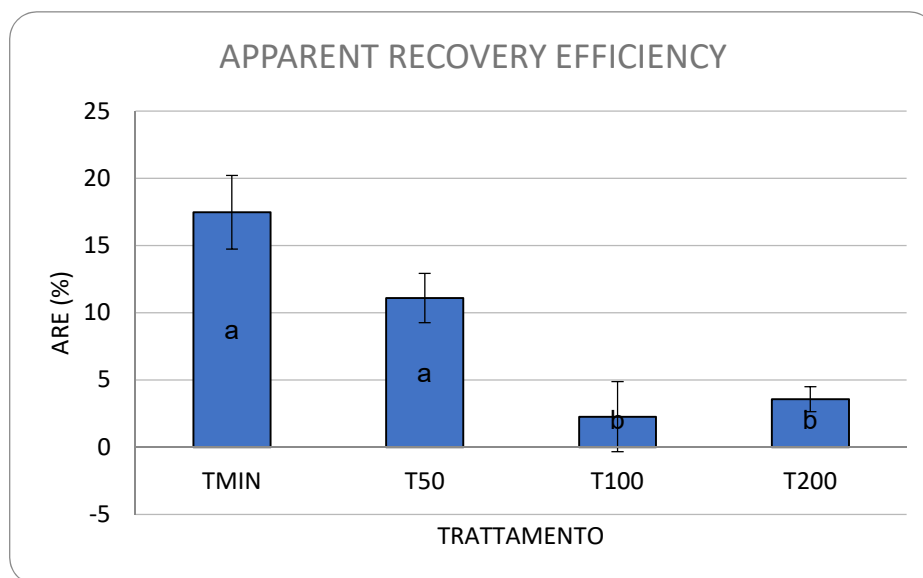


Figura 36 Effetto del trattamento di concimazione sull'Apparent Recovery Efficiency in cavolo cappuccio varietà Caramba. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$ .

Infine l'efficienza di utilizzazione ha presentato anch'essa un trend simile ovvero valori più elevati in T50 e TMIN e valori minori nelle restanti tesi.

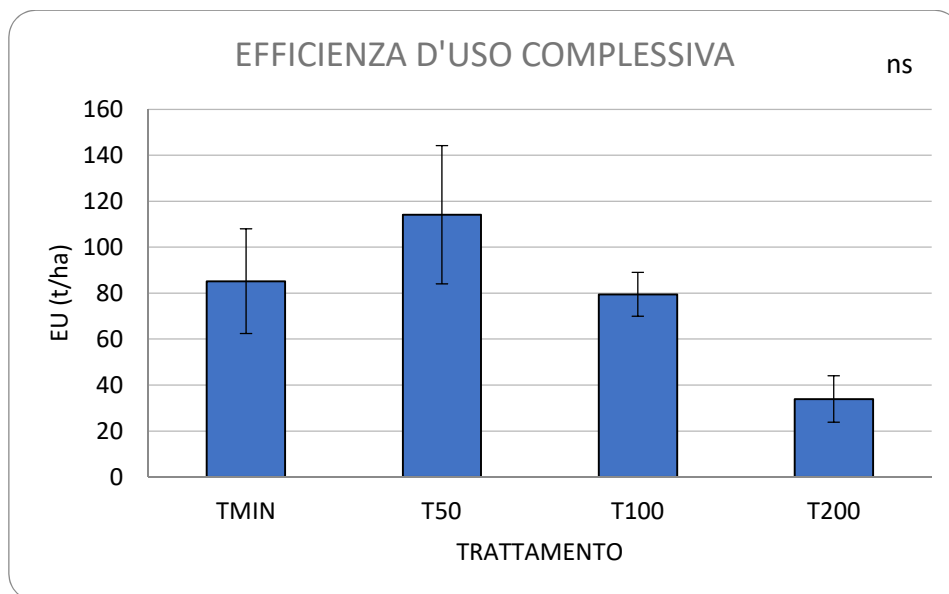


Figura 37 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza d'uso complessiva in cavolo cappuccio varietà Alfaro. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$ .

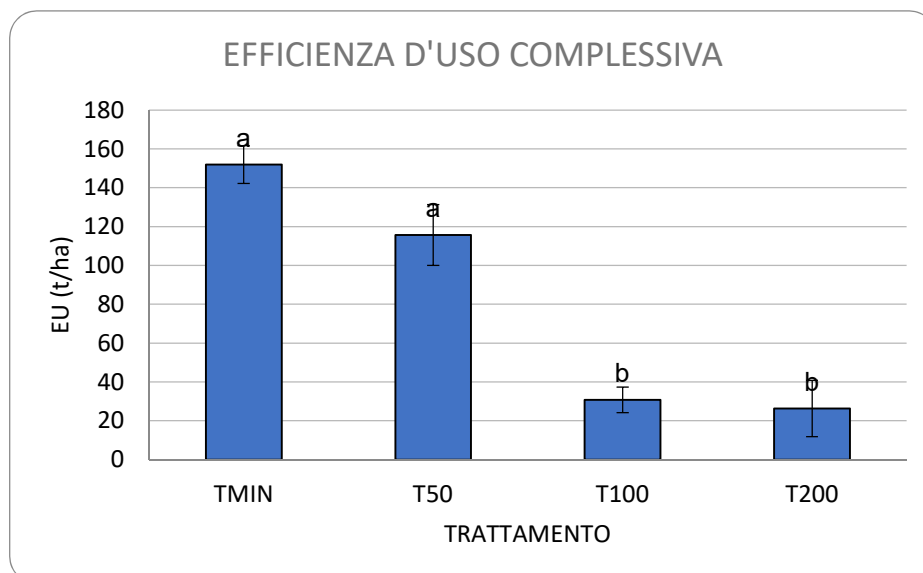


Figura 38 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza d'uso complessiva in cavolo cappuccio varietà Caramba. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$ .

## RADICCHIO

Nel caso del Radicchio essendo la coltura a cui ho preso parte direttamente nel fare i rilievi in campo e le analisi di laboratorio, si riportano anche i risultati delle analisi qualitative ottenuti.

La prima analisi ha riguardato il contenuto di solidi solubili, non si sono differenziate statisticamente le tesi eccetto per il radicchio di Verona dove valori relativamente più bassi

si sono osservati per il T0 (6,42° Brix) e più alti per il T200 (7°Brix). Nelle altre tipologie i valori si sono attestati intorno a 6,8-7,1°Brix per il Castelfranco, 6,3-6,8°Brix per il Chioggia 5,9-6,5°Brix per il Treviso.

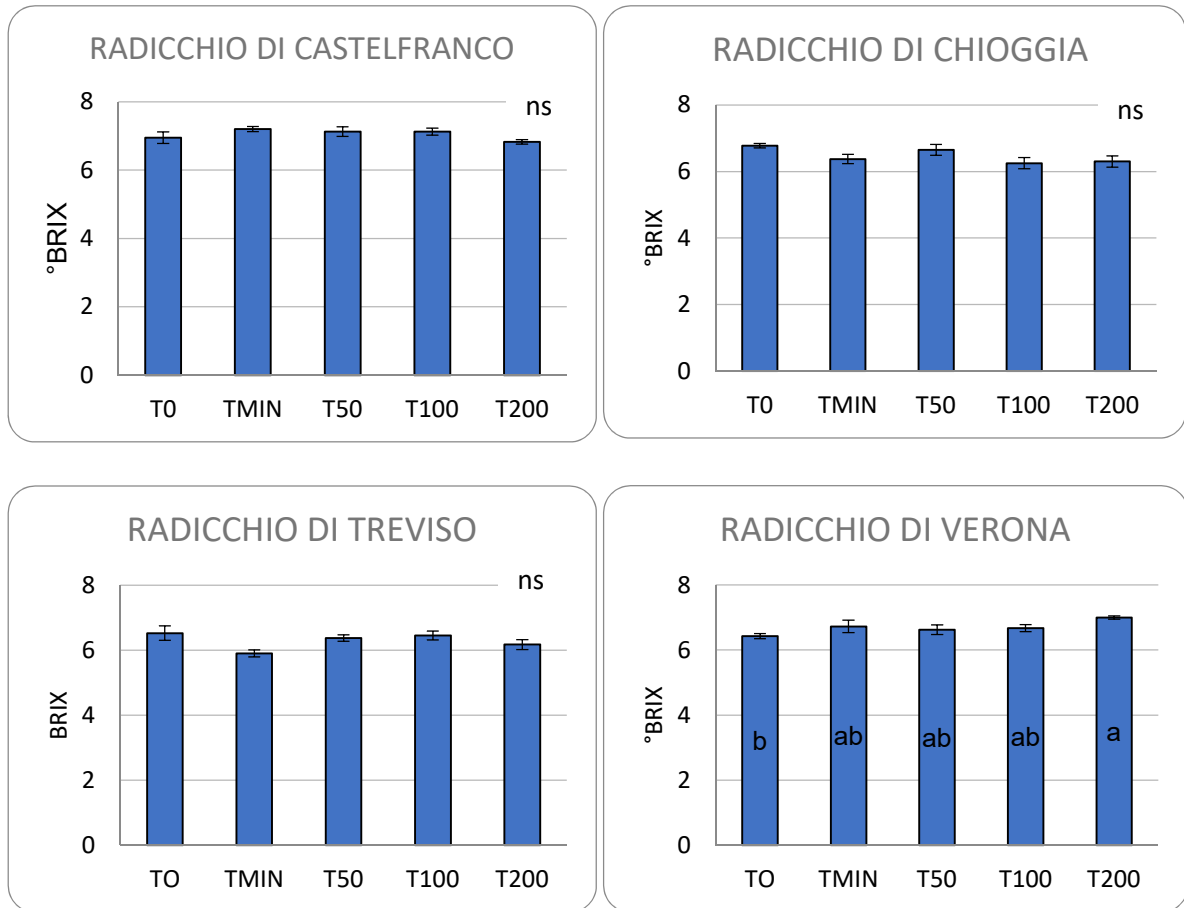


Figura 39 effetto dei trattamenti di fertilizzazione sul °BRIX del prodotto. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey

Il pH nonostante siano emerse differenze significative nella tipologia di Verona, presenta una sostanziale stabilità indipendentemente dal tipo di trattamento effettuato, attestandosi a valori prossimi a 6. Nella conducibilità elettrica emergono, sebbene in modo non significativo in alcune tipologie, delle differenze con la tesi T0 che presenta il valore più basso dovuto ad una più bassa disponibilità di elementi nutritiva a disposizione, seguita poi da TMIN per poi proseguire ad un aumento progressivo con gli apporti di compost, arrivando a T200 con i valori più alti grazie ad un maggiore apporto di nutrienti in particolare azoto.

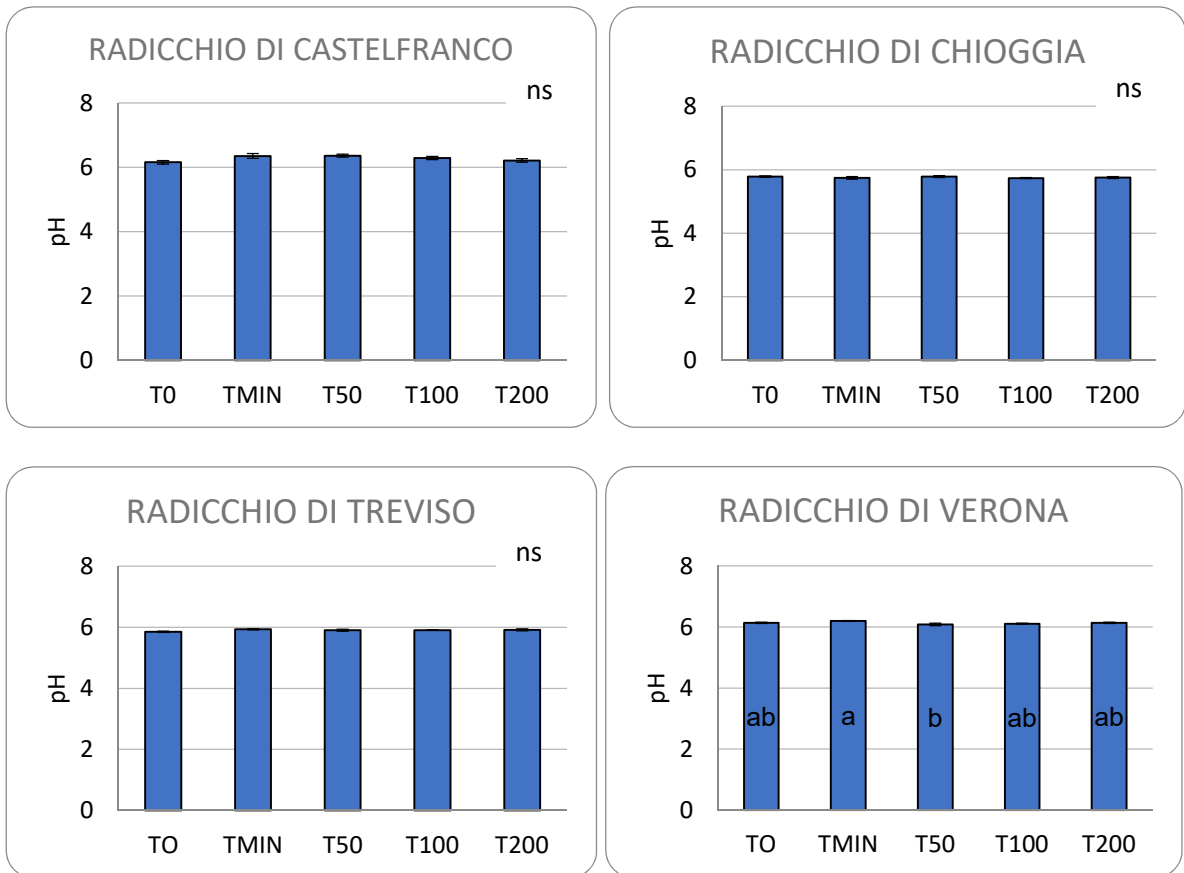


Figura 40 Effetto dei trattamenti di fertilizzazione sul pH del prodotto. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey



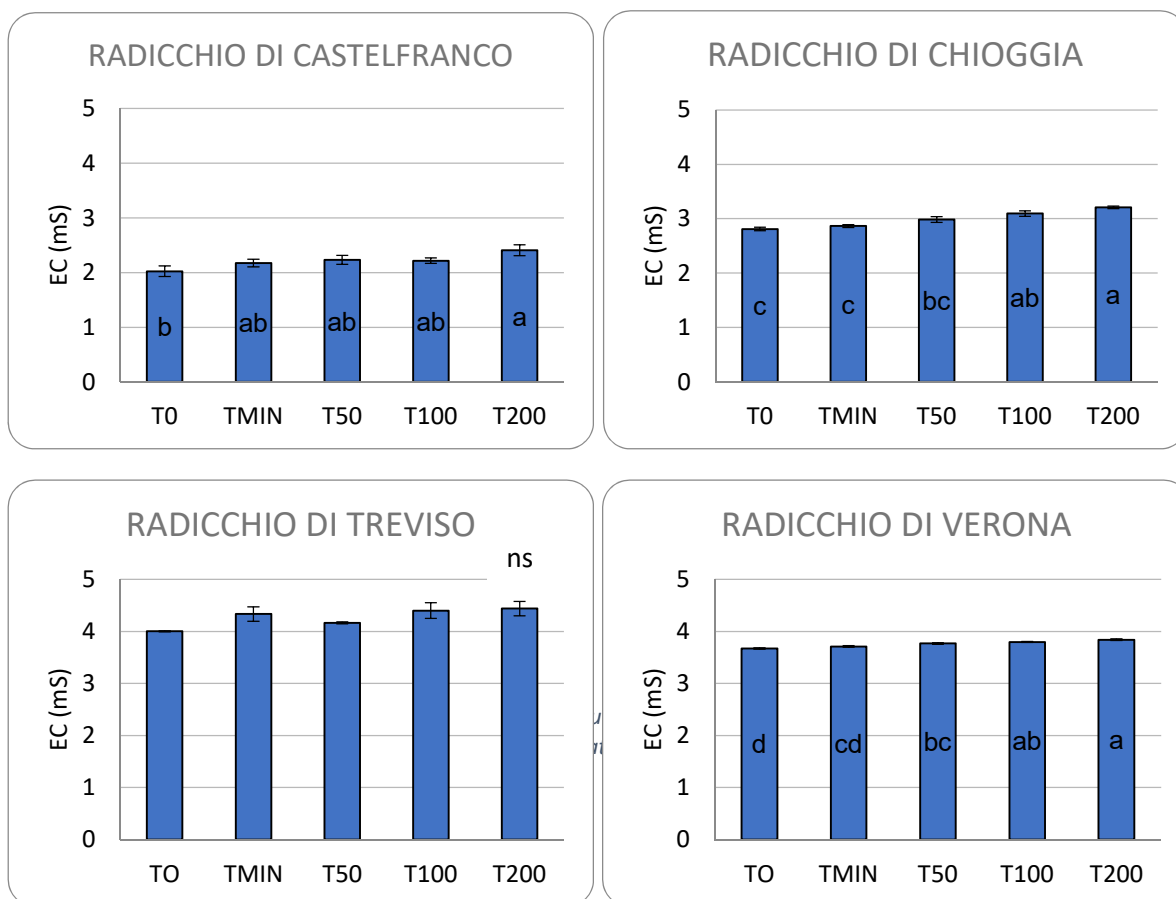


Figura 41 Effetto dei trattamenti di fertilizzazione sulla conducibilità elettrica del prodotto. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

Le acidità titolabili non ha presentato differenze significative tra le diverse tesi eccetto per il radicchio di Treviso, con valori oscillanti tra 0,0008 e 0,001 gr acido citrico/100 gr p.f. Prendendo quindi in esame le componenti antiossidanti è stato possibile valutare non solo la dotazione di importanti componenti utili per la salute del consumatore, ma anche valutare l'eventuale presenza di condizioni di stress che la coltura può avere vissuto durante il ciclo colturale. Come noto, infatti, qualsiasi forma di stress biotico o abiotico determina importanti variazioni nel metabolismo della pianta che quasi sempre si traducono in un incremento del contenuto di composti antiossidanti. In questo caso è stata analizzata la capacità antiossidante ed il contenuto di polifenoli totali. I risultati emersi da queste analisi non hanno evidenziato scostamenti di rilievo.

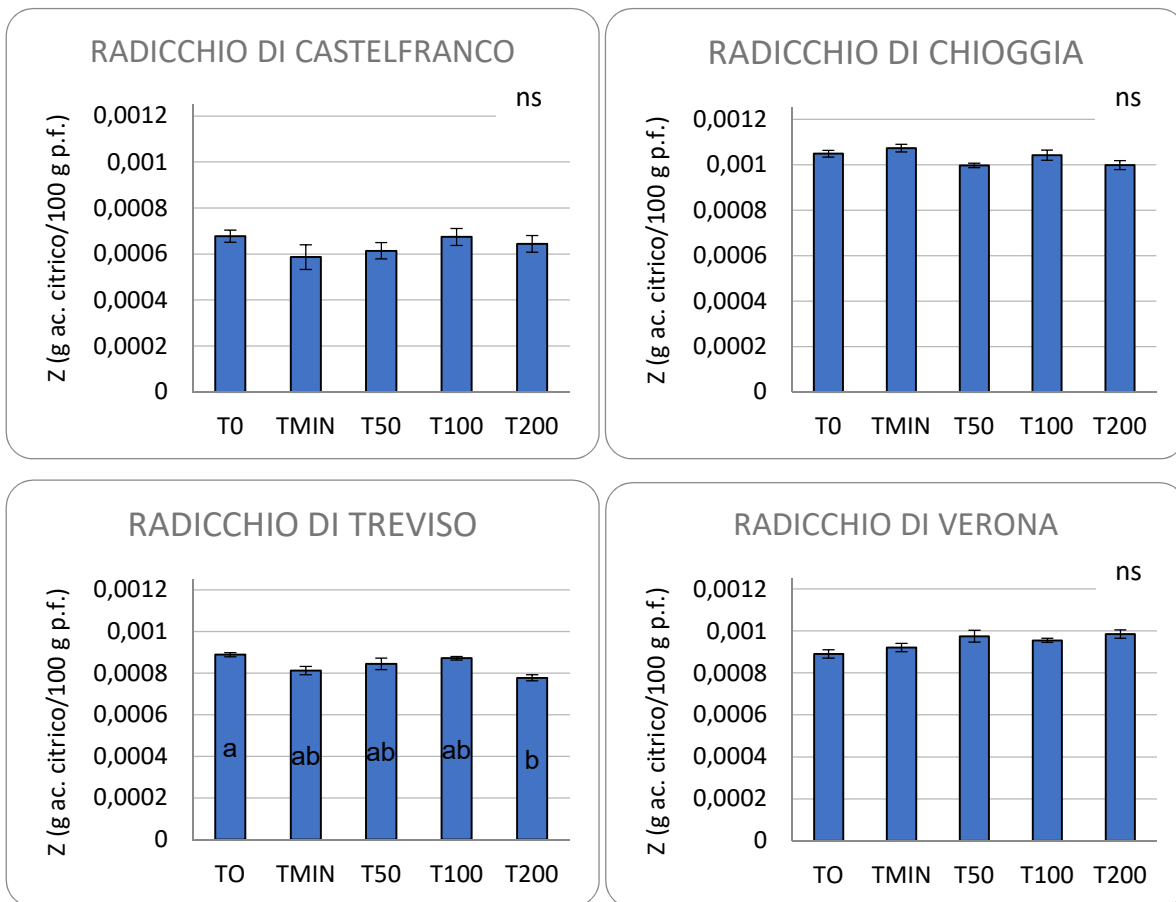


Figura 42 Effetto dei trattamenti di fertilizzazione sull'acidità titolabile del prodotto. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

RADICCHIO DI CASTELFRANCO

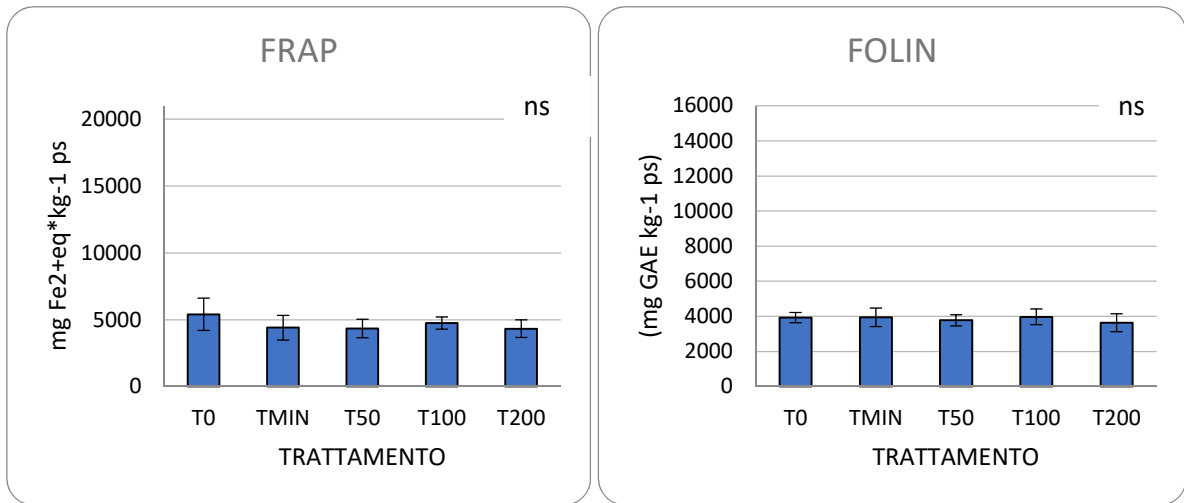


Figura 43 Analisi FRAP e FOLIN su radicchio di Castelfranco. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

RADICCHIO DI CHIOGGIA

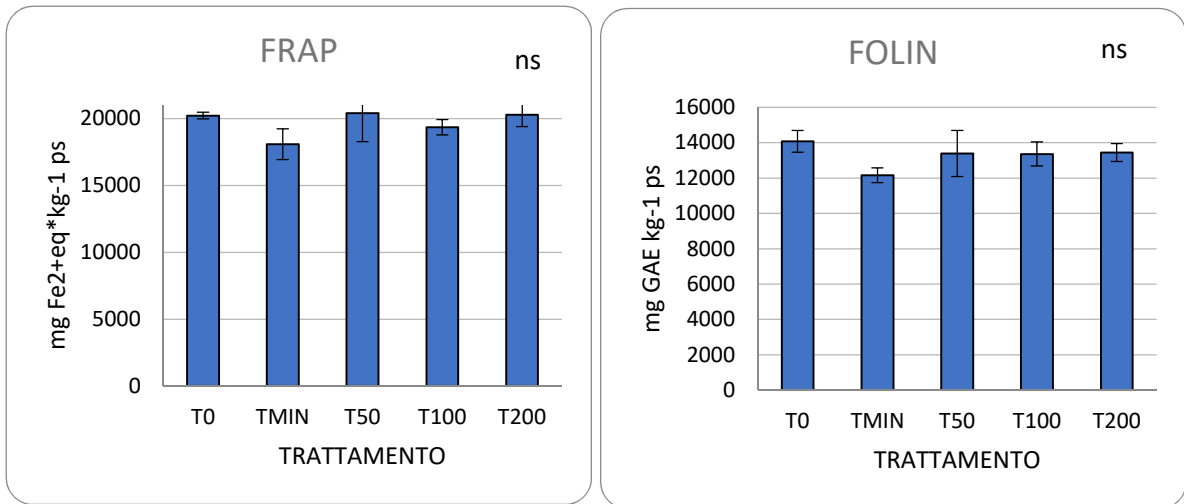


Figura 44 Analisi FRAP e FOLIN su radicchio di Chioggia. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

## RADICCHIO DI TREVISO

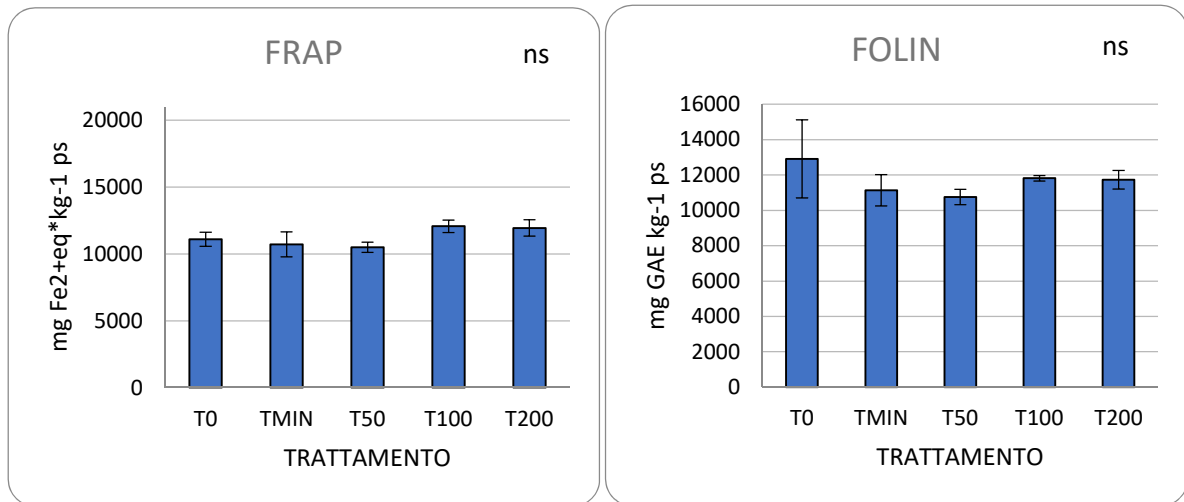


Figura 45 Analisi FRAP e FOLIN su radicchio di Treviso. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

## RADICCHIO DI VERONA

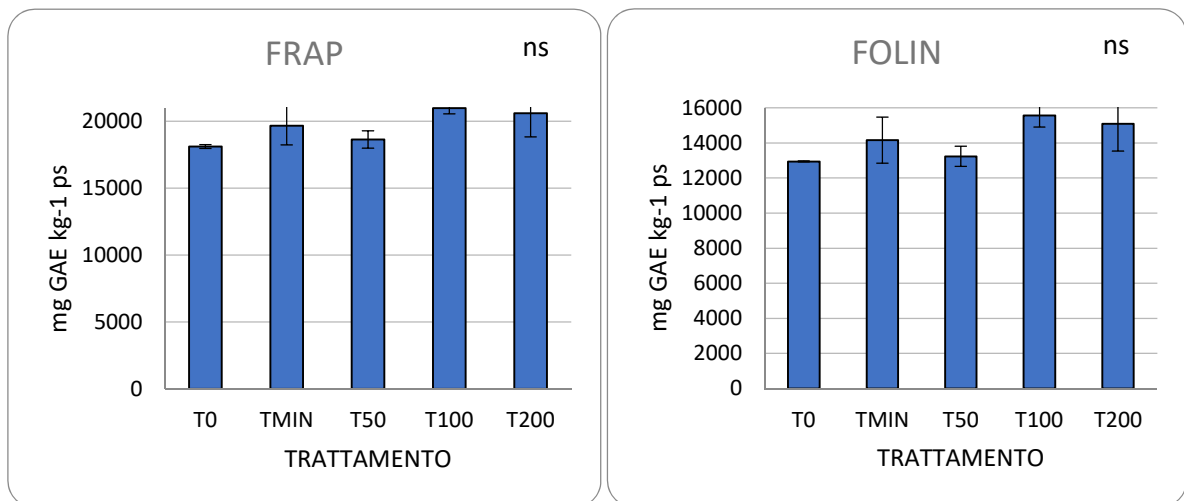


Figura 46 Analisi FRAP e FOLIN su radicchio di Treviso. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

Sono state poi effettuate poi le analisi al fine di valutare le dinamiche dell'azoto, partendo quindi con la valutazione del contenuto di azoto sulla sostanza secca, non si sono osservate differenze significative in nessuna delle tipologie di radicchi. Dai grafici riportati si può notare come il TMIN va ad assumere sempre concentrazioni maggiori presumibilmente dovuto ad una pronta disponibilità rispetto ad una mineralizzazione più graduale della sostanza organica considerando anche il fatto di essere solo al secondo anno di sperimentazione. Percentuali che variano da tipologia a tipologia, con valori di: 2,7 -2,9 per le tipologie Castelfranco e Chioggia, mentre di 8,6 – 9,6 e 4,2 – 4,4 rispettivamente per le tipologie Treviso e Verona

ns

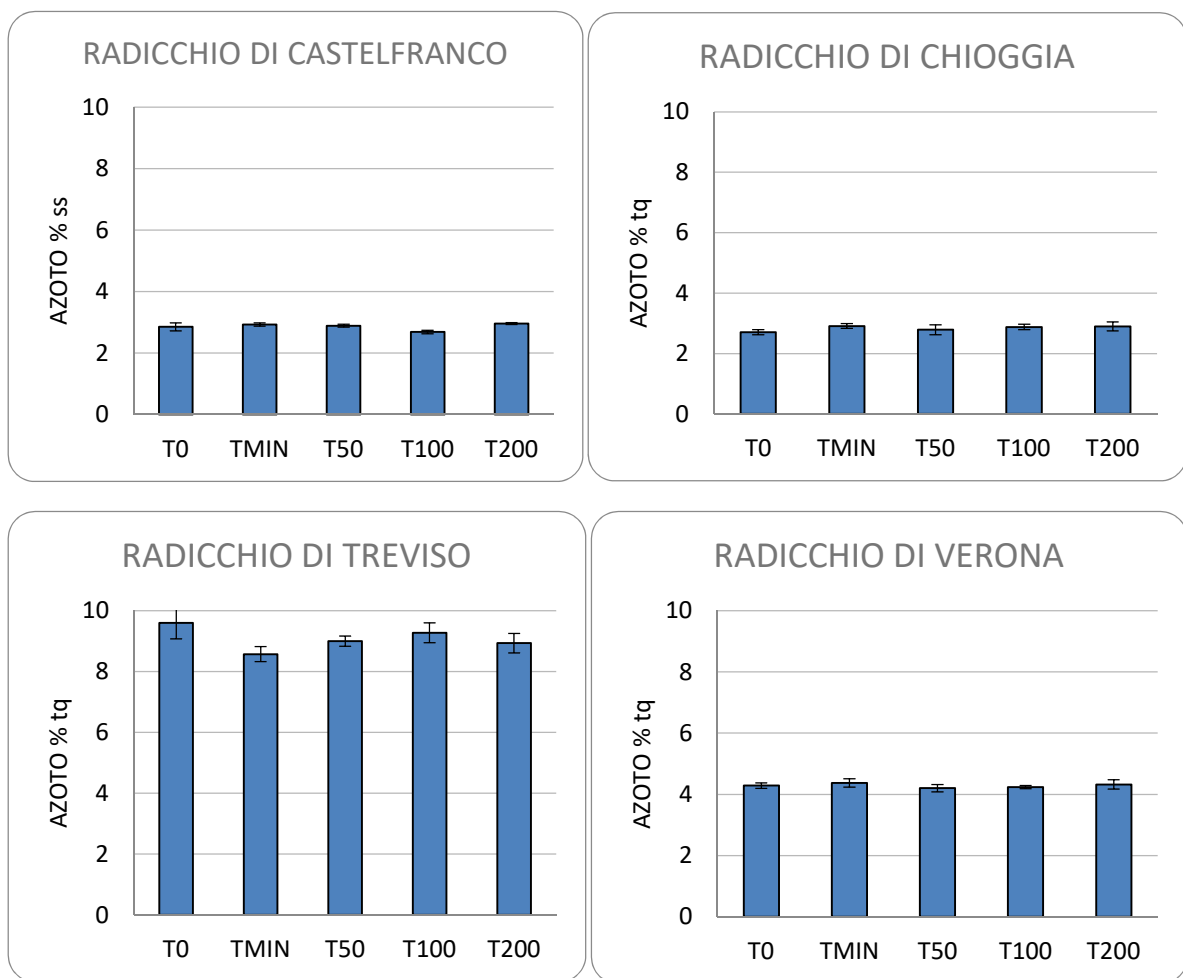
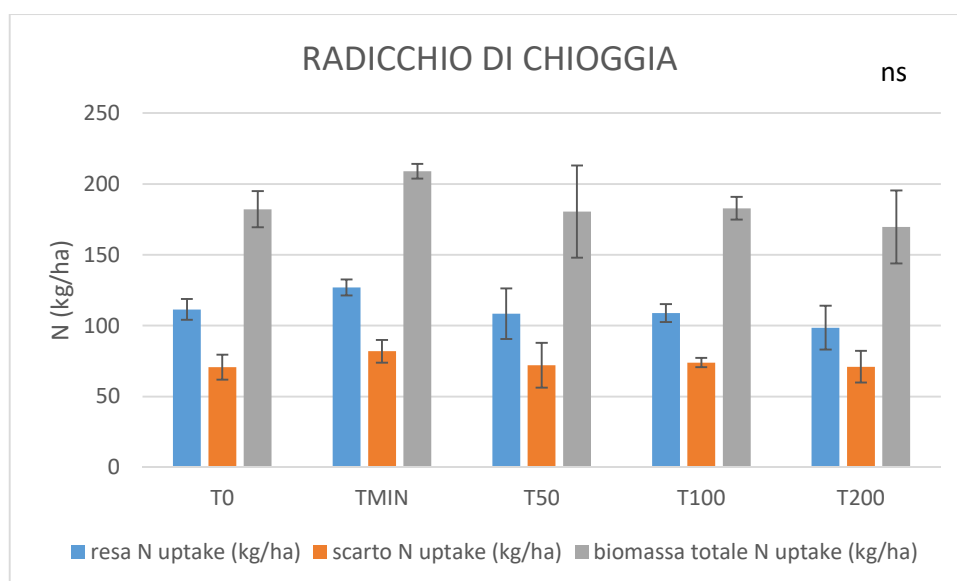
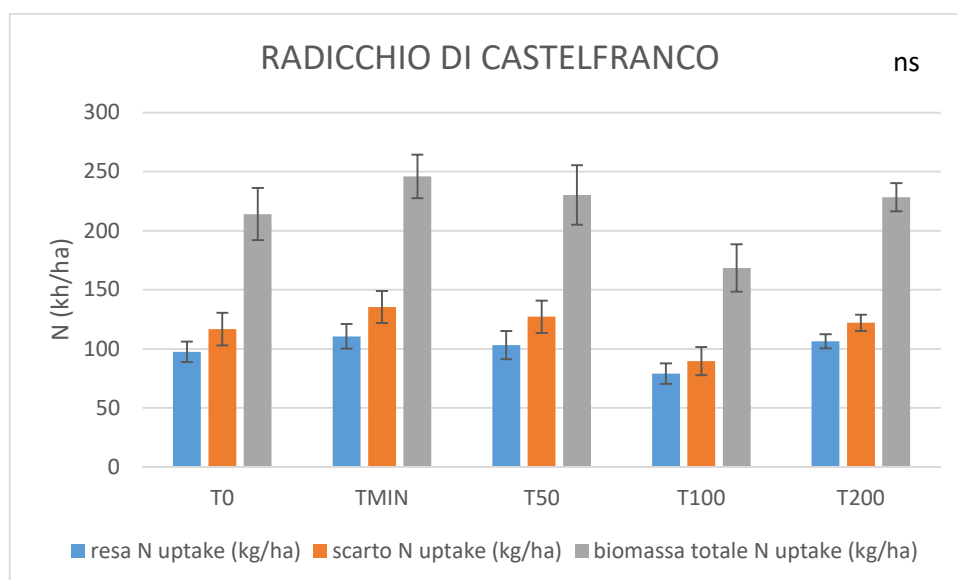


Figura 47 Analisi del contenuto di azoto. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

I dati così raccolti sono stati utilizzati per la determinazione dell'azoto assorbito dalle diverse componenti della biomassa. Dai grafici seguente oltre a non essere differenze significative si può notare come la maggior biomassa risulti essere prodotta dalle tesi TMIN coerentemente al fatto di aver una pronta disponibilità di azoto per l'assorbimento, con valori prossimi ai 250 kg si azoto ad ettaro per il radicchio di Castelfranco, 200 per il Chioggia, 150 per il Treviso e 50 per il Verona. Valori inferiori invece sono stati evidenziati per le tesi T0, T100 e T200.

Stessi andamenti sono stati osservati per le singole componenti produttive ovvero biomassa commerciale e biomassa di scarto.



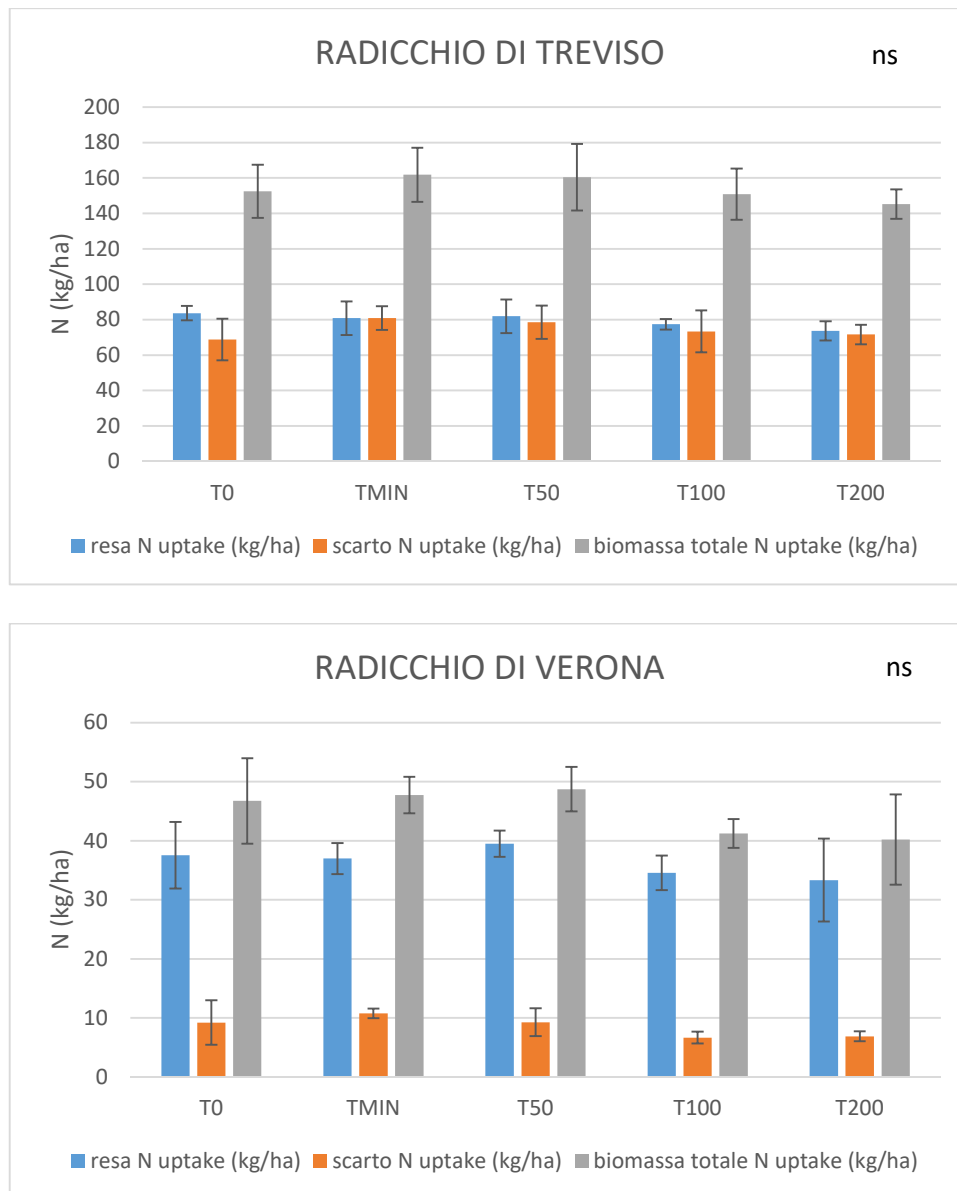


Figura 48 Valutazione degli asporti di azoto nelle diverse componenti produttive. Per ciascun parametro le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

Infine anche per il radicchio si sono determinati gli indici di efficienza.

L'efficienza agronomica nel caso del radicchio di Castelfranco e di Treviso hanno presentato un andamento analogo, con valori più alti in TMIN e T200 mentre i più bassi si sono rilevati sulle altre due tesi. Nel radicchio di Chioggia in vece i valori più elevati in termini di kg di prodotto commerciale per unità di azoto apportato, hanno riguardato le tesi TMIN e T100. Per poi passare al radicchio di Verona in cui le migliori performance sono state della tesi T50 e un minimo in T100.

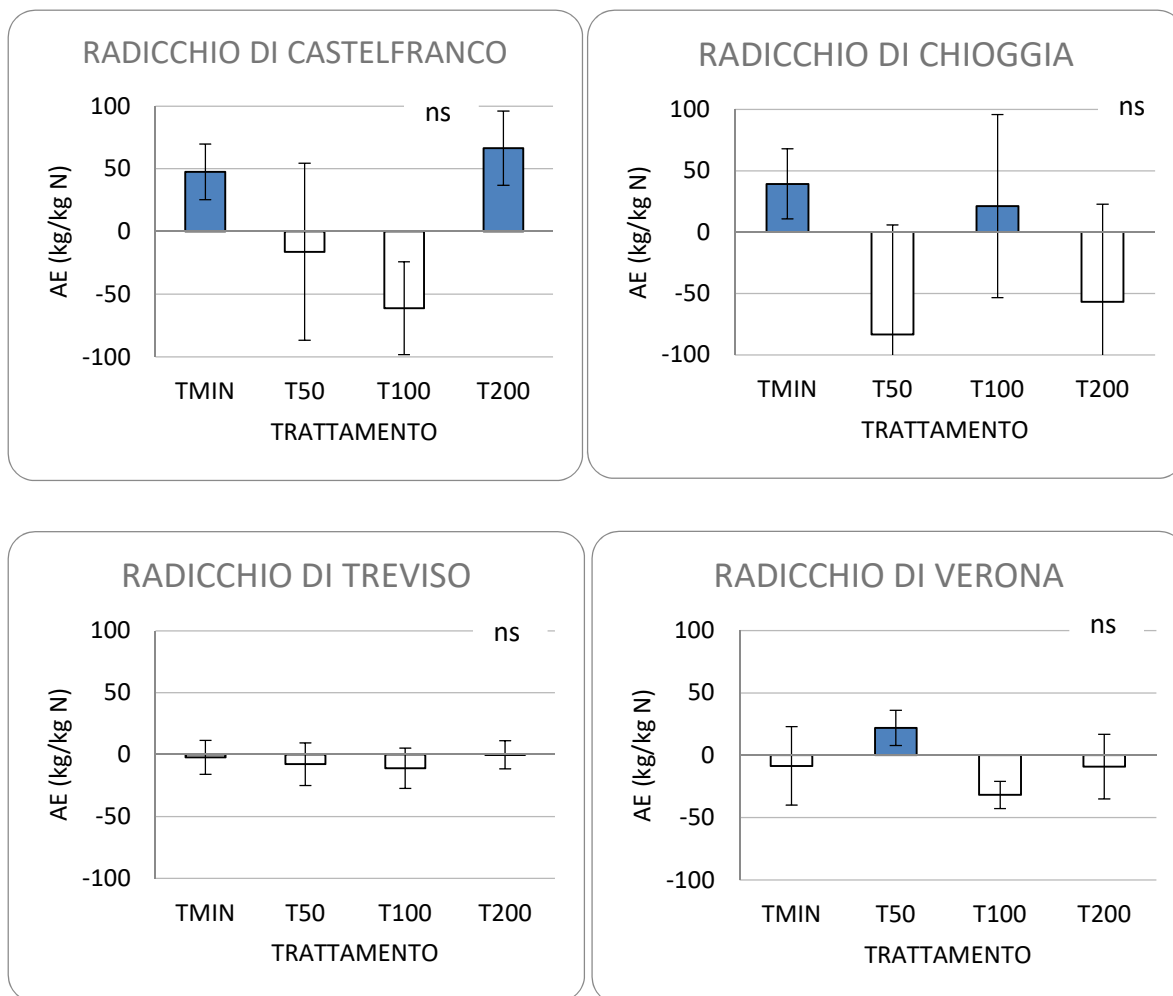


Figura 49 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza agronomica dell'azoto nelle diverse tipologie di radicchio. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

L'efficienza fisiologica ha presentato un andamento simile nelle tipologie di Castelfranco e Verona, con buoni valori in TMIN, valori più bassi in T50 e un progressivo aumento passando per T100 e T200. Nel radicchio di Chioggia abbiamo lo stesso trend per le tesi con concimazione organica mentre per la tesi TMIN si sono riscontrati i valori più bassi, comportamento rispecchiato dal radicchio di Treviso in cui il T200 ha invece riportato valori più bassi.



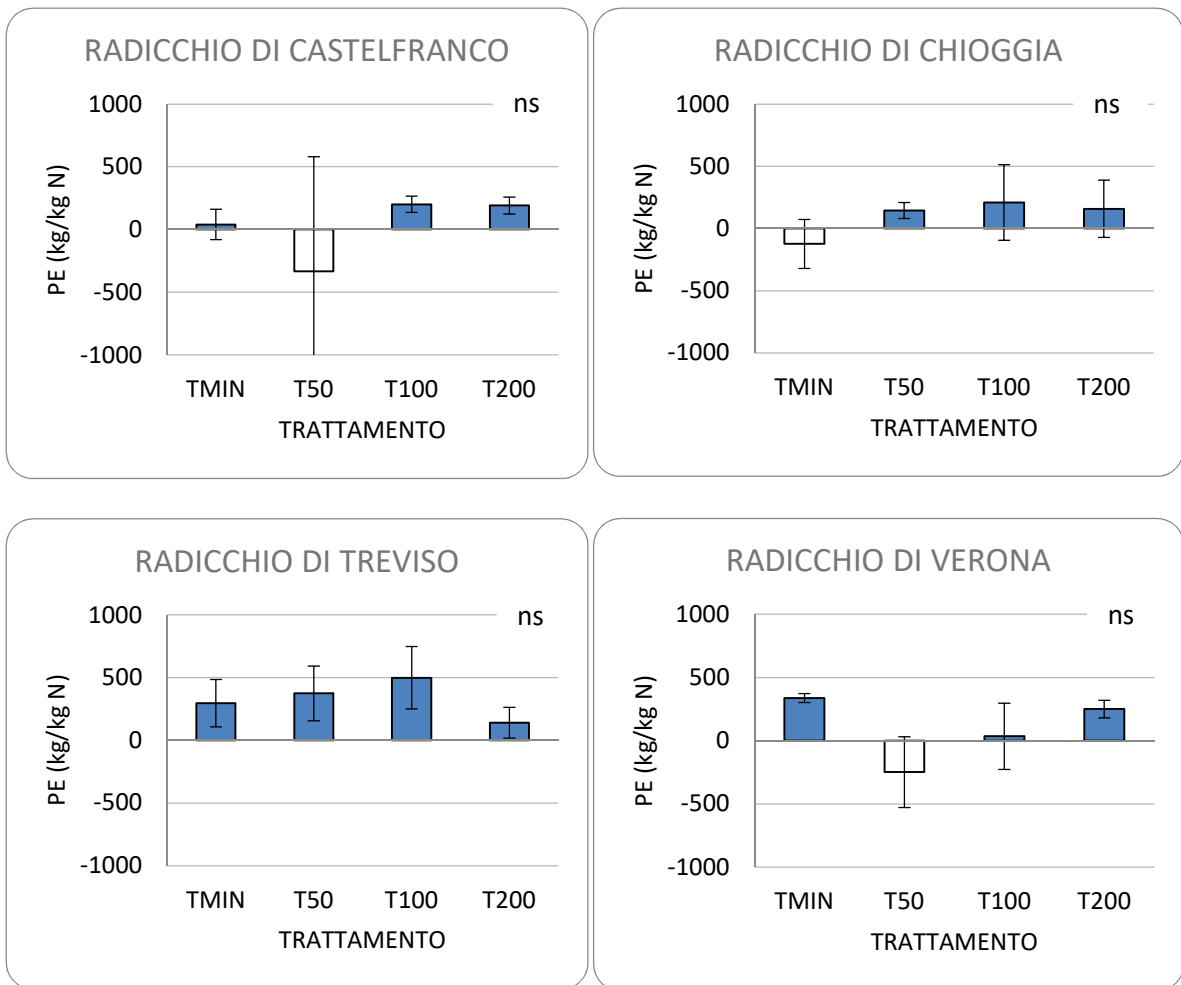


Figura 50 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza fisiologica dell'azoto nelle diverse tipologie di radicchio. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

Anche l'Apparent Recovery Efficiency nonostante non siano emerse differenze significative, in tutte le tipologie eccetto il radicchio di Chioggia, si è osservato un andamento in cui il T100 presenta valori inferiori mentre le altre tesi risultano con valori più stazionari, con TMIN e T200 più alti. Nel Chioggia invece le minori performance in termini di azoto assorbito su azoto fornito alla coltura sono state per le tesi T50 e T200.

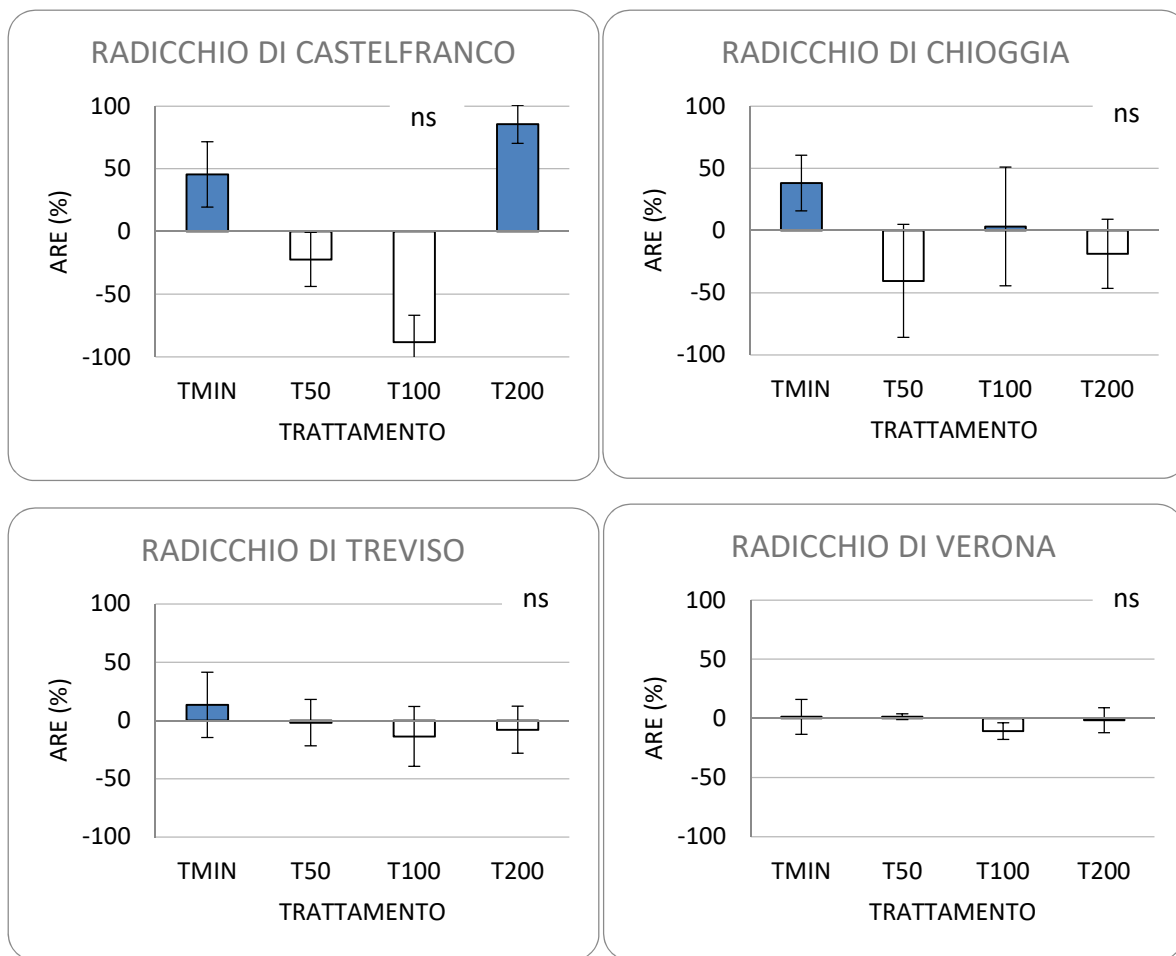


Figura 51 Effetto del trattamento di concimazione sull'Apparent Recovery Efficiency dell'azoto nelle diverse tipologie di radicchio. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

Concludendo con l'efficienza d'uso dell'azoto, i radicchi di Castelfranco e Treviso hanno avuto lo stesso andamento con valori maggiori in TMIN e T200 mentre le altre due tesi presentano valori negativi. Nel radicchio di Verona, il T100 ha riportato sempre il valore più basso e negativo mentre le altre tesi sono risultate pressoché uguali. Infine il radicchio di Chioggia si sono riscontrati valori negativo per T50 e T200, positivi per le restanti tesi.

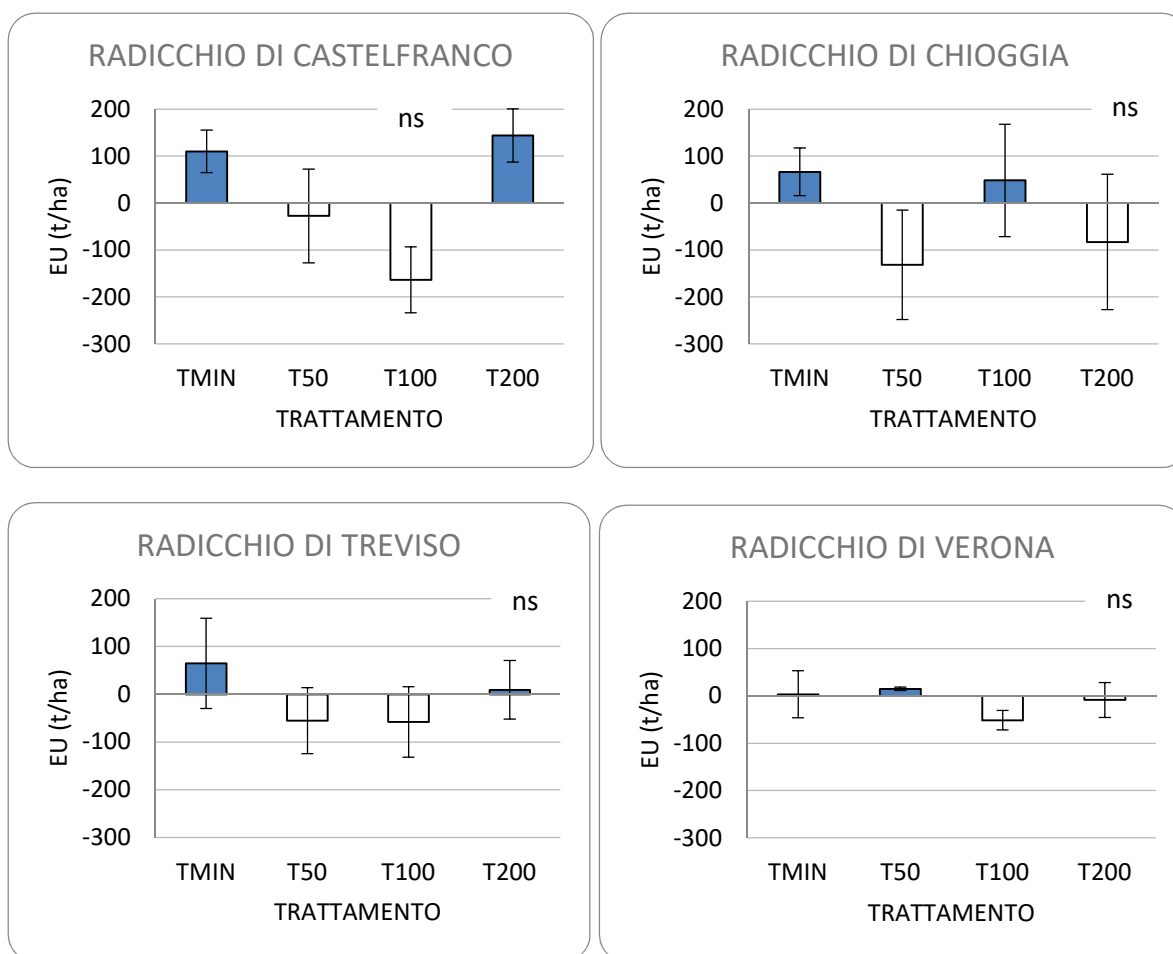


Figura 52 Effetto del trattamento di concimazione sull'efficienza d'uso complessiva dell'azoto nelle diverse tipologie di radicchio. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

## DATI PRODUTTIVI

In tabella 6 vengono riportati i dati produttivi espressi in t/ha per le colture oggetto della sperimentazione, facendo riferimento alle rese in prodotto commerciale.

Tabella 7 Rese commerciali per coltura.

TESI	POMPDORO DA INDUSTRIA	BIETA DA COSTA	CICORIA CATALOGNA	CAVOLO ALFARO	CAVOLO CARAMBA	RADICCHIO CATELFRANCO	RADICCHIO CHIOGGIA	RADICCHIO TREVISO	RADICCHIO VERONA
TO	58,43	41,71	41,99	43,21 b	44,76 b	23,84	31,48	29,87	10,29
TMIN	56,51	57,09	54,16	54,64 a	64,66 a	27,17	34,23	29,47	9,70
T50	46,82	49,66	44,010	56,30 a	59,39 a	26,03	28,40	28,14	11,24
T100	58,96	44,53	43,15	50,68 ab	47,87 b	21,74	29,88	26,25	9,02
T200	60,95	56,44	42,56	46,72 ab	47,39 b	26,39	25,91	26,20	8,38

Tabella 8 Biomassa totale per coltura.

TESI	POMPIDORO DA INDUSTRIA	BIETA DA COSTA	CICORIA CATALOGNA	CAVOLO ALFARO	CAVOLO CARAMBA	RADICCHIO CATELFRANCO	RADICCHIO CHIOGGIA	RADICCHIO TREVISO	RADICCHIO VERONA
<b>T0</b>	173,54 b	53,82	45,26	75,04	69,12	52,36	51,56	54,35	15,10
<b>TMIN</b>	190,69 b	72,05	58,94	89,52	94,95	60,06	56,21	58,89	15,33
<b>T50</b>	180,90 ab	71,24	48,05	94,45	88,79	58,14	47,00	55,04	16,37
<b>T100</b>	168,92 ab	61,14	46,96	88,56	74,35	46,67	50,37	50,97	12,76
<b>T200</b>	223,27 a	77,18	46,93	80,81	73,61	56,73	44,57	51,62	12,14

## BILANCIO DELL'AZOTO

A conclusione del lavoro, si è proceduti con la determinazione del bilancio dell'azoto, nell'ambito dei due anni di sperimentazione, definendo le asportazioni delle singole colture e cumulate per tipologia di tesi, le restituzioni al terreno attraverso i residui colturali (anche qui singole e cumulate) e infine è stato riportato anche un grafico sull'andamento delle diverse tesi riguardo alle analisi del contenuto di azoto sul terreno.

Di seguito vengono riportati tutti i grafici. Nella sezione discussione verranno poi analizzati nello specifico.

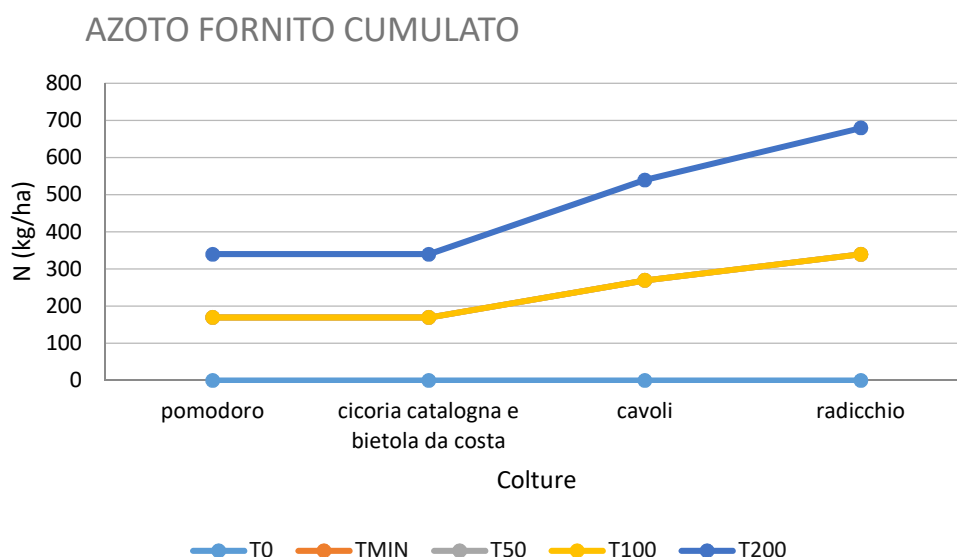


Figura 53 Azoto fornito cumulato nelle diverse tesi a confronto. I punti senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

## AZOTO ASPORTATO CUMULATO

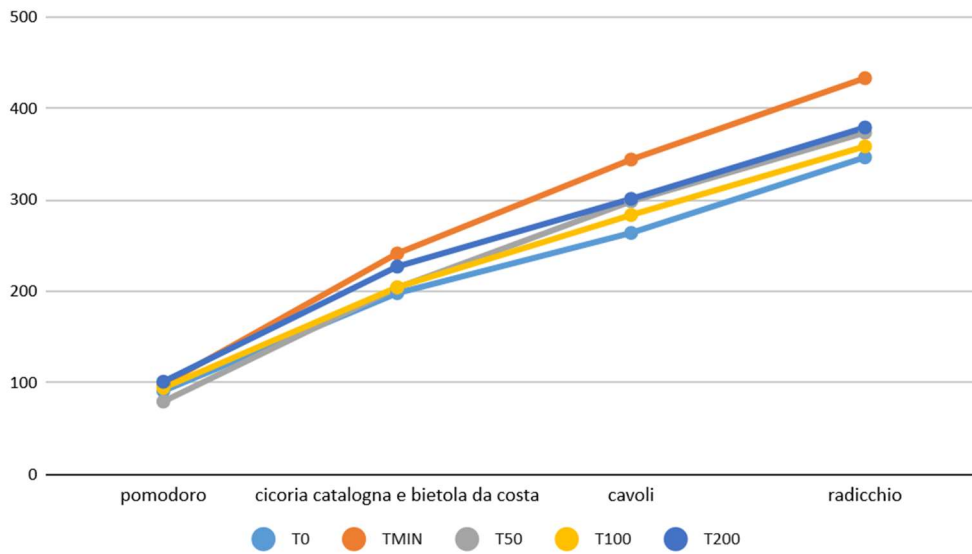


Figura 54 Azoto asportato cumulato. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

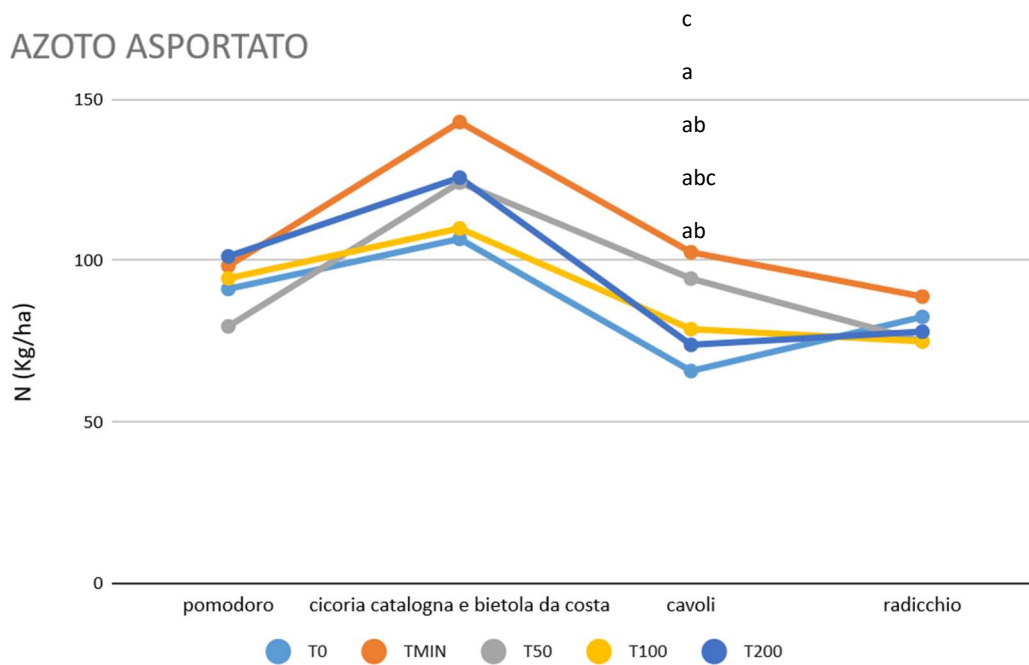


Figura 55 Azoto asportato. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

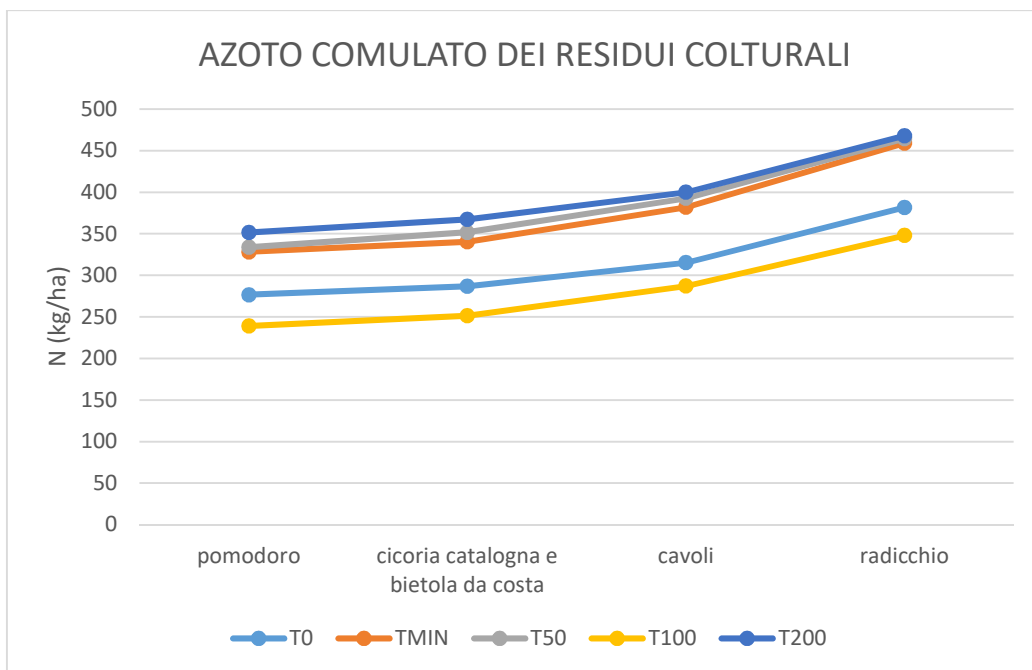


Figura 56 Azoto cumulato presente sui residui colturali. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

### AZOTO RESIDUI CULTURALI

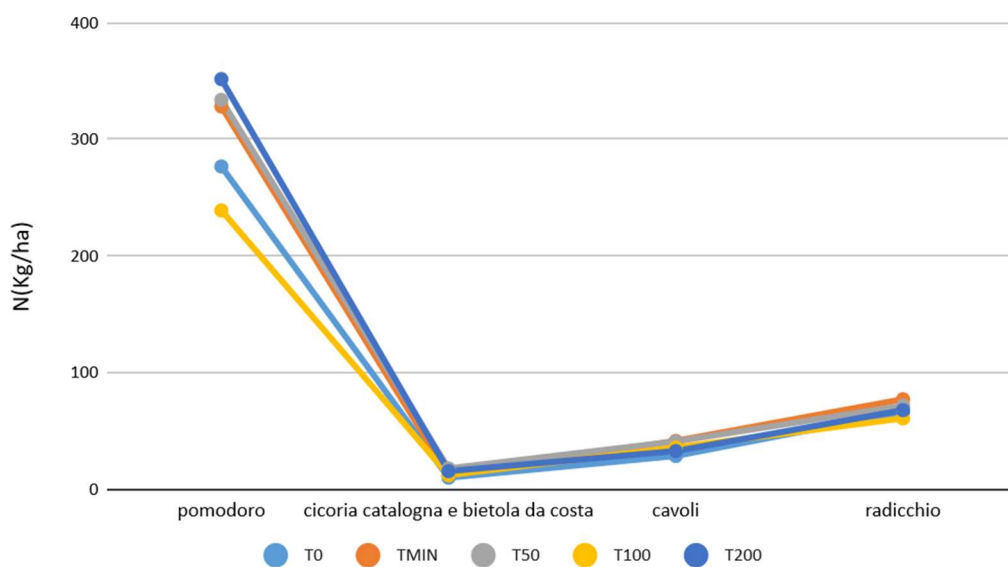


Figura 57 Azoto presente nei residui colturali. Le colonne senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P \leq 0,05$  secondo il Test HSD di Tukey.

Infine sempre in merito al bilancio dell'azoto si sono eseguite le analisi del terreno. Si riportano in figura 58 i risultati ottenuti.

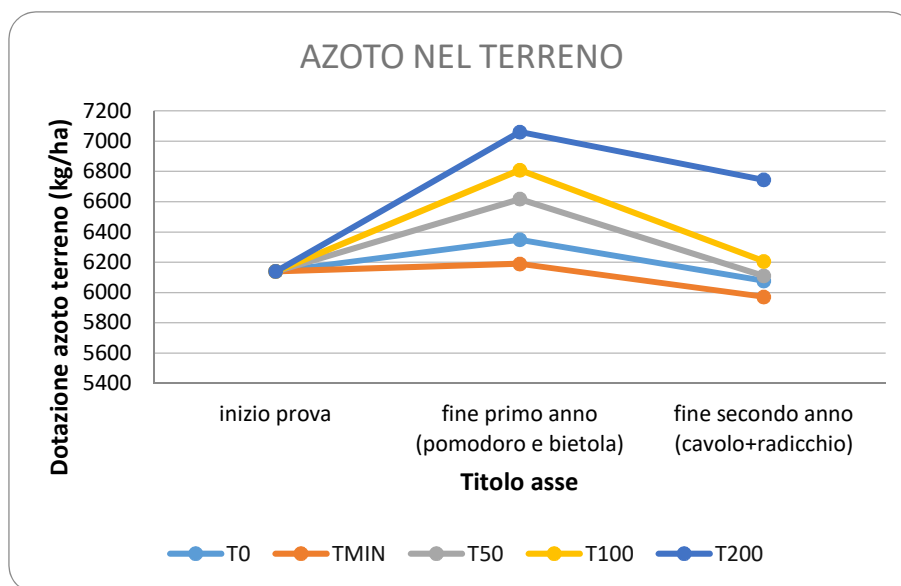


Figura 58 Evoluzione del contenuto di azoto nel terreno per le diverse tesi a confronto.





## DISCUSSIONE

A partire dalle analisi dei campioni di compost effettuate presso i laboratori dell'università di Padova, si può innanzitutto vedere che il contenuto di metalli pesanti risulta inferiore rispetto all'attuale normativa ovvero del Regolamento fertilizzanti n° 1009/2019. Fattore di primaria importanza per una buona qualità della matrice organica in quanto tali elementi tendono ad accumularsi nel terreno e generare problematiche di fitotossicità alle colture, non sempre scontato e che determina quindi una buona sicurezza chimica nell'utilizzo. Un altro fattore di apprezzamento del prodotto risulta anche il rapporto carbonio-azoto (C/N), si sono infatti osservati valori bassi (circa 12) sinonimo di una rapida mineralizzazione contrariamente al classico prodotto impiegato per la concimazione organica dei terreni ovvero il letame bovino con un rapporto C/N di circa 50 come riportato da Loh et al. (2005) e quindi una più rapida messa a disposizione della coltura degli elementi nutritivi. Importante questo anche per il fatto di coltivazione nella nostra sperimentazione di colture a breve ciclo e breve durata della sperimentazione. che nonostante questo, i trend osservati risultano lievi in quanto i processi di mineralizzazione richiedono tempistiche più lunghe per portare a una sorta di equilibrio il terreno in termini di messa a disposizione degli elementi nutritivi. Secondo quanto riportato da Nicoletto et al. (2019), una possibile problematica di questa matrice è una leggera salinità. Nonostante questo però, prove di medio lungo termine con altre matrici organiche caratterizzate da un'elevata salinità come il compost spento di fungaia (Gobbi et al., 2016; Gobbi et al., 2017), non hanno evidenziato problematiche nel tempo, sempre se la matrice viene utilizzata in modo razionale considerando come nel nostro caso i volumi di apporto in base al contenuto di azoto e alle esigenze colturali.

Buono risulta anche il contenuto di macroelementi, che permette di sfruttare la matrice non solo come ammendante, ma specialmente come fertilizzante obiettivo che si è posta la nostra tesi al fine di valorizzare il suo impiego in orticoltura.

Prendendo ora in considerazione gli aspetti produttivi dei diversi cicli colturali attuati nei due anni di sperimentazione, sono state riportate due tabelle riassuntive con i dati di produzione commerciale e con i dati di produzione di biomassa totale.

Innanzitutto le produzioni di biomassa commerciale per tutte le colture risultano in linea con le produzioni medie riportate secondo Amicabile (2016), ad eccezione del cavolfiore per

il quale le condizioni meteo sfavorevoli hanno indotto una precoce prefioritura e quindi una mancata possibilità di raccolta del prodotto e analisi dei dati. Si può subito vedere che valori elevati si sono sempre riscontrati in TMIN ovvero nella tesi minerale in cui la totalità delle unità fertilizzanti è stata apportata in forma minerale, questo è dovuto quindi ad una pronta disponibilità degli elementi nutritivi e quindi ad una loro non necessità di attendere il processo di mineralizzazione come avviene nel caso delle tesi organiche considerando anche il fatto che siamo ai primi anni di sperimentazione, in un terreno non a regime in termini di ciclo di utilizzazione della matrice organica.

A partire dalla prima coltura che ha dato avvio al progetto si possono osservare gli elevati valori produttivi del pomodoro; in particolare portando l'attenzione sulla tesi T0 che non si è differenziata dalle altre, a testimonianza di un'elevata fertilità del terreno in cui sono state condotte le prove. Tale aspetto va inoltre a mascherare le differenze fra le tesi almeno in questi primi anni. Mettendo a confronto il pomodoro (coltura primaverile-estiva) rispetto a colture accresciutesi in un periodo autunnale o primaverile come bietola da costa e cavolo cappuccio, si può notare che la maggiore produttività nel caso delle ultime due sia legata alla tesi TMIN. Tale risultato non si verifica nel periodo autunnale e primaverile a causa delle basse temperature, i processi di mineralizzazione sono fortemente rallentati e quindi l'assorbimento di azoto derivante dalla matrice organica diminuisce portando ad una maggiore produzione delle tesi minerali in cui gli elementi nutritivi sono già disponibili. Risultati simili sono stati osservati da Nicoletto et al. (2019) su lattuga cappuccia in cui l'epoca precoce di trapianto ha portato ad una minor possibilità di assorbimento di azoto nelle tesi organiche rispetto alla tesi minerale. Le colture primaverili-estive invece beneficiano delle alte temperature che favoriscono la mineralizzazione dei residui colturali, del compost apportato nell'anno e negli anni precedenti.

Abbinando quindi i due fattori: basse temperature e cicli brevi delle colture hanno comportato che nelle colture autunnali e primaverili precedentemente indicate, la tesi TMIN abbia avuto le performance produttive migliori; si sono poi attestate T50 in cui la parziale sostituzione delle unità azotate con matrici organiche ha permesso una certa disponibilità di nutrienti, e T200 (come nel caso della bietola da costa) in cui un'extra dose di compost ha permesso di giungere a risultati produttivi simili al TMIN. Ad ulteriore conferma di questo trend anche in radicchio si sono osservati risposte analoghe anche se con differenze non significative. La maggior produzione ha riguardato TMIN e T50, mentre

le tesi organiche hanno espresso valori più contenuti. In questo caso nonostante il ciclo più lungo rispetto ai due cicli colturali precedenti, le basse temperature e la maggiore piovosità che contraddistingue questo periodo, ha portato a tali risultati. Risultati simili sono stati ottenuti da Nicoletto et al. (2019) sempre su radicchio, ma anche da Mylavarapu et al. (2009) e Mkhabela et al. (2005) i quali hanno osservato un'equivalenza produttiva tra le tesi T100 e le tesi T50 dove avevamo una combinazione tra fertilizzante minerale e matrice organica.

Secondo quanto riportato da Benincasa et al. (2011) riguardo l'efficienza d'uso dell'azoto, essa dipende da una serie di fattori ovvero: dalla coltura, dalle pratiche colturali (fertilizzazione, irrigazione, densità di impianto) e da fattori ambientali (temperatura, precipitazioni e tessitura del suolo).

In merito alla tipologia di coltura, a parità di condizioni agronomiche, nel primo anno di sperimentazione è stato possibile vedere la differenza nei livelli di assorbimento di azoto che hanno differenziato bietola da costa e cicoria catalogna. In generale, le minori performance nell'ambito dell'assorbimento dell'azoto in cicoria catalogna vanno anche legate agli aspetti fisiologici intrinseci alla coltura. Confrontando i valori ricavati finora, seppur caratterizzati da elevata variabilità, è possibile osservare che la bietola da costa presenta maggiore efficienza nella gestione azotata. Questo è legato alla capacità di accumulo di azoto che la pianta possiede e che è tipica della famiglia delle *Chenopodiaceae*. Tale affermazione è supportata dalla percentuale di azoto su peso secco mediamente rilevata in bietola da costa e cicoria catalogna: nella prima si sono osservati valori pari al 3,7%, mentre nella seconda sono stati inferiori di un punto percentuale (2,7%). A parità di biomassa prodotta, infatti, nonostante ci sia una lieve differenza nella concentrazione di sostanza secca in bietola da costa (7,73%) rispetto alla cicoria catalogna (8,88%), il quantitativo di azoto assorbito dalla bietola da costa risulta comunque superiore. Abbiamo quindi risposte all'azoto di tipo specie specifico, dai grafici sulla loro efficienza si può infatti vedere come nel caso della bietola da costa la bassa efficienza d'uso dell'azoto calcolato con i diversi indici, bassa in T100, viene recuperata in T200 raggiungendo livelli prossimi al TMIN. Nel caso invece della cicoria catalogna in questo caso un Asteracea, le tesi organiche presentano tutte indici di efficienza minori, anche per la minore capacità di intercettazione dell'azoto di questa famiglia rispetto alle *Chenopodiaceae*.

Altro comportamento tipologia specifico è stato poi osservato anche nei cavoli cappucci. In particolar modo a livello di efficienza fisiologica, nonostante le differenze non siano significative, si è osservato che la varietà Alfaro risulta essere avvantaggiata dalla concimazione organica con le migliori performance in T100, nel caso invece della varietà Caramba, i migliori risultati in termini di efficienza fisiologica si sono registrati in T100 e una sostanziale equivalenza tra le tesi con concimazione organica.

In merito alle pratiche colturali invece è stata analizzata la concimazione. Per ogni ciclo colturale sono stati analizzati alcuni indici al fine di valutare l'efficienza d'uso dell'azoto, per studiare l'abilità delle colture in esame di intercettare l'azoto in relazione alla tipologia di concimazione eseguita.

Ricordiamo che si tratta di una prova di breve periodo in cui le colture hanno risentito di una forte fertilità residua come detto nel paragrafo precedente comportandone una scarsa significatività nelle differenze in termini di efficienza d'uso dell'azoto calcolata secondo diversi indicatori, come si può osservare in pomodoro ovvero la prima coltura che ha dato avvio alla sperimentazione. L'elevata fertilità iniziale va infatti a tamponare parzialmente la minore disponibilità di azoto di alcune tesi rendendo le produzioni più omogenee e attenuando le differenze tra le tesi. È necessario considerare che i minori valori di efficienza d'uso dell'azoto evidenziabili dalle tesi in cui è stata effettuata la concimazione organica sono correlabili al fatto che essendo interessate dall'apporto di matrici organiche, queste per rendere disponibili gli elementi nutritivi devono subire un processo di mineralizzazione che richiede tempo. Queste nozioni teoriche risultano verificabili in quanto già dal secondo e terzo ciclo colturale le differenze degli indici risultano più marcate. Inoltre la tesi T100, che risulta l'unica tesi in cui l'azoto è stato apportato totalmente in forma organica e secondo gli standard tipici della zona, presenta sempre o quasi indici di efficienza inferiori, a riconferma anche questo delle tempistiche necessarie per portare il terreno a regime con i processi di mineralizzazione e liberazione dell'azoto presente nella matrice organica. Risultati simili sono riportati da Nicoletto et al. (2019) in cui si mette particolare enfasi al confronto dei diversi indici di efficienza tra le tesi TMIN e T100, in una successione colturale di 5 anni, osservando nella maggior parte dei casi indici di efficienza maggiori nel TMIN.

In merito al radicchio si sono osservati livelli di efficienza per le tesi organiche inferiori, presumibilmente in seguito all'apporto di matrice organica e all'interramento dei residui colturali in una fase avanzata dell'anno, il processo di mineralizzazione è stato in parte

rallentato dall'avanzare della stagione fredda con una conseguente minor disponibilità di azoto. La stagione calda permette infatti di raggiungere tassi di mineralizzazione più elevati. Dal punto di vista qualitativo, la coltura su cui si è posta l'attenzione in questo lavoro di tesi è stato il radicchio. Come si può vedere dai grafici riportati nella sezione risultati, per i diversi aspetti analizzati in linea generale non sono emerse differenze significative tra le tesi ma si sono comunque potuti osservare comportamenti tipologia specifici, in particolar modo per la conducibilità elettrica (valori più bassi si sono osservati nel radicchio di Castelfranco mentre i più alti sul radicchio di Treviso, con una sostanziale equivalenza tra le diverse tipologie tra le diverse tesi, con un aumento della conducibilità all'aumentare degli apporti organici) e l'acidità titolabile (con i valori più bassi nella tipologia di Castelfranco).

Prendendo in esame le componenti antiossidanti è stato possibile valutare non solo la dotazione di importanti componenti utili per la salute del consumatore, ma anche valutare l'eventuale presenza di condizioni di stress che la coltura può avere vissuto durante il ciclo colturale. Come noto, infatti, qualsiasi forma di stress biotico o abiotico determina importanti variazioni nel metabolismo della pianta che quasi sempre si traducono in un incremento del contenuto di composti antiossidanti. In questo caso è stata analizzata la capacità antiossidante ed il contenuto di polifenoli totali. I risultati emersi da queste analisi non hanno evidenziato scostamenti di rilievo. Come ci si aspettava dal momento in cui è stata fatta la raccolta, il radicchio di Castelfranco ha presentato valori più bassi di capacità antiossidante e contenuto di polifenoli totali, fattore legato alla tipologia di radicchio e quindi anch'esso una risposta tipologia specifica, valori più elevati invece osservati sulla tipologia di Chioggia e Verona. Quest'ultima tipologia ha presentato valori più elevati in quanto è risultata la tipologia che ha subito maggior stress e difficoltà di accrescimento.

Infine riguardo le analisi di laboratorio si è visto che il contenuto di azoto in percentuale sulla sostanza secca è risultato per tutte le tipologie prossimo o inferiore al 4% mentre nella tipologia di Treviso si sono riscontrati valori più elevati prossimi al 9%. Saranno comunque necessari ulteriori anni di sperimentazione per evidenziare eventuali trend significativi.

Nell'ambito dell'intera rotazione colturale, si è proceduti con la redazione di un bilancio dell'azoto andando a differenziare i diversi trattamenti ovvero le diverse concimazioni che sono state attuate e riunendo le colture per ogni ciclo colturale, non differenziando le varietà o tipologie.

La valutazione degli apporti è stata di facile valutazione in quanto si sono inserite le unità apportate con le concimazioni organiche e/o minerali. Per quanto riguarda invece gli asporti colturali si è andati ad analizzare il contenuto percentuale di azoto del prodotto. In merito agli apporti di azoto, all'intero dei due anni di sperimentazione, con quattro cicli colturali sono state apportate: 0 unità ad ettaro per il T0 ovvero il testimone non trattato che ci ha permesso di utilizzarlo come riferimento per le nostre valutazioni; 340 unità ad ettaro di azoto per i trattamenti TMIN, T50 e T100 in diverse forme, minerale, organico e minerale, organico rispettivamente; infine nel trattamento T200 sono state apportate 680 unità ad ettaro. La rotazione colturale effettuata è stata in grado di sequestrare all'interno della biomassa commerciale e quindi asportare, un quantitativo di azoto variabile tra i 330 e i 380 kg ad ettaro a seconda del trattamento. Come atteso il minore quantitativo di azoto acquisito dalla parte commerciale del prodotto, si è osservato in T0, trattamento utilizzato come testimone per valutare la fertilità residua e come target di confronto, cui non è stata apportata nessuna concimazione. I valori più elevati sempre in termini di asporti si sono osservati in TMIN dove l'intero fabbisogno azotato è stato fornito in forma minerale, presumibilmente proprio questo ha contribuito al maggiore assorbimento dovuto ad una più pronta disponibilità. Al secondo posto invece troviamo il T200 trattamento in cui l'azoto risulta essere fornito completamente in forma organica al doppio della dose, in considerazione alle dinamiche che riguardano il processo di mineralizzazione e alla effettiva disponibilità di quanto apportato, proprio questo è stato il motivo della minore acquisizione da parte della biomassa commerciale. Poi al terzo e quarto posto per livello di assorbimento troviamo T50 e T100 rispettivamente. In quest'ultime due tesi gli apporti sono coincidenti con i quantitativi tipici con le tradizionali pratiche agronomiche della zona con T100 leggermente inferiore al T50. Questo perché nel caso del T100 le unità distribuite di azoto non saranno subito disponibili, ma solo dopo un processo di mineralizzazione che richiede tempo, diverso il caso invece di T50 in cui ha potuto beneficiare di una quota di azoto apportata in forma minerale e quindi prontamente disponibile. Da notare infine gli elevati valori delle asportazioni in T0 (380 kg/ha), sebbene inferiori alle altre tesi a confronto, denotano un elevato grado di fertilità del terreno oggetto della sperimentazione. Si è osservata anche una tendenza di inversione del comportamento delle tesi, con una riduzione delle differenze di assorbimento sull'ultimo anno di sperimentazione, tra le tesi minerali ed organiche, quest'ultime con pendenze più positive rispetto a quelle delle tesi

minerali. Ci si attende quindi una prosecuzione di tale andamento negli anni avvenire del progetto in quanto il terreno inizia ad entrare a regime con i processi di mineralizzazione. Ultimo aspetto che si può notare riguarda le differenze tra le colture da una parte abbiamo pomodoro, cicoria catalogna e bieta da costa con elevate asportazioni prossime o superiori a 100 unità ad ettaro, dall'altra abbiamo le diverse varietà di cavoli e le diverse tipologie di radicchio con asportazioni inferiori attorno a 70-90 kg/ha (come riportato anche da Filippini et al., 2011). Per il pomodoro invece, che presenta un'elevata produzione, la maggiore rispetto alle colture in successione, i valori di asportazione hanno presentato una via di mezzo tra i due estremi indicati, questo per l'elevato sviluppo della biomassa di scarto (vegetativa e frutti di scarto) come si può vedere in figura 56. A conferma dell'elevata fertilità residua del terreno a inizio sperimentazione, si può osservare oltre all'elevata quota di azoto asportato da T0 anche che le asportazioni di tutte le tesi risultano elevate tali da avere valori prossimi o addirittura superiori agli apporti. Saranno necessari più anni per ottenere una significativa riduzione dell'assorbimento di azoto in T0 accentuando le differenze con gli altri trattamenti. Analogamente a quanto fatto per l'azoto asportato dalla parte commerciale, si è andati a valutare l'azoto immobilizzato nella quota di biomassa di scarto che andrà ad esse incorporata nel terreno e successivamente incontro a processi di mineralizzazione. Nell'intera successione colturale, i quantitativi sono stati variabili tra i 350 e i 470 kg di azoto ad ettaro. Come si pensava, il T0 ha presentato valori bassi (381 kg/ha) questo in considerazione del minore sviluppo della coltura in relazione alla minore disponibilità di azoto. Con una quota minore invece si è attestato il T100 anche se non con differenze significative. Questo perché risulta l'unico trattamento in cui non è presente concime minerale e ad essere caratterizzato da un apporto di azoto organico calcolato utile a soddisfare le esigenze della pianta, tale situazione soprattutto nei primi anni di prova, non consente alla coltura di esprimersi al meglio perché è necessario che alcuni meccanismi legati alla mineralizzazione della sostanza organica abbiano avvio. T100 presenta quindi una minore spinta azotata rispetto alle altre tesi concimate comportandone un minore sviluppo in biomassa nelle sue componenti siano esse produttive che di scarto. Ai vertici in termini di azoto presente nella biomassa di scarto si sono attestate le rimanenti tesi (TMIN, T50 e T200) con valori molto vicini a 460 kg/ha.

Considerando le colture che si sono succedute, un maggiore apporto di azoto tramite residui colturali ha sicuramente riguardato il pomodoro in relazione alla sua elevata produzione di

biomassa. Minori invece sono risultate le quote apportate dalle altre colture. Analizzando ora i risultati ottenuti dalle analisi del suolo, partendo da una condizione comune del primo anno, si è marcata la tendenza del T200 a presentare valori più elevati, in linea con le attese in quanto viene fornito il doppio dell'azoto, tendenza che sicuramente si manterrà anche nei prossimi anni di sperimentazione e che tende già a distaccarsi dalle altre tesi già al secondo anno di prova. L'incremento notevole alla fine del primo anno potrebbe essere dovuto all'elevato interrimento di residui di pomodoro in particolar modo e alle lavorazioni più superficiali che hanno riguardato solamente lo strato 0-20 cm portando ad una maggior concentrazione su di esso. Mentre il decremento tra il primo e secondo anno potrebbe essere motivato dalla minore quantità di residui colturali apportati al suolo nel secondo anno, quindi ad una minore sequestro di azoto nella biomassa di scarto con maggior azoto disponibile per le perdite siano esse di volatilizzazione o maggiormente di lisciviazione.





## CONCLUSIONI

I risultati finora descritti hanno consentito di evidenziare una sostanziale equivalenza delle diverse modalità di concimazione sia sotto il profilo produttivo che qualitativo indipendentemente dall'applicazione esclusiva di fertilizzanti organici o loro interazione con concimi minerali, in termini di differenze statistiche anche se sono potuti emergere i primi trend. Tale panoramica è prevalentemente da attribuire al ridotto periodo di tempo intercorso dall'inizio delle prove sperimentali. Come più volte richiamato nel testo, le dinamiche relative alla concimazione organica nel terreno richiedono tempistiche più lunghe per poter riscontrare differenze significative tra le tesi a confronto. Inoltre va considerato che il terreno su cui è insistita la prova è contraddistinto da una buona fertilità iniziale che, quindi, soprattutto nelle prime fasi tende a mascherare i reali effetti delle modalità di concimazione adottate.

Dai risultati emersi finora è comunque possibile percepire degli andamenti che possono essere utilizzati come linee guida per una corretta applicazione delle matrici organiche siano esse compost o altre. Innanzitutto si consiglia un graduale passaggio dalla concimazione completamente minerale a quella organica in modo da evitare riduzione della resa specialmente nei primi anni, come è stato possibile vedere dai dati finora illustrati. Un graduale passaggio partendo ad esempio con T50 permette di iniziare la conversione e garantire comunque una certa quota di nutrienti disponibili alla pianta, sarà poi possibile andare ad incrementare la quota organica tenendo conto però delle eventuali integrazioni per i principali nutrienti in quanto i calcoli effettuati in questa sperimentazione per definire il quantitativo di compost sono stati fatti considerando il contenuto di azoto a cui sono state fatte integrazioni minerali di fosforo e potassio dove necessitava. Il tutto in modo da portare il terreno ad una sorta di equilibrio per quanto riguarda la messa a disposizione dei nutrienti tramite mineralizzazione.

Nel complesso appare sempre opportuno evidenziare la necessità di applicare la matrice compost, e le matrici organiche in generale, con modalità opportune ed in volumi idonei che tengano conto dei reali fabbisogni delle colture. Un impiego eccessivo di queste risorse può

comportare fenomeni importanti di lisciviazione dei nutrienti che si traduce in impatto ambientale e riduzione di alcune caratteristiche qualitative degli ortaggi legate alla conservabilità del prodotto e all'insorgenza di problematiche di tipo fitosanitario.

Saranno necessari ulteriori anni di sperimentazione per valutare al meglio le dinamiche che interessano le matrici organiche influenzate fortemente dal processo di mineralizzazione che va a regolare la disponibilità degli elementi nutritivi.



## BIBLIOGRAFIA

- Ahrens TD, Lobell DB, Ortiz-Monasterio JI, Li Y, Matson PA. 2009. Narrowing the agronomic yield gap with improved nitrogen use efficiency: a modeling approach. *Ecol. Appl.*
- Benincasa, P.; Guiducci, M.; Tei, F. The nitrogen use efficiency: Meaning and sources of variation—Case studies on three vegetable crops in Central Italy. *HortTechnology* 2011, 21, 266–273
- Biavati B., Sorlini C., 2008. *Microbiologia agroambientale*. Casa editrice Ambrosiana.
- Caporali, (1991) *Ecologia per l'Agricoltura*, Utet – Torino
- Cassman KG, Dobermann A, Walters DT. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO* 31:132–40.
- Cherry KA, Shepherd M, Withers PJA, Mooney SJ. 2008. Assessing the effectiveness of actions to mitigate nutrient loss from agriculture: a review of methods. *Sci. Total Environ.* 406:1–23.
- Das, M., Uppal, H.S., Singh, R., Beri, S., Mohan, K.S., Gupta, V.C., Adholeya, A., 2011. Co-composting of physic nut (*Jatropha curcas*) deoiled cake with rice straw and different animal dung. *Bioresour. Technol.* 102 (11), 6541e6546.
- Hermann, B.G., Debeer, L., De Wilde, B., Blok, K., Patel, M.K., 2011. To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polym. Degrad. Stab.* 96, 1159e1171.
- Ju X-T, Xing G-X, Chen X-P, Zhang S-L, Liu Z-L, et al. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106:3041–46.
- Kulikowska, D., 2016. Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting. *Waste Manage* 49, 196e203.
- Kulikowska, D., Gusiatin, Z.M., Bułkowska, K., Kierklo, K., 2015. Humic substances from sewage sludge compost as washing agents effectively remove Cu and Cd from soil. *Chemosphere* 136, 42e49.
- Loh, T.C.; Lee, Y.C.; Liang, J.B.; Tan, D. Vermicomposting of cattle and goat manures by *isenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresour.*

Technol. 2005, 96, 111–114.

- Mehta, C.M., Palni, U., Franke-Whittle, I.H., Sharma, A.K., 2014. Compost, its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste Manage* 34, 607e622.
- Mylavarapu, R.S.; Zinati, G.M. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Sci. Hortic.* 2009, 120, 426–430.
- Mkhabela, M.S.; Warman, P.R. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2005, 106, 57–67.
- Nicoletto Carlo, Luisa Dalla Costa, Paolo Sambo and Giampaolo Zanin Distillery. 2019. Anaerobic Digestion Residues as Fertilizers for Field Vegetable Crops: Performance and Efficiency in Mid-term Successions mineralizzazione che va a regolare la disponibilità.
- Onwosi C., Igbokwe V., Odimba J., Eke I., Nwankwoala M., Iroh I., Ezeogu L., 2016. Composting technology in waste stabilization: on the methods, challenges and future prospects.
- Pandey, P.K., Cao, W., Biswas, S., Vaddella, V., 2016. A new closed loop heating system for composting of green and food wastes. *J. Clean. Prod.* 133, 1252e1259.
- Pietronave, S., Fracchia, L., Rinaldi, M., Martinotti, M.G., 2004. Influence of biotic and abiotic factors on human pathogens in a finished compost. *Water Res.* 38, 1963e1970.
- Proietti, P., Calisti, R., Gigliotti, G., Nasini, L., Regni, L., Marchini, A., 2016. Composting optimization: integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted. *J. Clean. Prod.* 137 (20), 1086e1099.
- Qian, X., Shen, G., Wang, Z., Guo, C., Liu, Y., Lei, Z., Zhang, Z., 2014. Co-composting of livestock manure with rice straw, Characterization and establishment of maturity evaluation system. *Waste Manage* 34, 530e535.
- Robertson GP. 1997. Nitrogen use efficiency in row-crop agriculture: crop nitrogen use and soil nitrogen loss. See Ref. 135, pp. 347–65.
- Sansavini S., Costa G., Gucci R., Inglese P., Ramina A., Xiloyannis C., 2014. *Arboricoltura generale*, Patron Editore, Bologna.

- Sequi P., Ciavatta C., Miano T., 2017. Fondamenti di chimica del suolo. Patron editore.
- Wang, K., He, C., You, S., Liu, W., Wang, W., Zhang, R., Qi, H., Ren, N., 2015. Transformation of organic matters in animal wastes during composting. J. Hazard. Mater 300, 745e753.
- Wang, Y., Ai, P., Cao, H., Liu, Z., 2015. Prediction of moisture variation during composting process: a comparison of mathematical models. Bioresour. Technol. 193, 200e205.
- Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente, 2002. Il recupero di sostanza organica dai rifiuti per la produzione di ammendanti di qualità.