



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

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

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

## **Applicazione del compost tea in coltivazione idroponica NFT: valutazione di aspetti produttivi e qualitativi in lattuga e basilico**

Relatore

Prof. Nicoletto Carlo

Correlatore

Dott. Giordano Uberti

Laureanda

Noemi Gallan

Matricola

2056013

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

## INDICE

<i>ABSTRACT</i> .....	7
<i>Riassunto</i> .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<i>Capitolo 1: Introduzione</i> .....	11
1.1 Obiettivi Agenda 2030 .....	11
1.2 Pratiche agronomiche mirate alla sostenibilità.....	12
1.2.1 Idroponica .....	13
1.2.2 Aspetti positivi e problematiche connesse al fuori suolo .....	17
1.2.3 Bioponica.....	18
1.2.4 Compostaggio .....	18
1.2.5 Influenza dei parametri e delle condizioni climatiche di coltivazione .....	20
1.3 Legislazione in materia di compostaggio .....	20
1.3.1 Normativa Comunitaria .....	20
1.3.2 Normativa Nazionale .....	23
1.3.3 Normativa Regionale .....	23
1.3.4 Normativa Comunale/Autorizzazioni.....	24
1.4 Definizione e peculiarità del Compost Tea .....	24
1.4.1 Componenti principali del CT e Proprietà chimiche .....	25
1.4.2 Benefici derivanti dagli elementi nutritivi presenti .....	25
1.4.3 Quantitativo di Microrganismi benefici presenti .....	29
1.4.4 Inquinanti contenuti ed effetti derivanti.....	30
1.5 Scelta del materiale di partenza.....	33
1.5.1 Effetti dovuti alla qualità del compost iniziale .....	33
1.6 Produzione ed estrazione del CT .....	36
1.6.1 Generalità sui metodi di Estrazione (Metodo Aerato e Non Aerato) .....	36
1.6.2 Modalità di Estrazione di CT aerato “ACT” .....	37
1.6.3 Modalità di Estrazione CT non aerato o “NCT”.....	39
1.6.4 Periodo di Estrazione .....	39
1.6.5 Filtraggio.....	40
1.6.6 Costi di Produzione.....	40
1.7 Benefici e problematiche correlati all’uso di Tè di Compost.....	41
1.7.1 Proprietà benefiche .....	41

1.7.2 Confronto con altri concimi microbiologici .....	43
1.7.3 Problematiche riscontrabili nella produzione .....	44
1.8 Applicazione del Compost Tea .....	45
1.8.1 Normativa che ne regola l'applicazione.....	45
1.8.2 Utilizzo di CT e modalità di applicazione .....	45
<i>Capitolo 2: Scopo del lavoro</i> .....	49
<i>Capitolo 3: Materiali e metodi</i> .....	51
3.1.1 Preparazione del Compost Tea .....	51
3.1.2 Preparazione dei contenitori/materiale per la coltivazione.....	52
3.2 Schema sperimentale e controlli svolti (I e II specie) .....	53
3.3 Realizzazione delle prove.....	55
3.4 Specie coltivate.....	56
3.5 Rilievi non distruttivi.....	57
3.5.1 Parametri e condizioni climatiche di coltivazione.....	57
3.5.2 Parametri delle soluzioni nutritive.....	59
3.5.3 Parametri fisiologici.....	59
3.6 Rilievi fisici e fotografici Canopy .....	61
3.7 Rilievi distruttivi.....	62
3.7.1 Determinazione della Biomassa.....	62
3.7.2 Sostanza secca foglie e radici .....	62
3.8 Rilievi specie specifici.....	62
3.8.1 Diametri della lattuga.....	62
3.8.2 Altezze e numero dei fusti di basilico.....	62
3.8.3 Estrazione degli oli essenziali di basilico .....	63
3.9 Analisi organolettiche e qualitative .....	63
3.9.1 Analisi qualitativa .....	63
3.9.2 Analisi statistica.....	67
<i>Capitolo 4: Risultati</i> .....	69
4.1 Estrazione del Compost Tea.....	69
• Contenuto nutrizionale .....	70
4.2 Lattuga.....	70
4.2.1 Rilievi non distruttivi .....	70
• Indice SPAD.....	70

• Dualex .....	71
• Canopy cover.....	73
4.2.2 Rilievi distruttivi .....	74
• Accrescimento .....	74
• Determinazione della Biomassa .....	75
• Sostanza secca di foglie, fusti e radici.....	77
4.2.3 Rilievi specie specifici .....	78
• Water Use Efficiency .....	78
• Diametro della lattuga .....	78
• pH, conducibilità elettrica e acidità titolabile nella lattuga .....	79
4.2.4 Rilievi qualitativi .....	80
• Contenuto di pigmenti .....	80
• Contenuto di minerali e clorofille.....	81
• Contenuto di antiossidanti e polifenoli totali .....	82
4.3 Basilico .....	83
4.3.1 Rilievi non distruttivi .....	83
• Indice SPAD.....	83
• Dualex .....	84
4.3.2 Rilievi distruttivi .....	88
• Accrescimento .....	88
• Determinazione della Biomassa .....	88
• Sostanza secca di foglie, fusti e radici.....	90
4.3.3 Rilievi specie specifici .....	92
• Water Use Efficiency .....	92
• Valori Li-COR rilevati nel basilico .....	92
• Altezze e numero dei fusti di basilico .....	93
• Estrazione degli oli essenziali di basilico .....	95
4.3.4 Rilievi qualitativi .....	97
• Contenuto di pigmenti .....	97
• Contenuto di minerali e clorofille.....	98
• Contenuto di antiossidanti e polifenoli totali .....	101
<i>Capitolo 5: Discussione .....</i>	<i>103</i>

<i>Capitolo 6: Conclusione</i> .....	107
<i>Bibliografia</i> .....	109
<i>Sitografia</i> .....	122



## **ABSTRACT**

By virtue of the need to opt for cultivation techniques, agronomic practices and external inputs that respect and promote environmental sustainability, pursuing resource savings through recycling and reducing waste, it is proving increasingly imperative to favor the use of substances and products that have a lower environmental impact but, at the same time, allow us to guarantee circularity in the management of resources.

It has already been demonstrated in the literature that Compost Tea proves to be a liquid extract with reasonable potential for use, capable of promoting the recovery of result materials and implemented and supporting crop growth due to its multiple beneficial properties, although the resulting effects do not are strongly influenced by various factors (production methods, extraction and application, quality and intrinsic characteristics).

An attempt was therefore made to evaluate the functionality of compost tea in application to bioponics, in order to evaluate the propensity of this solution to prove to be an effective agronomic alternative compared to common synthetic fertilizers used in soilless cultivation, and to evaluate and compare the properties, positive effects and possible problems encountered from its application in different types of species (broad-leaved and aromatic vegetables). By carrying out two NFT hydroponic cultivation tests of lettuce and basil in a protected environment, the effect of four nutritional solutions was compared, evaluating the qualitative and quantitative aspects found in them and highlighting the merits and problems connected to this system of cultivation, to promote the valorization and recovery of useful organic matrices.

The peculiarities that emerged concerned the significant nutritional capacities of the CTC, which proved to be a fairly valid treatment and capable of bringing about beneficial effects in the production and quality parameters of the crops, achieving cultivation results that were sometimes almost comparable to those achieved by the mineral control treatment. . Contrary to this, the CTE treatment resulted in modest and limited crop effects, due to a condition of nutritional and physiological stress which the plants were affected during the entire cultivation cycle. The treatment subjected to ionized air proves to be more adequate than CTE, but subject to limiting factors (temperature of the cultivation environment), so it can be deduced that the treatment with compost extract correct from a nutritional point of view is the most similar, in terms of qualitative and productive benefits, to that of control.

From this study, the potential of compost tea emerges in bringing discrete benefits to crops, sometimes similar to those determined by mineral control, but it is clear, at the same time, that this extract does not prove capable of fully satisfying the nutritional needs of crops, requiring

considerable correction with chemical fertilizers to compensate for the nutrients it lacks and which are of significant importance for the cultivation of plants (especially Nitrate and Phosphorus).

Since it is strongly subject to production methods and characteristics, the applicability of this extract must also reflect a strong synergy between the producer and the final recipient: the producer should take steps to characterize the Compost (carrying out an analysis of the elements present and of the parameters that distinguish it) and it should be the responsibility of those who use it in agriculture to refer to the analytical results provided by the manufacturer to evaluate how to best prepare its use.

By virtue of this, promoting knowledge of the techniques and methods to be adopted to produce and use CT could provide a future perspective for less developed communities and countries, which could benefit more from being able to replicate them with the means and raw materials at your disposal.

## **RIASSUNTO**

In virtù della necessità di optare per tecniche di coltivazione, pratiche agronomiche e input esterni che rispettino e promuovano la sostenibilità ambientale, perseguendo il risparmio delle risorse tramite il riciclo e la riduzione degli sprechi, si dimostra sempre più inderogabile prediligere l'uso di sostanze e prodotti che presentino un minor impatto ambientale ma, al contempo, permettano di garantire una circolarità nella gestione delle risorse.

In letteratura è già stato dimostrato che il Compost Tea si rivela un estratto liquido con discrete potenzialità di utilizzo, in grado di favorire il recupero di materie di risulta ed implementare e supportare la crescita colturale per le sue molteplici proprietà benefiche, sebbene gli effetti derivanti risultino fortemente condizionati da svariati fattori (modalità di produzione, estrazione e applicazione, qualità e caratteristiche intrinseche).

Si è, pertanto, cercato di valutare la funzionalità del compost tea in applicazione alla bioponica, al fine di vagliare la propensione di questa soluzione a dimostrarsi un'efficace alternativa agronomica rispetto ai comuni fertilizzanti di sintesi utilizzati nella coltivazione fuori suolo, e valutare e comparare le proprietà, gli effetti positivi e le possibili problematiche riscontrabili dalla sua applicazione in specie di diverso genere (ortaggi a foglia larga e aromatiche). Realizzando due prove di coltivazione in idroponica NFT di lattuga e basilico in ambiente protetto, si è confrontato l'effetto di quattro soluzioni nutritive, valutando gli aspetti di carattere qualitativo e quantitativo riscontrabili in esse ed evidenziando i pregi e le problematiche connesse a tale sistema di coltivazione, per promuovere la valorizzazione ed il recupero delle matrici organiche utili.

Le peculiarità emerse hanno riguardato le rilevanti capacità nutritive del CTC, il quale si è dimostrato un trattamento discretamente valido ed in grado di comportare effetti benefici nei parametri produttivi e qualitativi delle colture, raggiungendo risultati colturali talvolta quasi paragonabili ai quelli raggiunti dal trattamento di controllo minerale. Contrariamente a ciò, il trattamento CTE ha comportato effetti colturali modesti e contenuti, dovuti ad una condizione di stress nutrizionale e fisiologico di cui le piante hanno risentito durante l'intero ciclo di coltivazione. Il trattamento sottoposto ad aria ionizzata si dimostra, rispetto al CTE, più adeguato, ma soggetto a fattori limitanti (temperatura dell'ambiente di coltivazione), per cui si desume che il trattamento con estratto di compost corretto dal punto di vista nutrizionale è quello più simile, in termini di benefici qualitativi e produttivi, a quello di controllo.

Da tale studio emerge la potenzialità del compost tea nell'apportare discreti benefici alle colture, talvolta simili a quelli determinati dal controllo minerale, ma si evince, al contempo, che tale estratto non si dimostra in grado di soddisfare a pieno il fabbisogno nutrizionale delle colture, necessitando di una notevole correzione con fertilizzanti chimici per compensare i nutrienti di cui

risulta carente e che sono di rilevante importanza per la coltivazione delle piante (in particolar modo Nitrato e Fosforo).

Poiché fortemente assoggettata a modalità e caratteristiche di produzione, l'applicabilità di questo estratto deve, inoltre, riflettere una forte sinergia fra il soggetto produttore e il destinatario finale: il produttore dovrebbe provvedere a caratterizzare il Compost (svolgendo un'analisi degli elementi presenti e dei parametri che lo contraddistinguono) e dovrebbe essere onere di chi ne fa uso in agricoltura, far riferimento ai risultati analitici forniti dal produttore per valutare come predisporre al meglio l'utilizzo.

In virtù di ciò, promuovere la conoscenza delle tecniche e modalità da adottare per produrre e utilizzare il CT, potrebbe delinearsi una prospettiva futura per le comunità e i paesi meno sviluppati, i quali potrebbero trarre maggior giovamento nel poterle replicare con i mezzi e le materie prime a propria disposizione.

# Capitolo 1: Introduzione

## 1.1 Obiettivi Agenda 2030

Negli ultimi anni si sta affermando sempre più la consapevolezza che le tematiche di sostenibilità, corretta gestione e utilizzo delle risorse, economia circolare e riduzione dei consumi debbano costituire gli obiettivi primari da perseguire per promuovere la tutela e salvaguardia ambientale. A tal scopo, il 25 settembre 2015 è stata sottoscritta e approvata a livello comunitario l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, finalizzata ad identificare le soluzioni comuni da adottare per risolvere le maggiori sfide ambientali, delineando un vero e proprio programma d'azione avente validità globale. Questo programma è fondato su 17 obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile che fungano da linee guida per una gestione del mondo in ottica di sostenibilità.

I 17 obiettivi (Fig. 1) sono, infatti, identificati sulla base delle necessità riscontrate riguardo i tre pilastri dello sviluppo sostenibile (economia, società ambiente), con la finalità di fornire una serie di misure utili ad affrontare in modo integrato problematiche di povertà, giustizia, cambiamenti climatici, qualità dell'ambiente e della vita.

Per accertarsi che gli Stati Membri mantengano effettivamente fede e promuovano delle proprie Strategie Nazionali, sono, inoltre, prefissate delle valutazioni annuali e dei dibattiti con scadenza quadriennale relative allo svolgimento dei progressi e risultati ottenuti.



Figura 1 Obiettivi dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile.

## 1.2 Pratiche agronomiche mirate alla sostenibilità

In un contesto globale sempre più volto ad uno sviluppo sostenibile, il possibile recupero di risorse e di composti nutrienti si dimostra tanto un beneficio, quanto una vera e propria necessità, che tutti gli Stati Membri dell'Unione sono tenuti a perseguire, come delineato al dodicesimo obiettivo dell'agenda 20-30 "Consumo e produzione responsabili". In particolar modo, nel sottoparagrafo 12.5 del medesimo è, infatti, specificato che è necessario:

“Entro il 2030, ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclaggio e il riutilizzo”.

In virtù di ciò, si evince che tutte le pratiche agronomiche tese al recupero di nutrienti, sostanze benefiche e microrganismi utili siano da favorire e implementare con tecniche e approcci innovativi e specializzati. Assumono, dunque, un ruolo di particolare rilevanza la coltivazione fuori suolo e, soprattutto, il compostaggio, in quanto tecniche potenzialmente efficaci per un uso più sostenibile di acqua e fertilizzanti. In aggiunta, l'estrazione del Compost Tea rappresenta un'opzione interessante per il recupero di elementi nutritivi, nonostante i limiti legati alla natura del materiale di partenza del compost e alle metodologie impiegate per la sua produzione ed applicazione.

La coltivazione fuori suolo in ambiente protetto si riferisce ad un sistema di produzione agricola che prevede la somministrazione di una soluzione nutritiva adeguata alle esigenze colturali e produttive, in cui le piante non sono coltivate a diretto contatto col suolo agrario, ma sono collocate su differenti tipologie di supporti e/o substrati (Savaas, 2017), da cui la distinzione in coltivazione su substrato organico o inorganico, ed in mezzo liquido nota come "idroponica".

Il compostaggio si dimostra una pratica particolarmente efficace, poiché finalizzata al recupero di elementi e sostanze utili per le colture, derivanti da rifiuti e residui organici di varia natura (De Corato, 2020). Attraverso un processo di trasformazione della materia organica in composti più semplici e ricchi di sostanze umiche, esso consente una gestione sostenibile dei rifiuti, garantendo il recupero dei nutrienti disponibili e favorendo un parziale smaltimento, riducendo così il rischio di ulteriori inquinamenti ambientali. Il risultato di tale processo è l'ottenimento di un ammendante organico, utilizzabile in agricoltura in diverse formulazioni: può essere distribuito tal quale nel suolo agrario, impiegato in sistemi innovativi come la produzione di substrati colturali o utilizzato per la preparazione del compost tea (De Corato, 2020), (Centemero e Zanardi, 2007) e (Pilla et al., 2023).

L'estrazione del Tè di Compost è una tecnica che, a sua volta, consente di valorizzare materie organiche di risulta, attraverso il recupero di elementi nutritivi essenziali per lo sviluppo delle colture; questo processo consente quindi di ridurre l'utilizzo di concimi di sintesi, permettendo, al

tempo stesso, di ridurre l'impatto ambientale delle produzioni, in un contesto di circolarità delle produzioni agrarie (De Corato, 2020). Esso consiste, infatti, in un formulato liquido che da svariati anni è stato introdotto in agricoltura per le molteplici caratteristiche, proprietà benefiche e quota di microrganismi utili che possiede e che verranno approfondite in seguito (Eudoxie e Martin, 2019).

### ***1.2.1 Idroponica***

In merito ai sistemi colturali per orticole e ornamentali, l'idroponica si caratterizza per essere un sistema di coltivazione che, come sopraccitato, prevede la presenza di un mezzo liquido (soluzione nutritiva) in sostituzione del comune suolo agrario (Savaas, 2017), con il quale le piante entrano a contatto durante il processo di crescita e che permette un efficiente risparmio di acqua e fertilizzanti (Maharana et al., 2011). Secondo le sperimentazioni svolte, tale tecnica colturale consente benefici vantaggi di coltivazione, fra cui resa continua, riduzione dello spazio richiesto dalle colture (Hughes, 2017), maggior adattabilità alle condizioni climatiche esterne, poiché, coltivate in ambiente protetto, non ne risultano eccessivamente influenzate (Savvas, 2017) e (Lee e Lee, 2015), raggiungimento di un'elevata qualità con maggiore produttività (Okemwa, 2015), nonché riduzione della manodopera e delle pratiche colturali tradizionali (diserbo, lavorazione del terreno, preparazione del terreno) (Lee e Lee, 2015).

Oltre a ciò, è di rilevante importanza la capacità di questo sistema di coltivazione nel promuovere la lotta contro i patogeni tellurici (Ferrante, 2013) e contrastare molte delle problematiche di carattere fitopatologico ad essi connesse. Grazie alla coltivazione senza suolo o su substrato, adeguatamente preparato e trattato al fine di evitare la proliferazione di agenti patogeni, la prevenzione di malattie trasmesse tramite il suolo (Lommen, 2007) e la riduzione degli effetti negativi derivanti dai patogeni è promossa dalla coltivazione idroponica, in grado di garantire discreti vantaggi rispetto alle tradizionali tecniche di coltivazione e superare molte problematiche ad esse correlate (Lee e Lee, 2015).

Si annoverano diverse tipologie di sistemi di coltivazione nell'idroponica, classificati in virtù della modalità di azione del sistema (attivo o passivo) (Macwan et al., 2020), del recupero o meno della soluzione nutritiva (ciclo aperto e ciclo chiuso) (Sardare e Admane, 2013) e presenza o meno del substrato (su substrato o in idrocoltura), con ulteriore distinzione in base alla natura dello stesso (inorganico oppure organico) (Velazquez-Gonzalez et al., 2022).

Negli impianti a "ciclo aperto" la soluzione nutritiva apportata non è soggetta a ricircolo ma immessa nell'ambiente (ciò comporta conseguenti maggiori costi da sostenere per acqua e ammendanti oltre ad un significativo impatto negativo sull'ambiente), mentre, in quelli a "ciclo chiuso", si ha un recupero della soluzione utilizzata in quanto soggetta a ricircolo, recupero,

correzione ed eventuale sanificazione (Ehret et al., 2001). Da ciò si evince, dunque, che tra gli aspetti vantaggiosi conseguibili da tale pratica emerge il notevole risparmio idrico e nutrizionale reso possibile dal sistema a ricircolo continuo, responsabile, oltre a ciò, anche di un minor impatto e di minori immissioni nell'ambiente e dell'aumento dell'efficienza d'uso di acqua e fertilizzanti (Ehret et al., 2001) e (Velazquez-Gonzalez et al., 2022).

È bene tener presente, però, che la diffusione dei patogeni in questi sistemi di coltivazione si differenzia molto in base alla tipologia di ciclo adottato. Mentre, infatti, nel ciclo chiuso si ha una maggiore incidenza dello sviluppo di patogeni radicali, essendo le radici a diretto contatto con la soluzione nutritiva nel quale il patogeno può svilupparsi e diffondersi facilmente (Postma et al., 1999), nel ciclo aperto, la percentuale di incidenza diminuisce molto, proprio in virtù ai processi di disinfezione e sanificazione della stessa (Schnitzler, 2005).

Fra i sistemi di disinfezione delle soluzioni nutritive più comunemente utilizzati si annoverano l'uso del calore tramite pastorizzazione, a 60°C per 20 min con un effetto solo parziale di disinfezione (Runia e Amsing, 2000), a 90°C per 2 minuti o a 85°C per 3 minuti per un effetto completo (Runia, 1998); utilizzo di ozono o perossido di idrogeno, con necessità di acidificare il pH per garantirne l'efficacia (Van Os et al., 2003) e uso di raggi ultravioletti (UV), sebbene esso risulti un metodo piuttosto costoso e necessiti di una preventiva filtrazione per rimuovere le sostanze presenti in soluzione, le quali potrebbero comprometterne l'efficacia (Van Os et al., 2003). Oltre ad essi, vi sono anche l'utilizzo di fungicidi, cloro gassoso o ipoclorito di calcio e sodio, sebbene ad essi siano associati dei rischi dovuti alla possibile insorgenza di fenomeni resistenza e fitotossicità (Ehret et al., 2001) o il ricorso ai processi di filtrazione, praticati con membrane o in modalità lenta su sabbia (Van Os et al., 2003).

Un trattamento che si differenzia dai tradizionali sistemi di sanificazione, ma che si dimostra altrettanto efficace, consiste nel trattamento con NTP Non Thermal Plasma, un gas ionizzato a bassa temperatura costituito da elettroni, ioni, radicali e specie neutre (Surowsky et al., 2015).

Il plasma è caratterizzato da un passaggio di energia che si realizza dapprima fra i campi elettrici agli elettroni, e poi da questi alle particelle; tale passaggio determina, come riscontrato da (Surowsky et al., 2015) e (Shao et al., 2022), la distinzione fra due principali tipologie di plasma a bassa temperatura: plasma termico e NTP. Il plasma termico è in equilibrio perché, sebbene vi sia un'iniziale differenza di temperatura fra le particelle presenti, essa è poi compensata dalle ulteriori collisioni energetiche; nel plasma non termico (o "freddo"), al contrario, vi è una mancata compensazione energetica, dalla quale deriva una discreta differenza di temperatura, molto elevata negli elettroni e molto simile a quella ambientale nelle particelle (Fridman, 2008). In particolar

modo, il valore di temperatura osservato negli elettroni è determinato dalla maggiore attività svolta dagli stessi, poiché deputati ai fenomeni di eccitazione e ionizzazione (Fridman, 2008) ed in grado di attivare le specie reattive all'ossigeno e all'azoto (rispettivamente ROS e RONS). I ROS e RONS possono poi, a loro volta, determinare l'ossidazione delle molecole presenti nella cellula e nel citoplasma (spazio extracellulare e lipidi nello strato citoplasmatico), e comportare, così, cambiamenti nell'espressione genica, nell'accrescimento e nei meccanismi di difesa delle colture (Park et al., 2013), (Holubová, et al., 2020), (Carmassi et al., 2022) e (Ercan Karaayak et al., 2023). L'utilizzo di questo gas si contraddistingue per diversi benefici: produzione di ozono e derivati, mancato rilascio di residui sulle colture (potenziale fonte di danno), minor costo energetico rispetto all'uso di lampade UV, maggior efficacia poiché avente azione diretta sulle frazioni organiche e discreta durata di vita (Sarangapani et al., 2018) e (Ravindran et al., 2019).

Una volta garantito il processo di sanificazione della soluzione nutritiva, dal punto di vista chimico, essa è costituita da diversi elementi nutritivi, ognuno dei quali deve essere presente nella corretta concentrazione per garantire un'adeguata performance delle colture (Son et al., 2020). Pertanto, la soluzione dev'essere correttamente bilanciata nel rapporto fra acqua e nutrienti, nonché controllata dal punto di vista chimico onde evitare condizioni di coltivazione non idonee, in particolare in relazione ai valori di pH e conducibilità elettrica (EC), rapporto tra gli ioni secondo precise dinamiche di sinergia ed antagonismo (Barbosa et al., 2015) e (Jan et al., 2020). A tal proposito, si dimostra necessario effettuare analisi preliminari dell'acqua disponibile e periodiche della soluzione apportata, per poter correggere gli eventuali squilibri ionici che si possono verificare con il trascorrere del tempo, compensando gli eventuali nutrienti mancanti tramite opportune correzioni (Son et al., 2020). Fra le tecniche previste nei sistemi idroponici, si annoverano:

- **Aeroponia** (Fig. 2), caratterizzata dalla coltivazione di piante posizionate in apposite strutture, con le radici sospese in condizioni di buio, sulle quali viene nebulizzata la soluzione nutritiva a intervalli regolari e ravvicinati per brevi periodi di tempo. Questo sistema permette di raggiungere buoni risultati ed elevate densità colturali, con un'elevata efficienza d'uso dell'acqua, sebbene l'elevata tecnologia e l'assenza di substrato possano essere un fattore limitante.

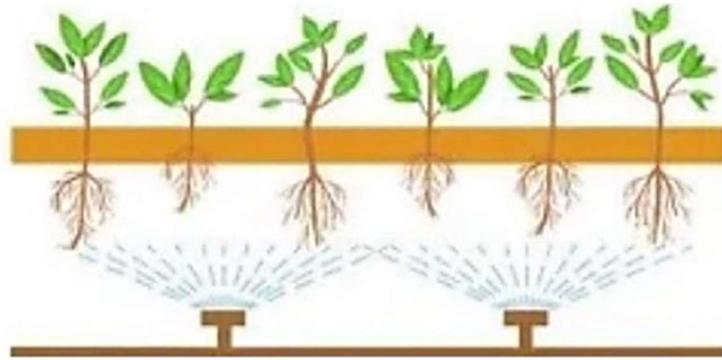


Figura 2 Aeroponic system.

- **Floating system** (Fig. 3), caratterizzata dalla coltivazione di piante in specifici vassoi alveolati galleggianti in una vasca contenente soluzione nutritiva, nella quale le piante sviluppano l'apparato radicale aiutate da appositi sistemi di aerazione e di raffreddamento finalizzati a garantire un adeguato contenuto di ossigeno. Si presta molto bene al ciclo chiuso, in cui la soluzione nutritiva dev'essere solo recuperata e disinfettata, mentre, non è adeguata a piante di dimensioni troppo elevate ed è bene garantire sempre una corretta quota di ossigeno all'interno della soluzione (arieggiamento)

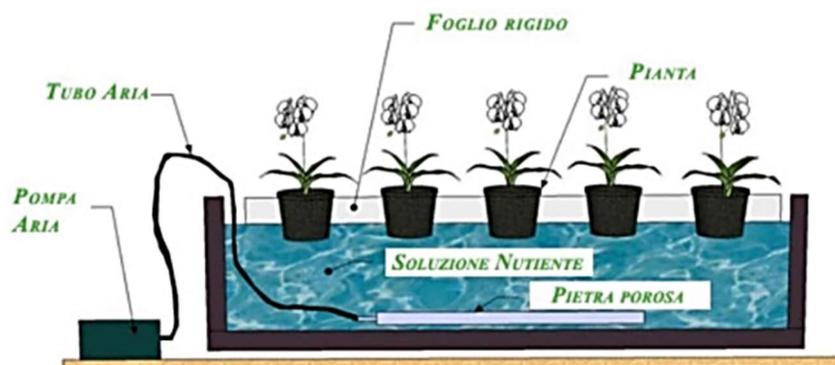


Figura 3 Floating system.

- **Nutrient Film Technique (NFT)** (Fig. 4), sistema adottato in questa sperimentazione, si caratterizza per la coltivazione di piante in apposite canalette a diretto contatto con la soluzione nutritiva che vi scorre all'interno, nelle quali esse sviluppano il proprio apparato radicale. Le canalette sono connesse tra loro e la soluzione nutritiva, una volta utilizzata, può esser eliminata o recuperata, in seguito ad apposita sanificazione e correzione. Si dimostra una tecnica confacente alla coltivazione di piante di diversa dimensione (sia grandi che piccole), adatta al ciclo chiuso e con apporto di modeste dosi di soluzione nutritiva. Per assicurare l'adeguato svolgimento di questa tecnica è, però, necessario prestare attenzione

allo sviluppo dell'apparato radicale, che non dev'essere eccessivo in relazione al dimensionamento delle canalette, al fine di evitare problematiche nello scorrimento della soluzione. Un altro fenomeno negativo è rappresentato dal diverso gradiente di crescita delle piante, che vede un maggiore accrescimento di quelle prossime al punto di erogazione della soluzione nutritiva, con minore crescita di quelle più lontane che ricevono una soluzione impoverita. Per ovviare a tali inconvenienti, si può prevedere l'iniezione della soluzione in più punti della canaletta, come previsto dalla tecnica del "Super NFT".

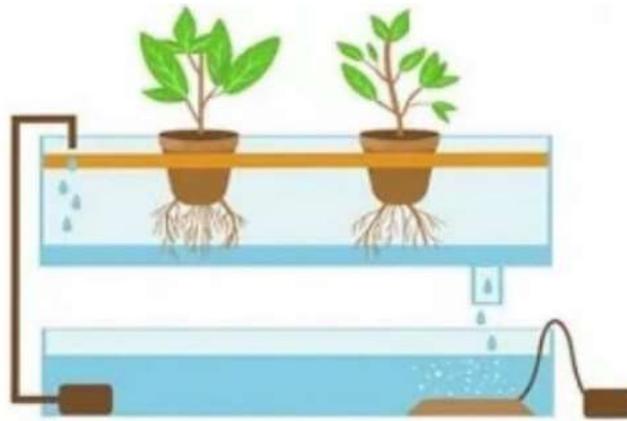


Figura 4 NFT system (Nutrient Film Technique).

### ***1.2.2 Aspetti positivi e problematiche connesse al fuori suolo***

Come per ogni tipologia di coltivazione, anche il fuori suolo presenta alcuni peculiari aspetti positivi e vantaggiosi quanto altrettante problematiche e difficoltà. Questa pratica agronomica è, infatti, in grado di garantire un recupero e un controllo adeguato dei nutrienti apportati alle colture tramite soluzione nutritiva, una migliore assimilazione di nutrienti stessi ed un'elevata efficienza d'uso d'acqua, con conseguente riduzione di consumi, sprechi e apporto idrico, a parità di resa colturale (Trefz e Omaye, 2016). Inoltre, consente una maggiore produzione raggiunta grazie ad un alto grado di automazione e lo svincolo dalla necessità di utilizzo dei diserbanti e dalle problematiche legate al terreno (preparazione, disinfezione e gestione). Al contempo, però, essa presenta anche ingenti costi dovuti all'installazione e automazione delle strutture (Fussy e Papenbrock, 2022) e (Resh, 2012), necessità di formazione e di conoscenza tecnica da parte degli operatori e rischio di diffusione delle malattie trasmesse tramite l'acqua (principalmente causato dal sistema di ricircolo della soluzione nutritiva in sistemi), nel ciclo chiuso (Fussy e Papenbrock, 2022).

### ***1.2.3 Bioponica***

Sempre più attenzione si sta, inoltre, rivolgendo alla bioponica, pratica agronomica connessa alla precedente descritta, ma dalla quale si differenzia per alcune peculiari caratteristiche. Tale pratica è nota anche come “idroponica biologica”, in quanto presenta una medesima metodologia di coltivazione (sistemi in cui le colture sono raggiunte dalla soluzione nutritiva attinta da vasche di fertirrigazione e miscelazione), ma si differenzia per la tipologia di soluzione apportata, essendo di natura minerale, nell’idroponica, e organica, nella bioponica (Szekely e Jijakli, 2022).

Nella coltivazione bioponica la soluzione nutritiva è ottenuta da diversi materiali organici, quali compost, compost tea, deiezioni animali, rifiuti domestici, humus di lombrico e pollina, lasciati in infusione per rendere biodisponibile la sostanza organica contenuta e garantire un suo utilizzo da parte dei microrganismi presenti (Szekely e Jijakli, 2022).

### ***1.2.4 Compostaggio***

Per poter estrarre il Tè di Compost è, dunque, necessario disporre di compost iniziale, ottenuto con un consono ed adeguato processo di compostaggio.

Con il termine “compostaggio” si fa riferimento al processo di trasformazione/decomposizione della materia organica in sostanze più semplici, non tossiche e ricche di composti umici, ad opera di organismi e microrganismi utili, noti come “decompositori”. In condizioni di aerobiosi, adeguata umidità e temperatura, tali organismi (sia autotrofi che eterotrofi) sono, infatti, in grado di innescare reazioni di decomposizione, bio-ossidazione e umificazione della matrice organica stessa, con conseguente formazione di un substrato naturale, stabile e ricco di proprietà benefiche: il compost (Azim et al., 2018).

Già da svariati anni esso è stato, infatti, introdotto nel mondo agricolo con l’obiettivo di ridurre l’utilizzo di composti chimici di sintesi, in virtù della necessità di optare per metodi e tecniche in linea con gli obiettivi di sostenibilità ambientale, di garantire un adeguato recupero di nutrienti utili e disponibili e con la finalità di promuovere lo smaltimento della consistente quota di rifiuti organici urbani prodotti e in continua crescita dal 2005, come emerso dal Rapporto rifiuti APAT (2007), favorendone il riciclaggio e la trasformazione in fertilizzante (Centemero e Zanardi, 2007) e (Pilla et al., 2023).

Tra i materiali compostabili si annoverano, infatti: residui vegetali “scarti verdi” (scarti di potatura, legno e altre sostanze organiche), rifiuti organici umidi (urbani o agro-industriali), deiezioni di animali e fanghi di depurazione (Chiumenti, 2001).

È bene tener presente che le reazioni di decomposizione necessitano di alcuni elementi fondamentali per poter avvenire, quali: rapporto carbonio-azoto disponibili di 25-30:1 (necessario ai microrganismi per svolgere correttamente il processo di degradazione), adeguata quota di acqua e sufficiente presenza di ossigeno, per mantenere le condizioni di aerobiosi e favorire la reazione di bio-ossidazione (Azim et al., 2018).

Il processo di compostaggio prevede diverse fasi, le quali sono identificate in virtù della variazione di temperatura che le caratterizza e distinte in una fase mesofila (di proliferazione batterica), una fase termofila (di igienizzazione) e una fase finale di raffreddamento, stabilizzazione e di maturazione (Villar et al., 2016) e (C. S. et al., 2021).

In particolar modo, secondo (Villar et al., 2016), esse sono generalmente distinte in:

- “Fase di Bioossidazione”, caratterizzata dalla decomposizione della sostanza organica semplice e più degradabile ad opera di microrganismi principalmente termofili, con conseguente formazione di acqua, sali minerali, anidride carbonica e compost fresco
- “Fase di Maturazione”, caratterizzata dalla decomposizione della sostanza organica più complessa ad opera di microrganismi prevalentemente mesofili e dalla stabilizzazione e maturazione del materiale ottenuto con arricchimento di composti umici (processo di umificazione), con conseguente formazione di acqua, anidride carbonica e compost maturo.

Al termine dell'intero processo, come indicato da ANPA, Manuali e linee guida 7/2002, (2002), si possono ottenere due diverse tipologie di compost, differenziate in virtù della qualità che le contraddistingue:

- compost con qualità inferiore, utilizzabile in ambito agricolo, nel rispetto degli standard qualitativi e dei vincoli di utilizzo (quantità limite, modalità di utilizzo, analisi preventive) previsti dalla normativa vigente
- compost con qualità superiore, ricavato da matrici organiche selezionate e utilizzabile nel solo rispetto dei vincoli di buona pratica agricola.

In particolar modo, in accordo con la normativa nazionale attualmente in vigore in ambito di fertilizzanti, quale il D. Lgs. 217 del 29/04/2006, quest'ultimo può esser distinto, a sua volta, in “ACV” Ammendante Compostato Verde, derivante da materiale vegetale, “ACM” Ammendante Compostato Misto, derivante da materiale di natura organica, animale o agro-industriale, e “ATC” Ammendante Compostato Torboso (Azim et al., 2018), derivante da una miscela di torba e ACM o ACV (in pari dosi del 50% l'una).

### ***1.2.5 Influenza dei parametri e delle condizioni climatiche di coltivazione***

È bene considerare che le condizioni climatiche dell'ambiente di coltivazione sono un considerevole fattore di variabilità, in quanto possono influire notevolmente sulle colture (Katsoulas, e Kittas, 2008), incidendo su: resa vegetale, maggiore o minore richiesta di nutrienti e condizioni di stress cui possono essere sottoposte durante il ciclo di coltivazione. Effettuando una corretta gestione dei parametri microclimatici, sfruttando gli avanzati sistemi di automazione e monitoraggio raggiunti dalle moderne tecnologie, è possibile, infatti, implementare la resa e la qualità delle colture, mantenendo i costi di produzione entro una quota sostenibile per le aziende e raggiungendo un discreto livello di efficienza produttiva (Shamshiri et al., 2018).

Secondo (Shamshiri et al., 2018), fra i parametri climatici/ambientali che maggiormente influenzano la coltivazione delle specie vi sono temperatura, umidità relativa, deficit di pressione di vapore, intensità luminosa e livelli di ossigeno e anidride carbonica.

## **1.3 Legislazione in materia di compostaggio**

### ***1.3.1 Normativa Comunitaria***

Nella normativa comunitaria, si è osservata un'evoluzione delle norme che regolamentano la gestione dei rifiuti (alla quale il Compost Tea fa riferimento), in particolar modo si sono susseguite:

- *Direttiva 75/442/CEE “Direttiva Quadro sui rifiuti”*

la quale introduce una gestione dei rifiuti a livello comunitario, trattando di definizioni, concetti chiave, obblighi e autorizzazioni da rispettare, finalizzati a contenere la produzione e promuovere la salvaguardia dell'ambiente riducendo al minimo l'impatto negativo che ne consegue nell'ecosistema

- *Direttiva 91/156/CEE*

la quale sancisce una modifica della precedente, chiarendo le definizioni troppo “vaghe” che lasciavano spazio a molteplici interpretazioni e delineando maggiormente la differenza tra le pratiche di recupero e smaltimento. Attesta, inoltre, fra le pratiche di recupero, la trasformazione delle frazioni organiche dei rifiuti in compost per il suo uso come ammendante ed introduce, come obiettivo di riferimento per l'intera normativa riguardante i rifiuti, il tema di prevenzione dell'impatto ambientale da essi derivante

- *Direttiva 2006/12/CE*

con cui sono abrogate le precedenti ed è istituito il quadro di riferimento normativo per l'intera Comunità Europea, adottando una terminologia, una regolamentazione e degli obiettivi comuni da perseguire al fine di ottimizzare la gestione dei rifiuti a livello comunitario

- *Direttiva 2008/98/CE “Nuova Direttiva Quadro sui rifiuti”*

con la quale si predispongono ulteriori precisazioni rispetto alla direttiva del 2006, in merito alla prevenzione e produzione di rifiuti. In particolar modo, nell'articolo 3 della suddetta si specifica che si intende per:

- “rifiuto”: qualsiasi sostanza od oggetto che rientri nelle categorie riportate nell'Allegato 1 e di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi
- “produttore di rifiuti”: la persona la cui attività produce rifiuti (...) o chiunque effettui operazioni di pretrattamento, miscelazione o altre operazioni che hanno modificato la natura o la composizione di detti rifiuti
- “detentore di rifiuti”: il produttore dei rifiuti o la persona fisica o giuridica che ne è in possesso
- “gestione dei rifiuti”: la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, compresi la supervisione di tali operazioni e gli interventi successivi alla chiusura dei siti di smaltimento nonché le operazioni effettuate in qualità di commercianti o intermediari
- “raccolta”: il prelievo dei rifiuti, compresi la cernita preliminare e il deposito preliminare, ai fini del loro trasporto in un impianto di trattamento
- “prevenzione”: misure, prese prima che una sostanza, un materiale o un prodotto sia diventato un rifiuto, che riducono:
  - a) La quantità dei rifiuti anche attraverso il riutilizzo dei prodotti o l'estensione del loro ciclo di vita;
  - b) Gli impatti negativi dei rifiuti prodotti sull'ambiente e la salute umana;
  - c) Il contenuto di sostanze pericolose in materiali e prodotti
- “riutilizzo”: qualsiasi operazione attraverso la quale prodotti o componenti che non sono rifiuti sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti
- “trattamento”: operazioni di recupero o smaltimento, inclusa la preparazione prima del recupero o dello smaltimento
- “recupero”: qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno

dell'impianto o nell'economia in generale. L'allegato II riporta un elenco non esaustivo di operazioni di recupero;

- "smaltimento": qualsiasi operazione diversa dal recupero anche quando l'operazione ha come conseguenza secondaria il recupero di sostanze o di energia. L'allegato I riporta un elenco non esaustivo di operazioni di smaltimento;

Inoltre, si specifica che, nell'ottica di prevenzione e tutela, dev'essere osservata la "Gerarchia dei rifiuti" presentata all'Articolo 4 della medesima, promuovendo, in ordine:

- Prevenzione
- Preparazione per il riutilizzo
- Riciclaggio
- Recupero di altro tipo
- Smaltimento

e lasciando agli Stati Membri la possibilità di adottare ulteriori misure per favorire una gestione dei rifiuti mirata alla protezione della salute umana e dell'ambiente, come enunciato nell'Articolo 13.

Particolare attenzione è da porre all'Articolo 22 "Rifiuti organici", nel quale è specificato che:

*"Gli Stati Membri adottano, se del caso e a norma degli articoli 4 e 13, misure volte a incoraggiare:*

- a) La raccolta separata dei rifiuti organici ai fini del compostaggio e dello smaltimento dei rifiuti organici;*
- b) Il trattamento dei rifiuti organici in modo da realizzare un livello elevato di protezione ambientale;*
- c) L'utilizzo di materiali sicuri per l'ambiente ottenuti dai rifiuti organici. ..."*

- Direttiva CEE 91/676

relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, la quale stabilisce che gli Stati membri elaborino uno o più codici di buona pratica agricola (CBPA) per garantire una corretta gestione degli ammendanti e concimi contenenti azoto

- Programma di Azione Ambientale Comunitario 24/01/2001

finalizzato a favorire il passaggio verso un efficiente e più sostenibile uso delle risorse, salvaguardando l'ambiente e il benessere umano. Tale programma presenta, come quarta azione prioritaria da perseguire a livello comunitario, la gestione sostenibile delle risorse naturali e dei

rifiuti. Sono, infatti, temi centrali di tale programma il recupero, il riciclaggio e la riduzione della produzione di rifiuti, nonché il miglioramento dell'uso delle risorse, in ottica di sostenibilità, efficienza e prevenzione.

### ***1.3.2 Normativa Nazionale***

Nella giurisdizione italiana, il compostaggio di materiale naturale e il suo riutilizzo è disciplinato dalla normativa che regola la gestione dei rifiuti. In particolare, l'impiego del Tè di compost si dimostra assoggettato alle medesime norme che regolamentano l'utilizzo di fertilizzanti e concimi tradizionali, poiché considerato comparabile ad essi, come previsto dal D. Lgs. 152/06 (per la gestione dei rifiuti) e dal D. Lgs. 217/06 (per la gestione dei fertilizzanti). Inoltre, al fine di garantire il rispetto dei quantitativi limite (in termini di sostanza tal quale ed elementi in essa contenuti) previsti per l'applicazione di tale sostanza, una particolare attenzione dev'essere rivolta al contenuto di metalli pesanti, tossine e composti chimici potenzialmente dannosi presenti nel compost di partenza il quale, se di scarsa qualità, potrebbe risultarne eccessivamente ricco e dare così origine ad un estratto eccedente i quantitativi limite previsti.

I Decreti di riferimento per la gestione di rifiuti e fertilizzanti risultano, dunque, essere:

- D. Lgs. 152/06 “Testo unico in materia ambientale”
- D. Lgs. 217/06 “Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”

È, inoltre, necessario specificare che agli Stati Membri è data libera scelta riguardo le misure da adottare nel proprio territorio al fine di recepire la direttiva comunitaria e la possibilità di designare autorità competenti aventi l'onere di garantire l'attuazione della stessa, come enunciato nell'Art.195 del D. Lgs. 152/06. Spettano, dunque, allo Stato:

- “Le funzioni di indirizzo e coordinamento, di definizione dei criteri generali e delle metodologie necessarie all'attuazione della parte quarta del presente decreto
- L'individuazione degli impianti di recupero e smaltimento e di un piano nazionale di comunicazione
- La determinazione degli obiettivi di qualità, dei criteri generali, delle modalità di adozione di norme tecniche e dei limiti di accettabilità delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche di talune sostanze contenute nei rifiuti”.

### ***1.3.3 Normativa Regionale***

Le competenze delle regioni, in materia di gestione dei rifiuti, sono enunciate all'Art. 196 del D. Lgs. 152/06, e prevedono:

- “la predisposizione, l'adozione e l'aggiornamento dei piani regionali di gestione dei rifiuti, l'approvazione dei progetti di nuovi impianti e l'autorizzazione all'esercizio delle operazioni di smaltimento e di recupero dei rifiuti
- la redazione di linee guida ed i criteri generali
- la promozione della gestione integrata dei rifiuti, nonché l'incentivazione alla riduzione della produzione dei rifiuti ed al recupero degli stessi”.

Inoltre, con particolare attenzione alla regione del Veneto, è bene ricordare che a partire dagli anni '90/2000 si sono predisposte delle Direttive Tecniche in materia di compostaggio, come riferimento guida per la gestione di tale pratica (processi produttivi, materiale in ingresso/uscita e target di qualità aziendale) ed è, inoltre, entrata in vigore la D.G.R.V. n.766/2000, a seguito modificata dalla D.G.R.V. n. 568/05, con la quale si istituisce il “Marchio di qualità Compost Veneto”, gestito dall'ARPAV e che identifica un prodotto con qualità superiore rispetto agli standard consentiti.

#### ***1.3.4 Normativa Comunale/Autorizzazioni***

A livello comunale, il compostaggio domestico e di comunità, cioè il trattamento dei propri rifiuti organici urbani realizzato singolarmente o insieme ad altre famiglie, è concesso e autorizzato a livello comunale, se svolto secondo le relative norme vigenti.

In particolar modo, le disposizioni di legge cui far riferimento consistono nella Legge 221/2015 del 28 dicembre 2015 e nel DM 266/2016 del 29 Dicembre 2016 “Criteri operativi e le procedure autorizzative semplificate per il compostaggio di comunità di rifiuti organici”, emanato dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, in cui si specifica che tale pratica è concessa e approvata, previa iscrizione all'Albo dei Compostatori e qualora sia svolta osservando e rispettando le adeguate modalità previste.

#### **1.4 Definizione e peculiarità del Compost Tea**

Secondo Zaccardelli et al. (2012), il compost tea (o tè di compost) è un formulato liquido e organico ricavato tramite l'estrazione con acqua di compost, che si dimostra migliore se svolta con acqua dechlorata; è costituito da molecole di natura organica e inorganica, le quali sono disciolte in soluzione acquosa fra cui macro e micronutrienti in grado di favorire l'attività e crescita vegetale (Pilla et al., 2023). Il suo utilizzo è, dunque, finalizzato a supportare e implementare la produzione e la crescita delle piante, agendo positivamente sulla fisiologia vegetale e rafforzando l'apparato radicale, l'attività di fotosintesi, di assorbimento di nutrienti ed il contenuto di clorofilla (Eudoxie e Martin, 2019). Tale azione benefica deriva dalla natura di questo estratto, il quale risulta ricco di

sostanze utili (minerali, organiche, oligoelementi, acidi umici e fulvici) e microrganismi benefici, aventi un ruolo positivo sia per il supporto e la stimolazione dell'attività vegetativa, che per la protezione e prevenzione da patogeni e malattie di natura batterica e fungina (Zaccardelli et al., 2012) e (Pilla et al., 2023).

#### ***1.4.1 Componenti principali del CT e proprietà chimiche***

Nonostante siano molteplici, gli elementi principali di questa sospensione consistono in una parte solvente (preferibilmente acqua dechlorata), una parte organica (principalmente compost di origine vegetale perché meno incline a favorire la proliferazione di microrganismi dannosi, o humus di lombrico), funghi, batteri e microrganismi utili (Zaccardelli et al., 2012), e, come descritto da Pilla et al., (2023), una parte relativa a eventuali additivi nutrizionali, come siero di latte (Al-Mughrabi, 2006), melassa o zucchero (Eudoxie e Martin, 2019), introdotti per implementare ancor più le proprietà fertilizzanti e l'attività microbica del compost, nonostante non sempre si raggiunga tale risultato. Essi presentano, inoltre, un considerevole contenuto di composti inorganici disciolti, facilmente disponibili per le colture e responsabili di molti degli effetti benefici correlati al Tè di Compost (De Corato, 2020). È nota già da svariati anni, infatti, la capacità fertilizzante del tè di compost, il quale, come dimostrato da Erhart e Hartl (2010), si dimostra in grado, in virtù della sua matrice organica e inorganica, di migliorare la struttura del terreno (in termini di capacità di ritenzione idrica/tasso di infiltrazione e porosità), implementare il contenuto di sostanze nutritive utilizzabili da parte della vegetazione (Eudoxie e Martin, 2019), ridurre l'apporto di composti chimici di sintesi, favorire l'aumento di microrganismi utili ed effettuare un parziale recupero di scarti e rifiuti, aspetto di estrema importanza che si sta perseguendo sempre più data l'intensa sensibilizzazione al tema ambientale (Zaccardelli et al., 2012).

#### ***1.4.2 Benefici derivanti dagli elementi nutritivi presenti***

Per comprendere l'origine della capacità fertilizzante del compost tea, è necessario considerare la varietà di elementi nutritivi che vi possono esser contenuti, i quali sono le sostanze necessarie e responsabili del mantenimento della vita e della crescita degli organismi. Tali nutrienti si distinguono, secondo Arnon e Stout (1939), in essenziali (i quali sono fissati dalla pianta tramite fotosintesi clorofilliana) e benefici (utili in alcune funzioni metaboliche), in virtù della capacità della pianta di completare il proprio ciclo biologico in presenza o anche in assenza di essi. A seconda della concentrazione con cui sono, poi, assimilati nella pianta (> o < dello 0,01%), essi

possono essere ulteriormente distinti in macro e micronutrienti, o, in virtù della loro funzione biochimica, in 4 gruppi funzionali:

- 1) nutrienti in grado di formare legami con il carbonio e dare origine a composti organici
- 2) nutrienti in forma di esteri di fosfati, silicati e borati, legati al gruppo OH di una molecola organica
- 3) nutrienti in forma di ioni liberi disciolti o che presentano legami con sostanze delle pareti
- 4) nutrienti in forma di metalli che interagiscono nel trasferimento di elettroni

Nella tabella seguente (Tab. 1) (Singh e Legese, 2022), si delineano le principali funzioni svolte dagli elementi nutritivi:

Tabella 1 Elementi nutritivi, forma di assorbimento e funzione svolta nelle piante (Singh e Legese, 2022)

<u>Elemento</u>	<u>Forma di Assorbimento</u>	<u>Funzione</u>
Carbonio C	CO <sub>2</sub>	Costituente delle sostanze organiche
Idrogeno H	H <sub>2</sub> O	Costituente delle sostanze organiche
Ossigeno O	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	Costituente delle sostanze organiche
Azoto N	NO <sup>3-</sup> , NH <sup>4+</sup>	Essenziale per i processi vitali e metabolici. Costituente di clorofilla, amminoacidi, proteine e nucleotidi
Fosforo P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Importante per la formazione di numerosi composti cellulari e per le reazioni di fosforilazione. Costituente dell'ATP, ADP e acidi nucleici
Potassio K	K <sup>+</sup>	Importante per la sintesi proteica e l'attività osmotica, enzimatica, di fotosintesi e stomatica
Calcio Ca	Ca <sup>2+</sup>	Costituente della parete cellulare, importante regolatore delle attività metaboliche e del funzionamento delle membrane cellulari
Magnesio Mg	Mg <sup>2+</sup>	Costituente della clorofilla. Importante per la formazione di zuccheri, grassi, vitamine e proteine e per i processi di respirazione, fotosintesi e di sintesi
Zolfo S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Costituente di amminoacidi e proteine, vitamine, di diversi coenzimi e ferredoxina

Ferro Fe	$Fe^{2+}, Fe^{3+}$	Necessario in elevate quantità. Importante per la sintesi di clorofilla e proteine, la nitrogenasi e il trasferimento elettronico
Manganese Mn	$Mn^{2+}$	Importante per la sintesi di clorofilla, l'attività enzimatica e metabolica e la respirazione
Rame Cu	$Cu^+, Cu^{2+}$	Costituente di enzimi. Importante per l'attività metabolica ed enzimatica
Zinco Zn	$Zn^{2+}$	Importante per la sintesi proteica, l'attività metabolica ed enzimatica, l'allegagione dei fiori e la formazione dei frutti
Boro B	$H_2BO_3$	Importante per la lignificazione dei tessuti, per l'allungamento e la differenziazione delle cellule e il corretto funzionamento delle membrane
Molibdeno Mo	$MoO_4^{2-}$	Cofattore enzimatico, importante per la nitrogenasi e nitrato reductasi
Cloro Cl	$Cl^-$	Importante per <b>mantenere</b> l'equilibrio chimico e per la fotolisi dell'acqua
Nichel Ni	$Ni^{2+}$	Costituente di enzimi. Importante per l'assorbimento del ferro e per il metabolismo dell'azoto
Cobalto Co		Costituente della vitamina B12

Generalmente, nel Compost Tea sono principalmente contenuti i macronutrienti primari (azoto, fosforo e potassio), mentre quelli secondari e i micronutrienti sono, invece, presenti in concentrazione variabile che, tendenzialmente, non è in grado di supportare a pieno il fabbisogno delle colture. In virtù di ciò, si evince la necessità di applicare l'estratto con adeguato criterio, in combinazione con altre tecniche e garantendo la compensazione dei nutrienti di cui risulta carente (Eudoxie e Martin, 2019).

Gli effetti positivi riscontrabili a seguito dell'impegno del tè di compost sulle colture sono, dunque, correlati alla natura e qualità del compost iniziale e influenzate dalle modalità di compostaggio, di estrazione del tè, di gestione e applicazione del prodotto derivante, nonché dalle proprietà benefiche dei nutrienti e degli elementi che in esso possono esser contenuti (Eudoxie e Martin, 2019). In particolar modo, peculiare è la capacità biostimolante che contraddistingue il CT, responsabile di un incremento della biomassa, della produttività vegetale e del contenuto nutritivo delle colture trattate (Pilla et al., 2023).

Fra i molteplici esperimenti analizzati, la tesi riguardo l'influenza benefica derivante dall'applicazione del CT in orticoltura è stata avvalorata anche da Jasson et al. (2023), i quali hanno riscontrato che nelle colture di zenzero selvatico trattate con tale prodotto si è osservato un rilevante aumento nel potere antiossidante, contenuto di nutrienti e nella crescita vegetale. Anche la valutazione svolta da Savarese et al. (2022) ha comprovato tale tesi, permettendo, inoltre, di riscontrare che l'interazione benefica tra la comunità microbica e i composti umici-fulvici contenuti nel CT e nell'humus (se usati in combinazione), non solo è responsabile di un migliore assorbimento di nutrienti utili, ma consente, inoltre, di ottenere maggiori effetti benefici rispetto alla loro singola applicazione.

In riferimento ad alcuni esempi oggetto di ricerca (Zaccardelli et al., 2012 e Diacono et al., 2021), alcuni dei parametri che il Compost può assumere sono (Tab. 2 e Tab. 3):

Tabella 2 Caratterizzazione del compost: sostanza secca (s. s.), pH, conducibilità elettrica (CE), carbonio organico totale (C), azoto totale (N) e rapporto carbonio azoto (C/N) (Zaccardelli et al., 2012)

<b><u>Parametro</u></b>	<b><u>Media</u></b>	<b><u>Dev. St.</u></b>
s.s. (%)	76.20	± 1.64
pH	8.09	± 0.06
CE (1/5 ml H <sub>2</sub> O)	9.65	± 0.21
N (%)	2.43	± 0.20
C (%)	20.85	± 0.91
C/N	8.58	-

Tabella 3 Proprietà chimiche di un Compost Tea ottenuto, dopo 48 ore di estrazione in acqua, da compost da frazione organica di rifiuti solidi urbani (Diacono et al., 2021).

<b><u>Proprietà Chimiche</u></b>		<b><u>Compost-Tea</u></b>
pH		8,6
Conducibilità Elettric	(mS cm <sup>-1</sup> )	4,45
N-totale	(g 100 g <sup>-1</sup> )	97
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	(ppm)	24
Ca	(mg L <sup>-1</sup> )	51
Mg		12
K		373
Na		103
Fe		1,86
Cu		0,20
Zn		0,32
Mn		0,18
Cr		0,0244
Cd		0,0
Ni		0,037
Pb		0,04

In merito all'esperimento condotto nell'azienda agricola, i valori riscontrati a seguito dell'estrazione del Compost Tea sono presentati al sottoparagrafo 4.1.1 della presente tesi.

#### ***1.4.3 Quantitativo di Microrganismi benefici presenti***

La componente microbica del CT è costituita principalmente da batteri saprofiti, funghi, attinomiceti, nematodi e protozoi, i quali sono responsabili di meccanismi di controllo biologico, di effetti soppressivi nei confronti dei patogeni e del miglioramento delle proprietà, degli aspetti fisiologici e delle caratteristiche chimico-fisiche delle colture cui il CT viene addizionato (Zaccardelli et al., 2012). In particolar modo, la loro presenza determina migliore assimilazione dei nutrienti da parte delle colture, a seguito delle simbiosi benefiche che essi instaurano con gli apparati radicali, congiuntamente a maggiore pressione di selezione, di difesa e di soppressione contro altri patogeni (Martin e Brathwaite, 2013). Secondo Ingham, (2003), essi sono in grado di rimuovere parte delle sostanze dannose presenti nel terreno o nel substrato di coltivazione e

trattenervi i nutrienti utili per le piante, senza necessità, dunque, di ricorrere ad ulteriori fertilizzazioni.

Inoltre, come riscontrato da Pane et al., (2016) e Shaban et al., (2015), i microrganismi contenuti svolgono un'importante azione di biostimolazione, hanno un ruolo rilevante nella difesa e protezione delle colture e sono responsabili di meccanismi di antagonismo contro altri patogeni (antibiosi, competizione, resistenza e micoparassitismo). La componente microbica è, infatti, in grado di svolgere un'azione inibente e limitante la loro proliferazione, grazie alla competizione per nutrienti e spazio e alla produzione di sostanze antibiotiche (Zaccardelli et al., 2012).

Inoltre, dalle ricerche condotte da Keeling et al., (2003), è emerso che la maggiore capacità di assorbimento di azoto e nutrienti è correlata proprio a tale quota microbica, in grado di favorire i fissatori di azoto e i formatori di spore. Oltre a ciò, secondo Islam et al., (2016) essa permette di implementare l'attività degli organismi presenti sull'apparato fogliare tramite inoculazione di microrganismi benefici (se vaporizzato sulle foglie), aumentare la popolazione microbica della rizosfera (se distribuito al suolo) e supportare la loro sopravvivenza nella fillosfera (Noble e Coventry, 2005) e (Pane et al., 2011).

È bene considerare che i microrganismi presenti possono avere natura batterica o fungina, parametro da valutare nella scelta di utilizzo del CT e che, a seconda del processo produttivo con cui è ottenuto il CT, esso sarà contraddistinto principalmente da microrganismi aerobi, se realizzato con metodo statico, o anaerobi, se ottenuto con metodo dinamico (Pilla et al., 2023).

#### ***1.4.4 Inquinanti contenuti ed effetti derivanti***

In quanto derivante da una lavorazione di compost, anche l'impiego del Compost Tea dev'esser attuato con particolari accortezze, data la possibile presenza di sostanze potenzialmente inquinanti (principalmente metalli pesanti e sostanze organiche tossiche) e la propensione del compost a legarsi con esse (Ryan e Chaney, 1994), che ne possono limitare l'applicazione a dosi ben definite, in conformità con i quantitativi limite previsti dalla normativa vigente.

I metalli pesanti consistono in un gruppo di elementi con diverse proprietà e funzioni, che presentano un peso specifico maggiore di 5 g cm<sup>3</sup>. Essi si differenziano in essenziali, quali Mo, Mn, Cu, Fe, Zn, responsabili di diverse reazioni metaboliche e tossici se presenti oltre una certa soglia di concentrazione, e non essenziali, quali Cd, As, Pb, Hg, con tossicità anche a basse concentrazioni (Bharti e Sharma, 2022).

Le conseguenze negative derivanti dal loro eccesso e riscontrabili nella vegetazione includono:

- aumento dello stress delle colture e riduzione della crescita

- riduzione e, talvolta, inibizione delle attività enzimatiche, dell'assorbimento di nutrienti e della produzione vegetale (Bharti e Sharma, 2022)
- rallentamento dell'attività fotosintetica (in seguito alla sostituzione dell'atomo di magnesio nelle molecole di clorofilla da parte degli ioni metallici, causandone l'inattività) e nella respirazione
- alterazione dell'attività microbiologica, contaminazione della falda acquifera e della qualità delle acque e, conseguentemente, della nutrizione vegetale (Paziani, 2020).

Per l'utilizzo colturale del Compost Tea è necessario, dunque, valutare preventivamente se nel compost iniziale siano contenuti metalli pesanti o tossine, in quanto, se in eccesso, questi potrebbero esser rilasciati e divenire bio-disponibili per le colture (De Corato, 2020). È bene tener presente, però, che, come dimostrato dalle specifiche ricerche condotte da Ryan e Chaney (1994), le conseguenze negative connesse ai metalli pesanti presenti nel compost si manifestano solo quest'ultimo ne risulta caratterizzato da una concentrazione eccessiva. I fenomeni di fitotossicità derivanti, sarebbero, dunque, in parte scongiurabili adottando alcuni accorgimenti: utilizzando compost RSU che non presenti un eccesso di Piombo (poiché esso si dimostra uno degli elementi più problematici), evitando la combinazione di compost RSU con fanghi di depurazione, e non apportando fanghi di depurazione ad alti tassi di applicazione in terreno molto acido.

In particolar modo, il riferimento per i quantitativi limite di metalli pesanti è dato dalla Decisione (UE)<sup>1</sup> 2022/1244 della Commissione del 13 luglio 2022, la quale “stabilisce i criteri per l'assegnazione del marchio di qualità ecologica dell'Unione europea (Ecolabel UE) ai substrati di coltivazione e agli ammendanti” e specifica, alla Tab. 4, il contenuto massimo consentito negli ammendanti e, alla Tab. 5, il contenuto massimo consentito nei substrati di coltivazione (minerali e non).

---

<sup>1</sup> Nota: una decisione è un atto giuridico vincolante, avente carattere legislativo o meno, con applicazione specifica per determinati destinatari o valida in modo unanime. Può essere emessa dalla Commissione dell'Unione Europea, dal Consiglio Europeo o dal Consiglio, al fine di garantire il perseguimento e l'attuazione degli obiettivi prefissati a livello europeo, indicando come destinatari sia gli Stati Membri sia persone fisiche/giuridiche.

Tabella 4 Limiti dei metalli pesanti negli ammendanti (Decisione UE 2022/1244) espressi in mg/kg di massa secca

<b><u>Metallo pesante</u></b>	<b><u>Contenuto massimo nel prodotto (mg/kg di massa secca)</u></b>
Cadmio (Cd)	1
Cromo totale (Cr totale)	100
Rame (Cu)	200
Mercurio (Hg)	0,45
Nichel (Ni)	40
Piombo (Pb)	100
Zinco (Zn)	300
Arsenico inorganico (As)	10

Tabella 5 Limiti dei metalli pesanti nei substrati (Decisione UE 2022/1244) espressi in mg/kg di massa secca

<b><u>Metallo pesante</u></b>	<b><u>Contenuto massimo nel prodotto (mg/kg di massa secca)</u></b>	
	<b><u>Substrati di coltivazione minerali</u></b>	<b><u>Substrati di coltivazione non minerali</u></b>
Cadmio (Cd)	1,3	1,3
Cromo totale (Cr totale)	310	100
Cromo VI (Cr VI)	2	Non pertinente
Rame (Cu)	200	200
Mercurio (Hg)	0,45	0,45
Nichel (Ni)	40	40
Piombo (Pb)	100	100
Zinco (Zn)	300	300
Arsenico inorganico (As)	10	10

## **1.5 Scelta del materiale di partenza**

Per ottenere un CT di qualità in grado di soddisfare a pieno il fabbisogno delle colture è necessario utilizzare, a monte del processo produttivo, un compost di qualità (Pilla et al., 2023), con buone caratteristiche chimiche, con un ridotto contenuto di inquinanti, con un'adeguata quota di sostanza organica, che si dimostri maturo, stabile e ricco di sostanze antifungine (Barberis et al., 1996). Solitamente, risultano ottimali i compost derivanti da residui colturali (sfalci di potatura, matrici legnose, prodotti derivanti da serra e altre sostanze organiche), rifiuti organici umidi e deiezioni animali, i quali devono, però, esser opportunamente lasciati a maturare in modo che si verifichi un adeguato abbattimento della carica batterica/patogena presente (Ingham, 2005).

Si dimostrano, inoltre, benefici anche i compost derivanti da lignina (residui legnosi triturati e sminuzzati), in virtù della capacità del carbonio contenuto nella stimolazione della crescita e della proliferazione di funghi e batteri (Ingham, 2005).

### ***1.5.1 Effetti dovuti alla qualità del compost iniziale***

Il compost di partenza, dal quale sarà poi ricavato il Tè di Compost, deve, dunque, presentare una buona qualità (Fig. 5), poiché quanto maggiore sarà quella del materiale iniziale, tanto più lo sarà quella del CT derivante (De Corato, 2020). Fra i parametri fondamentali da considerare, che più influiscono sulla qualità del compost, si annoverano il grado di maturità (Azim et al., 2018) e di stabilità del compost (Amir, 2005), il contenuto di metalli pesanti ed altri eventuali inquinanti (De Corato, 2020), nonché la quota di microrganismi e sostanze antifungine presenti.

In merito al grado di maturità, vi sono molteplici riferimenti: secondo alcuni ricercatori esso è correlato al grado di degradazione e di stabilità raggiunta dalla materia organica finale (Adani et al., 2006), secondo Albuquerque et al. (2006), tale concetto si rifarebbe, invece, alla fitotossicità ancora caratterizzante il compost ottenuto al termine del processo (poiché un aumento di maturità comporterebbe una diminuzione di fitotossicità), mentre, secondo Francou (2003), esso sarebbe determinato, invece, dalla stabilizzazione raggiunta dai microrganismi contenuti. Il concetto di maturità risulta, dunque, carente di una vera e propria definizione specifica e ampiamente condivisibile, sebbene gli studiosi concordino che essa sia di primaria importanza per determinare la qualità del prodotto finale.

Pertanto, si dimostra necessario garantire un completo ed efficace svolgimento del processo di maturazione, evitando di modificare ulteriormente la temperatura (dannosa se troppo elevata), apportare azoto una volta raggiunto il giusto equilibrio di C/N o non garantire adeguata ossigenazione una volta avviato il processo (Azim et al., 2018).

È, inoltre, importante prestare attenzione al contenuto di metalli pesanti e altri inquinanti, i quali, se non correttamente eliminati durante i processi di produzione e di lavorazione, possono essere soggetti ad assimilazione da parte delle colture o dilavamento e lisciviazione nel suolo e nelle acque, divenendo fonte di inquinamento per l'ecosistema.

Contenuto di microrganismi e di sostanze antifungine, implementato dall'aggiunta di additivi al compost, in grado di favorire la crescita e l'azione difensiva contro i patogeni. Essi consistono principalmente in batteri, protozoi, funghi e nematodi, responsabili di promuovere la crescita vegetale, rendere più efficiente l'assimilazione di nutrienti e migliorare l'azione difensiva delle colture (Eudoxie e Martin, 2019) e (Shaban et al., 2015).



Figura 5 Preferenza di utilizzo di compost iniziale di qualità, considerando fattori quali: grado di maturità e di stabilità, contenuto di metalli pesanti ed altri eventuali inquinanti e quota di microrganismi e sostanze antifungine presenti

In particolar modo, un metodo di analisi volto a quantificare la quota microbica del compost iniziale e valutare, dunque, i benefici che ne possono derivare una volta estratto il Compost Tea, consiste nel metodo di idrolisi della FDA (di-acetato di fluoresceina) (Ntougias et al., 2006). Tale metodo (Fig. 6), descritto da Adam e Duncan (2001), risulta piuttosto semplice e di facile applicazione: sulla base della colorazione dell'estratto ottenuto dall'idrolisi enzimatica di campioni formati da compost e fosfato di potassio (adeguatamente agitati in incubatore, addizionati a  $\text{CHCl}_3$  /  $\text{CH}_3\text{OH}$ , centrifugati e filtrati), si valuta l'attività dei microrganismi presenti stimandone l'assorbanza a 490 nm, che sarà tanto più elevata quanto più gli estratti tenderanno ad assumere un colore giallo-verde intenso.

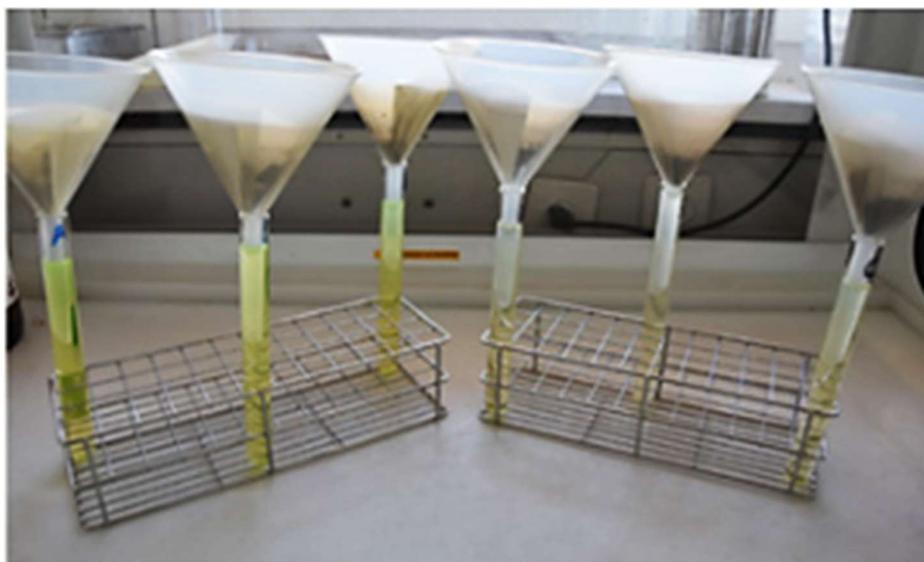


Figura 6 Attività microbica del compost e del terreno, misurata con il metodo FDA (idrolisi del di-acetato di fluoresceina), secondo il metodo descritto da Ntougias et al., (2006).

A seguito delle ingenti problematiche di smaltimento di rifiuti di biomassa (letame, liquami e rifiuti da residui verdi o urbani) riscontrate sempre più nelle aziende agricole (De Corato, 2020), a partire dal nuovo secolo si è dimostrato sempre maggiore l'interesse di intraprendere una vera e propria gestione "in situ" di tali rifiuti, provvedendo, dunque, a svolgere da sé il processo di compostaggio per massimizzarne i benefici (De Corato, 2020).

A tal scopo, è bene considerare che la qualità finale del compost così ottenuto dipenderà dal corretto svolgimento dell'intero processo di compostaggio, in cui gli accorgimenti da seguire riguardano, come descritto da Ingham, (2005):

- effettuare un controllo degli elementi costituenti il cumulo (che poi diverrà compost), misurandoli in volume e quantità
- mantenere un livello di umidità ottimale del cumulo, il quale non deve risultare bagnato
- esaminare la temperatura raggiunta dal cumulo durante l'intero processo, in quanto essa deve risultare abbastanza alta per garantire l'abbattimento di agenti patogeni e l'inattivazione dei semi delle infestanti, ma non eccessiva per evitare di eliminare anche la quota di microrganismi benefici
- effettuare un periodico rivoltamento e rimescolamento dello stesso, in modo che possa avvenire un'adeguata ossigenazione dei materiali all'interno
- garantire una consona maturazione del materiale ottenuto, riducendo gradualmente i rivoltamenti e controllando temperatura e umidità, fino al raggiungimento di compost maturo.

## 1.6 Produzione ed estrazione del CT

I principali aspetti a cui è necessario prestare attenzione per l'estrazione del compost tea sono:

- la fermentazione, con o senza aerazione, a seconda che si vogliano ottenere compost aerati (prodotti in presenza d'ossigeno) o non aerati (prodotti in anaerobiosi) (Pane et al., 2012)
- l'ossigenazione, svolta per 1-7 giorni con aeratori e compressori per l'insufflazione continua d'aria compressa, o mediante aerazione manuale del materiale con una pompa per liquidi, a intervalli regolari (Pilla et al., 2023). Tale operazione è necessaria affinché i processi di ossidazione, fermentazione e proliferazione batterica si possano completare nel tempo adeguato e possano garantire la corretta estrazione di sostanze nutritive benefiche, per costituire una sospensione acquosa finale stabile ed equilibrata dal punto di vista chimico
- il rapporto compost-acqua da rispettare, fondamentale per garantire la formazione di Tè di compost con adeguate caratteristiche chimico-fisiche, che dev'essere valutato scegliendo la diluizione che si dimostra ottimale fra rapporti di 1:10/1:5/1:2,5 e tempo di estrazione di 24/48/72 ore o più. In merito a quali siano parametri migliori, vi sono pareri discordanti: secondo Zaccardelli et al., (2012) si dimostrano ottimali rapporto di compost:acqua 1:10 e tempo di estrazione pari a 7 giorni, mentre, Pant et al., (2009), ritengono più adeguato un tempo di estrazione inferiore, pari a 12-24 ore. Effettuare un'analisi preventiva ad ogni nuovo studio, vagliando quali parametri risultano migliori con il compost a propria disposizione, è, dunque, la modalità più auspicabile
- il contenuto di elementi presenti nel Tè di Compost, che è necessario analizzare preventivamente ed eventualmente correggere mediante l'apporto dei nutrienti di cui risulta carente (Scheuerell e Mahaffee, 2002). Sebbene possano esservi aggiunti o meno, infatti, tali nutrienti sono di estrema rilevanza per il sostentamento dei microrganismi presenti e per favorire la loro sopravvivenza a seguito dell'applicazione del CT sulle colture (Scheuerell, 2003).

### 1.6.1 Generalità sui metodi di Estrazione (*Metodo Aerato e Non Aerato*)

Come già introdotto nei paragrafi precedenti, la produzione di Compost Tea avviene a seguito della lavorazione del compost di partenza, ottenuto dopo una prima fase di proliferazione batterica, una successiva di igienizzazione ed una fase finale di raffreddamento, stabilizzazione e di maturazione, e può esser svolta senza aerazione (con formazione di compost tea non aerati) o con aerazione (con produzione di compost tea aerati).

Le due modalità di estrazione differiscono tra loro, dunque, per la fase cruciale del processo: nel primo caso, il processo si deve svolgere in assenza di aerazione, per qualche ora o qualche settimana (come indicato da Pilla et al., (2023) e Scheuerell e Mahaffee, (2004)), con l'obiettivo di completare correttamente la degradazione del materiale organico ed ottenere il prodotto "fresco" che, in seguito all'adeguato tempo di maturazione, darà origine a quello "maturo", nel quale i processi fermentativi saranno del tutto completati (Zaccardelli et al., 2012).

Al contrario, l'aerazione (o insufflazione d'aria) permette di accelerare tali reazioni e ottenere più tempestivamente il prodotto finale, sfruttando la presenza dell'ossigeno per sostenere ed implementare l'attività e la crescita dei microrganismi aerobi e ridurre l'eccessivo calore dovuto alla fermentazione. In particolar modo, gli effetti benefici derivanti dall'aerazione sono stati studiati da Xu et al. (2015), i quali hanno riscontrato che essa determina una migliore umificazione del materiale, con un conseguente aumento nel quantitativo di nutrienti presenti. A loro volta, anche Remedios Morales-Corts et al., (2017) hanno osservato una conseguente maggior quota di acidi umici, nutrienti, acido salicilico e indolacetico, nei compost sottoposti ad aerazione. Il migliore assorbimento di nutrienti, la maggiore azione ormonale e metabolica e l'incremento della tolleranza allo stress derivano infatti dall'aumento di tali sostanze, in particolar modo degli acidi umici, come comprovato da Valdrighi et al., (1996) e Auer et al., (1999).

La temperatura ottimale per completare al meglio il processo produttivo è di circa 25-28°C, poiché a tale livello termico non solo si innescano e svolgono correttamente le reazioni chimiche necessarie a dare origine al compost di tè, ma si favorisce anche la proliferazione dei microrganismi in esso contenuti (Zaccardelli et al., 2012). Al contrario, una temperatura più elevata potrebbe comportare, come osservato da Hegazy et al., (2015), un calo nel contenuto microbico.

È bene tener presente che l'adeguata conservazione del CT ottenuto è fondamentale per garantire il mantenimento delle proprietà intrinseche dell'estratto ed evitare che si verifichi una riduzione dell'azione repressiva contro i microrganismi (se basata sui processi di competizione), sebbene essa risulti inalterata, invece, se dovuta alle sostanze rilasciate in soluzione (Scheuerell e Mahaffee, 2002).

### ***1.6.2 Modalità di Estrazione di CT aerato "ACT"***

L'estrazione aerata del tè di compost (Fig. 7 e Fig. 8) dev'esser svolta in uno specifico serbatoio appositamente rialzato e contenente acqua dechlorata, nel quale è immerso totalmente o appeso per un'estremità un sacco retato (di iuta/canapa) contenente il compost iniziale, una pompa ad aria collegata all'aeratore immersa nel serbatoio o un sistema per il ricircolo continuo dell'acqua, un

timer per attivare in automatico e ad intervalli regolari la pompa per l'ossigenazione (qualora non fosse prevista l'aerazione continua) e degli specifici blocchi per le attrezzature, diverse valvole e raccordi/guarnizioni (Zaccardelli et al., 2012). È necessaria la presenza di un adeguato sistema di diffusione dell'aria e uno di filtraggio, finalizzato ad evitare occlusioni ed ostruzioni che potrebbero danneggiare l'impianto e opportunamente selezionato sulla base della capacità di filtraggio richiesta e delle dimensioni delle particelle da trattenere.

La filtrazione può essere svolta mediante l'utilizzo di un apposito schermo (filtro a schermo), un sacchetto poroso (Pilla et al., 2023) o semplicemente con della carta assorbente in grado di trattenere le impurità da rimuovere e lasciar attraversare il materiale filtrato. Dopo aver inserito il sacchetto di compost nel serbatoio, vi si introduce l'acqua, si mescola delicatamente il sacco, si copre il punto di ingresso (con un telo anti-insetto o con un coperchio) e si attende lo svolgimento delle reazioni chimiche necessarie a dare origine al compost di tè.<sup>2</sup> (circa 12-48 ore secondo Ingham, (2003) e 1-7 giorni secondo Pilla et al., (2023)). Durante l'attesa, si lascia a riposo e si arieggia il materiale, considerando che maggiore sarà la qualità del processo di estrazione e migliore sarà il rilascio delle sostanze nella sospensione.

Trascorso il tempo richiesto, sarà possibile prelevare l'estratto, il quale sarà oggetto ad una filtrazione e poi conservato in taniche resistenti poste in celle frigorifero o luoghi freddi.

Il compost esausto rimasto nel sacco sarà, invece, recuperato e potrà essere riutilizzato come ammendante (Zaccardelli et al., 2012).



Figura 7 Fermentatore multiplo areato per la produzione di Compost-Tea aziendale (Zaccardelli et al., 2012).

---

<sup>2</sup> Il tempo di infusione per la produzione di ACT è ancora fonte di dibattito fra i ricercatori. Mentre è circa pari a 24-48 ore per Ingham, (2003), secondo Pilla, (2023) tale processo si dovrebbe svolgere per almeno 1-7 giorni.



Figura 8 Processo di estrazione del compost tea: 1) impianto di estrazione simultanea con quattro fermentatori; 2) sacca di tessuto non-tessuto contenente compost; 3) fasi di aerazione; 4) apertura dl fermentatore a processo concluso; 5) recupero del CT (Crea e Mipaaf, Produzione aziendale e impiego di tè di compost per la biostimolazione e la difesa in orticoltura).

### ***1.6.3 Modalità di Estrazione CT non aerato o “NCT”***

L'estrazione non aerata del Compost Tea si effettua in un secchio/serbatoio appositamente adibito al processo (condizioni anaerobiche), in cui vengono addizionati l'acqua, posta singolarmente nel secchio e lasciata decantare/riposare per tutta la notte al fine di rimuoverne il contenuto di cloro, qualora non si disponesse direttamente di acqua dechlorata, e poi il sacchetto contenente il compost, preparato seguendo le medesime modalità previste per l'estrazione aerata. Successivamente, si procede a mescolare il sacco contenuto nel serbatoio per qualche minuto e poi lo si lascia a riposo per favorire l'ottimale svolgimento dei processi chimici. Tale operazione di infusione (St. Martin, 2014) sarà svolta per una durata di circa 7-14 giorni (Pilla et al., 2023) e il prodotto ottenuto sarà oggetto di filtrazione per poter rimuovere i residui di scarto, così come previsto anche nella modalità aerata, e opportunamente conservato in luoghi idonei (Carr, 2020).

### ***1.6.4 Periodo di Estrazione***

Come già descritto, l'estrazione è, in realtà, un processo abbastanza veloce che si completa in un arco temporale compreso tra qualche ora e una/due settimane, sebbene sia utile considerare, però, che la durata del processo dipende dal tipo di compost tea che si intende produrre (come descritto precedentemente e affrontato da Pilla et al., (2023)) e che, secondo Hegazy et al., (2015), una maggiore durata di tale operazione può determinare un migliore il rilascio delle sostanze nella sospensione ed un aumento delle popolazioni microbiche, ottenendo un prodotto con elevato contenuto di microrganismi benefici.

### **1.6.5 Filtraggio**

L'operazione di filtraggio si dimostra quella conclusiva dell'intero processo di estrazione; essa accomuna entrambe le modalità previste ed è fondamentale per garantire la realizzazione di un prodotto ottimale, che potrà esser distribuito/applicato/irrorato previa diluizione o meno. È fondamentale garantire una buona riuscita dell'operazione, in modo da rimuovere adeguatamente residui e aggregati che potrebbero causare ostruzioni e intasamenti delle vasche o delle tubazioni. Fra le tipologie di filtri in commercio, si annoverano quelli artigianali (costituiti da sacco filtrante, a maglia molto fine e di materiale sintetico), quelli a dischi o a graniglia (molto più costosi ma efficaci), con una capacità filtrante all'incirca pari a 100 µm, posizionati fuori dalle vasche di estrazione in modo da garantire un filtraggio finale ottimale. Molto più grossolano ma, talvolta, altrettanto efficace si dimostra essere il semplice uso di carta assorbente (come adottato nelle prove condotte in azienda).

### **1.6.6 Costi di Produzione**

I costi da sostenere per l'estrazione del Tè di Compost dipendono da svariati fattori, ma derivano innanzitutto dal possesso o meno del compost iniziale. Qualora esso provenisse da un'azienda diversa rispetto quella di estrazione del CT, si avrebbe, infatti, una spesa dovuta al prezzo di acquisto dello stesso. Gli altri elementi responsabili del costo finale di produzione e direttamente connessi al processo di estrazione sono:

- tecnologia e modernità delle attrezzature a disposizione (in quanto le tecnologie innovative garantiscono miglioramenti nelle procedure e riduzione dei consumi, sebbene si abbiano anche maggiori ed ingenti spese per il loro acquisto);
- disponibilità o necessità di manodopera e operai da destinare allo svolgimento delle fasi cruciali del processo produttivo (movimentazione, trasporto, estrazione, rimescolamento, controllo, ecc);
- costi da sostenere, quali costi relativi ai costi fissi (costi di ammortamento), costi degli interessi, costi variabili (costo del lavoro e della manodopera), costi di elettricità (costi di riparazione e manutenzione) (Matouk et al., 2017).

Un aspetto positivo si dimostra essere, però, il considerevole calo nell'utilizzo di concimi e fitofarmaci derivante dall'uso di CT sulle colture, in virtù del quale si hanno conseguenti riduzioni e risparmi nei costi di coltivazione.

## 1.7 Benefici e problematiche correlati all'uso di Tè di Compost

### 1.7.1 Proprietà benefiche

Alcuni dei benefici effetti riscontrati durante le prove condotte in lattuga e basilico erano già stati osservati da diversi studiosi. Oltre ad un impatto ambientale ridotto (a causa di un più dilazionato rilascio delle sostanze contenute), è stata riscontrata, infatti, una gestione più sostenibile delle coltivazioni, con riduzione di fertilizzanti chimici e pesticidi (Pane et al., 2014), e la promozione di un'economia circolare finalizzata al recupero di scarti agricoli e alla loro trasformazione in risorse utili (De Corato, 2020). Come si evince dalla seguente tabella (Tab. 6) (Eudoxie e Martin, 2019), fra di essi si annoverano:

Tabella 6 Riferimenti bibliografici di ricerca degli effetti del tè di compost su basilico e lattuga (Eudoxie e Martin, 2019)

Materia prima usata per il compost	Metodo di infusione/ concentrazione	Pianta coltivata in ambiente protetto	Effetti riscontrati	Riferimenti bibliografici
Non specificato	Infuso non specificato 25% m/v	Basilico	Il tè di compost in combinazione con il compost ha implementato la crescita vegetativa e il contenuto di oli essenziali ma ha causato una riduzione del contenuto di N	(Khalid et al., 2006)
C1=compostato 78,0% carciofo, 20% cippato e 2% compost starter maturo; C2=compostato 43,5% carciofo, 23,5% finocchio, 11,0% residui di scarola, 20% cippato e 2% compost starter maturo (ogni valore è espresso come percentuale di peso secco).	Metodo aerato	Lattuga	Il tè di compost ha migliorato la produttività vegetale, ma sono necessari ulteriori studi in merito ai meccanismi di azione siano	(Pane et al., 2014)

Il compost tea presenta, dunque, svariate qualità positive e benefiche: proprietà biologiche, fitosanitarie, fisiche, chimiche e di bio-stimolazione.

In merito all'aspetto biologico esso si dimostra, infatti, in grado di implementare l'assimilazione dei nutrienti da parte delle colture, in virtù delle sostanze umiche e dei microrganismi in esso presenti, stimolando la crescita delle piante tramite la produzione di fitormoni (Eudoxie e Martin, 2019).

Esso presenta, inoltre, proprietà fitosanitarie e soppressive (Reeve et al., 2010), grazie ai microrganismi antagonisti (vedi sottoparagrafo 2.3.3) che proliferano al suo interno durante i processi di compostaggio e che vi permangono, utili perché in grado di ridurre l'incidenza e l'intensità delle malattie. Tale effetto benefico sembrerebbe derivare dalla competizione che essi instaurano con gli agenti patogeni esterni, realizzando una vera e propria azione soppressiva contro di essi e producendo sostanze difensive per le colture, con capacità antibiotiche e di resistenza (Shaban et al., 2015). In particolar modo, per creare, ad inizio della stagione di coltivazione, un ambiente favorevole alla crescita delle colture e svolgere un positivo controllo di malattie ed infestazioni, si dimostra molto utile l'applicazione tramite vaporizzazione fogliare e distribuzione al suolo, con conseguente diffusione grazie ad insetti ed imenotteri (Eudoxie e Martin, 2019).

A tal proposito, diverse ricerche hanno, infatti, comprovato che l'applicazione fogliare di CT sulle colture può determinare una riduzione di alcune delle più frequenti malattie fogliari, fra cui oidio, muffa grigia, ticchiolatura (Marín et al., 2013). Alcuni studiosi si sono, pertanto, concentrati sul ricercare ed identificare quali fossero i fattori che rendevano il Tè di Compost responsabile di tale capacità. Scheuerell e Mahaffee (2006) hanno riscontrato che un fattore determinante consisteva nelle classi di compost utilizzate (in quanto letame e derivati vegetali sortivano un maggior effetto), secondo San Martino (2014) ciò derivava, invece, dal fatto che fosse ottenuto tramite vermicompostaggio o meno (perché più repressivo se tale), mentre, sebbene Trankner (1992) abbia riscontrato che ciò dipendeva dalla maturità del CT ottenuto (che risultava migliore se di 2-6 mesi), Palmer et al., (2010) dalle ricerche condotte hanno desunto che i compost più immaturi presentavano maggiori capacità repressive su muffa grigia rispetto a quelli caratterizzati da un livello di maturità maggiore.

Oltre a ciò, il tè di compost comporta anche una variazione nelle proprietà fisiche, principalmente riscontrabili nei suoli, dove, ad opera delle sostanze colloidali e dei microrganismi contenuti, si osserva una variazione della coesione delle particelle del terreno/substrato di coltivazione, con miglioramento del potere assorbente, della struttura, dei fenomeni di drenaggio e di ritenzione idrica e dell'aerazione e circolazione nel suolo (Shaban et al., 2015).

Di estrema rilevanza sono, oltre alle precedenti descritte, anche le peculiari proprietà chimiche e di bio-stimolazione che contraddistinguono questo estratto, correlate al contenuto benefico di macro e micro nutrienti, responsabili dell'incremento della fertilità (grazie ad un rilascio lento e graduale) e di un effetto biostimolante grazie ai composti fitostimolanti contenuti (sostanze umiche, batteri PGR e biomolecole attive) (Eudoxie e Martin, 2019). Infatti, come riscontrato da Ingham, (2003),

nel Tè di Compost sono contenuti nutrienti solubili utili, in grado di nutrire e sostenere la crescita dei microrganismi presenti, implementandone, così, l'azione fitopatogena (Matouk et al., 2017).

Si è, dunque, osservato che l'uso di CT nelle colture ortive e frutticole può determinare aumenti: nell'assorbimento di nutrienti e nell'attività ormonale (Eudoxie e Martin, 2019); nelle proprietà fitosanitarie (Reeve et al., 2010); nella produzione di bacche, dimensione dei frutti e crescita dei germogli (Pane et al., 2012); nello sviluppo di biomassa e crescita vegetale (Pilla et al., 2023) e nel contenuto di pigmenti, azoto, clorofilla e attività fotosintetica (Siddiqui et al., 2008).

Infine, come emerso dalle ricerche condotte da Hung et al., (2017), il compost tea si dimostra in grado di ridurre la movimentazione di residui di metalli pesanti, eventualmente contenuti nel substrato o terreno di coltivazione, e può essere, perciò, utilizzato beneficamente per la bonifica di terreni contaminati. In particolar modo, dalla ricerca si evince che, sfruttando i processi di agitazione meccanica e lavaggio ultrasonico, il compost tea anaerobico è anche in grado, agendo come efficace solvente e grazie ai composti contenuti (acidi umici e alcoli), di rimuovere gran parte dei contaminanti presenti nei suoli sottoposti allo studio.

### ***1.7.2 Confronto con altri concimi microbiologici***

Rispetto ai concimi biologici più comunemente utilizzati, il Compost Tea presenta una maggior variabilità e quota di microrganismi, di rilevante importanza per garantire non solo una più ampia varietà di effetti benefici, ma anche un maggior sostegno allo svolgimento dell'intero processo di coltivazione (Zaccardelli et al., 2012). Tale eterogeneità dipende dalle condizioni del processo di estrazione (temperatura, quota di ossigeno presente, tempistiche, eventuali contaminazioni riscontrabili) e, sebbene essa comporti un maggior rischio di insorgenza di problematiche per le colture e la salute umana, è sufficiente garantire che non vi siano veicolazioni o contaminazioni di patogeni/sostanze dannose/tossine nel prodotto finale, utilizzato sulla vegetazione, per evitarle (Zaccardelli et al., 2012). Inoltre, in esso si riscontra una spiccata reattività dei microrganismi contenuti per la maggior velocità con cui avviene il processo produttivo e per la possibilità di un uso immediato del prodotto ottenuto (al contrario del CT, gli altri ammendanti sono generalmente sottoposti a stoccaggio prima di essere effettivamente utilizzati) (Centro di ricerca e di sviluppo G-Agro, A.A.V.V., s.d.).

Il Tè di Compost permette, oltre a ciò, anche una semplificazione delle pratiche di coltivazione grazie ad un'azione a largo spettro, che permette un controllo di molte delle più frequenti problematiche riscontrabili, seppur con minor specificità per determinate tipologie di patogeni.

Vi è, inoltre, una minor quota di residui di prodotti e fitofarmaci tendenzialmente utilizzati in alcune fasi colturali delicate e più sensibili (a seguito di una minor dose applicata al momento del

trattamento), ed un miglioramento della struttura e della qualità del suolo/substrato di coltivazione (in virtù dell'attività di detossificazione di inquinanti e tossine svolta dai microrganismi).

Come osservato da Borin et al., (1987) e Brwaldh, (1992), infatti, il compost tea consente un miglioramento della ritenzione idrica, delle caratteristiche fisiche e della consistenza del suolo, rispetto ai fertilizzanti chimici solitamente utilizzati.

Essendo a lento rilascio Borin et al., (1987) e Brwaldh, (1992) hanno osservato che il Tè di Compost permette delle condizioni di coltivazione più adeguate (con rispetto delle necessità colturali con apporto delle dosi ottimali, nelle giuste tempistiche e senza incorrere in eccessi), responsabili del miglioramento del livello di qualità dei prodotti raccolti e della riduzione di malattie derivanti da pratiche di coltivazione “troppo spinte”, determinanti, nella vegetazione stessa, maggior stress e predisposizione agli attacchi da parte di agenti patogeni.

### ***1.7.3 Problematiche riscontrabili nella produzione***

Nell'estrazione del tè di compost è necessario porre particolare attenzione alle esalazioni emanate dal materiale durante il processo produttivo, così come all'odore del prodotto finale ottenuto. Mentre, infatti, l'adeguato svolgimento delle reazioni di fermentazione e ossigenazione comporta, la realizzazione di un prodotto con un odore non sgradevole e somigliante a quello del terreno, (poiché ben aerato), qualora tali reazioni non avvenissero correttamente si formerebbero maleodorazioni e cattivi odori a seguito della produzione di alcool durante le fasi di fermentazione (Ingham, 2005). Inoltre, come osservato da Islam et al., (2016), le differenze riscontrabili durante il processo di produzione (procedure seguite, composizione, maturità e qualità del compost iniziale, periodo di estrazione, modalità di filtraggio e conservazione) incidono notevolmente sulle caratteristiche e sulla tipologia di Compost Tea ottenibile e rappresentano, dunque, un elemento di variabilità che acuisce la difficoltà di comprensione dei suoi reali benefici sulle colture.

La qualità del Tè di Compost ottenuto a seguito dei processi produttivi dipende da maturità, presenza e quantità di metalli pesanti, inquinanti, microrganismi e sostanze antifungine presenti nel compost da cui è estratto (Pilla et al., 2023). Può esser opportunamente testata valutando la compatibilità con colture target, al fine di verificare, tramite le risposte colturali, se il prodotto utilizzato presenti un'adeguata quota di nutrienti, acidi umici e fulvici, microrganismi e componenti organiche/inorganiche.

Ulteriore problematica connessa all'applicazione del Tè di Compost, sebbene non si dimostri tanto frequente da indurre ad evitarne l'utilizzo, generalmente si riscontra la possibile presenza di micro-residui di detriti solidi (dovuti a compost derivante da rifiuti solidi urbani e da raccolta differenziata) o di patogeni, virus, semi di infestanti e spore fungine (che possono permanere nel

materiale dal quale sarà ricavato il compost tea in seguito ad un errato processo di compostaggio ed esser, così, causa di una contaminazione del substrato di coltivazione o della soluzione nutritiva cui il CT sarà addizionato, con negative conseguenze per le colture).

Inoltre, a seguito della distribuzione fogliare del CT secondo Zaccardelli et al., (2012), si possono anche osservare: in frutticoltura, formazione di macchie sui frutti dovute alla colorazione di tale estratto (con negative ripercussioni sulla commercializzazione di tali prodotti), in viticoltura, morte dei lieviti presenti nella buccia (a seguito delle modifiche chimico-fisiche indotte dal CT nel loro habitat favorevole), nel suolo, accumulo e movimentazione di metalli pesanti, o, in generale, eccessivo assorbimento di alcuni elementi con conseguente effetto di fitotossicità

## **1.8 Applicazione del Compost Tea**

### ***1.8.1 Normativa che ne regolamenta l'applicazione***

Per consentirne l'utilizzo a livello agronomico, il Compost Tea dev'essere conforme con quanto previsto dalla normativa che regolamenta la gestione dei rifiuti (D. Lgs.152/06), come descritto dall'Art. 178 comma 2:

“I rifiuti devono essere recuperati o smaltiti senza pericolo per la salute dell'uomo e senza usare procedimenti o metodi che potrebbero recare pregiudizio all'ambiente e, in particolare:

- a) senza determinare rischi per l'acqua, l'aria, il suolo, nonché per la fauna e la flora;
- b) senza causare inconvenienti da rumori o odori;
- c) senza danneggiare il paesaggio e i siti di particolare interesse, tutelati in base alla normativa vigente.”

Inoltre, nell'art. 183 della parte IV del medesimo decreto, si specificano le definizioni chiave di:

- “recupero”: le operazioni che utilizzano rifiuti per generare materie prime secondarie, combustibili o prodotti, attraverso trattamenti meccanici, termici, chimici o biologici, incluse la cernita o la selezione, e, in particolare, le operazioni previste nell'Allegato C alla parte quarta del presente decreto
- “compost da rifiuti”: prodotto ottenuto dal compostaggio della frazione organica dei rifiuti urbani nel rispetto di apposite norme tecniche finalizzate a definirne contenuti e usi compatibili con la tutela ambientale e sanitaria e, in particolare, a definirne i gradi di qualità.

### ***1.8.2 Utilizzo di CT e modalità di applicazione***

Le specie vegetali su cui si è sperimentato l'utilizzo di questo compost sono molteplici: ne sono un esempio ortaggi (Pane et al., 2012), vite (Zaccardelli et al., s.d.), piante da frutto (Eudoxie e Martin,

2019) e cereali (Bako et al., 2021). È bene tener presente che un'attenzione particolare dev'essere rivolta alle modalità di applicazione, in quanto esse devono rispettare la specifica normativa e i consueti accorgimenti che già si adottano per la distribuzione di composti chimici e sostanze fertilizzanti. In particolar modo, per il Tè di Compost è prevista l'irrorazione fogliare, la distribuzione radicale, l'uso in fertirrigazione, in idroponica o in combinazione di diverse tecniche. In merito alla prima citata, essa prevede l'irrorazione, nebulizzazione e vaporizzazione del CT sull'apparato fogliare delle colture (Waliczek e Wagner, 2023), con funzione nutritiva, bio-stimolante, fitosanitaria e repellente (Siddiqui et al., 2011). Per quanto riguarda la quantità di CT da distribuire, è opportuno valutare attentamente le necessità colturali e svolgere la somministrazione in modo graduale e progressivo, apportando le dosi adeguate (De Corato, 2020). L'applicazione fogliare dimostra avere importanti benefici in virtù dell'aumento della variabilità microbica, della maggiore nutrizione e della più intensa azione fitopatogena che essa comporta (Eudoxie e Martin, 2019). Inoltre, secondo (Scheuerell e Mahafee, 2004), tale modalità di distribuzione sarebbe proficua poiché responsabile di un notevole effetto soppressivo nei confronti di molte malattie fogliari e, in accordo con quanto emerso da diversi studi condotti in merito, essa comporterebbe anche risultati migliori rispetto alla distribuzione radicale (Gaio e Michea, 2019), sia in condizioni normali che di carenza idrica, evitando, talvolta, di dover ricorrere alla fertilizzazione fogliare (Zaccardelli et al., s.d.). Al contrario, (Hargreaves et al., 2009) hanno riscontrato, nella coltivazione di fragole, effetti benefici sia a seguito della vaporizzazione fogliare che con la distribuzione al suolo del CT.

La distribuzione radicale è svolta tramite innaffiatura delle radici e irrigazione del terreno, con funzione di recupero e rinnovamento della sua struttura, soprattutto se soggetto a problematiche di stanchezza, carenza di nutrienti o inquinamento. In accordo con quanto riscontrato da (Waliczek e Wagner, 2023), la distribuzione di CT al suolo tramite irrigazione avrebbe significativi effetti benefici sulle popolazioni microbiche che vi sono contenute, le quali sono responsabili, a loro volta, di un aumento della crescita, della resa e della sopravvivenza delle colture a diverse malattie. Come osservato da Bernal-Vicente et al., (2008), questo tipo di distribuzione alle radici dei meloni determina un importante aumento della biomassa di queste colture.

Può essere prevista, inoltre, la combinazione di entrambe le tecniche sopracitate (fogliare e radicale), effettuando prima una distribuzione radicale, in fase di trapianto, e poi fogliare a cicli regolari fino al momento della raccolta.

Ulteriori benefici si rilevano a seguito dell'uso di CT in fertirrigazione, con funzione di stimolazione e ripristino degli equilibri nella rizosfera e delle simbiosi benefiche che si instaurano

tra apparato radicale e comunità microbica, e in idroponica, in cui gli effetti derivanti dall'uso di Tè di Compost come soluzione nutritiva per le colture sono stati più frequentemente studiati rispetto a quelli da distribuzione fogliare (Pane et al., 2014).

È necessario tener presente che, come per qualsiasi altro prodotto, si devono osservare le dosi di distribuzione più idonee, poiché, se distribuito in quantità eccessiva, anche il CT può comportare conseguenze negative, come l'inibizione nella crescita vegetale o nella germinazione dei semi (Leauthaud et al., 2022).



## **Capitolo 2: Scopo del lavoro**

La necessità di optare per tecniche di coltivazione, pratiche agronomiche e input esterni che rispettino e promuovano la sostenibilità ambientale, perseguendo il risparmio delle risorse tramite il riciclo e la riduzione degli sprechi, si dimostra sempre più inderogabile. Prediligere l'uso di sostanze e prodotti che presentino un minor impatto ambientale ma, al contempo, maggiori potenzialità volte a garantire una circolarità nella gestione delle risorse, è fondamentale.

Lo scopo perseguito nella presente tesi risiede nel valutare la funzionalità di applicazione del compost tea in bioponica, al fine di vagliare la propensione di questa soluzione a dimostrarsi un potenziale ed efficace sostituto, parziale o totale, rispetto ai comuni fertilizzanti di sintesi utilizzati nella coltivazione fuori suolo.

Per garantire una valutazione esaustiva, si sono realizzate due prove di coltivazione in idroponica NFT di lattuga e basilico in ambiente protetto, in due cicli ed epoche diverse, nelle quali si è confrontata l'efficacia di quattro gestioni della soluzione nutritiva. È stato obiettivo della prova analizzare gli effetti colturali derivanti da tali somministrazioni, valutando gli aspetti di carattere qualitativo e quantitativo riscontrabili nelle colture ed evidenziando i pregi e le problematiche connesse a tale sistema di coltivazione, per promuovere la valorizzazione ed il recupero delle matrici organiche utili.



## Capitolo 3: Materiali e metodi

La sperimentazione è stata condotta presso l’Azienda Agraria “Lucio Toniolo” dell’Università degli Studi di Padova, sita nel comune di Legnaro (45° 20’ 32” N, 11° 57’ 58” E, 8 m s.l.m.). Come apprestamento protettivo per la coltivazione delle specie si è utilizzata una porzione di serra-tunnel, con orientamento Nord-Sud, caratterizzata da una larghezza di 12 m, una lunghezza di 50 m ed un’altezza di 6 m al colmo, dotata di aperture automatizzate delle pareti e del colmo in funzione delle temperature impostate, con rivestimento in doppio film plastico gonfiato (PE).

La prova ha interessato la coltivazione di due diverse specie (*Lactuca sativa* var. Canasta e *Ocimum basilicum*), realizzata in due cicli in epoche differenti. La lattuga è stata coltivata nel periodo dal 23 maggio 2024 al 26 giugno 2024; per il basilico, invece, è stato valutato un primo sfalcio con trapianto in data 3 luglio 2024 e raccolta il 24 luglio 2024, ed un secondo sfalcio, effettuato sulle piante presenti (già affrancate e alle quali è stata apportata solo acqua, senza l’utilizzo di soluzione nutritiva) e svolto in data 21 agosto 2024.

### 3.1.1 Preparazione del Compost Tea

L’esperimento di coltivazione di lattuga e basilico in ambiente protetto, con sistema idroponico deep NFT, ha richiesto una preparazione iniziale di Tè di Compost, realizzata utilizzando compost ottenuto da FORSU e sfalci verdi di potatura fornito dall’azienda Sesa Spa. Il compost iniziale è stato sottoposto ad una prova di infusione, finalizzata ad identificarne il rapporto e le tempistiche ottimali di estrazione con acqua demineralizzata con metodo dinamico.

A tal fine, si sono testate diverse combinazioni di estrazione di compost e acqua in appositi Baker, per identificare la diluizione che permettesse di ottenere un compost tea con le migliori caratteristiche, adottando diversi rapporti compost-acqua (1:2,5/1:5/1:10) e diverse tempistiche (24/48/72 ore). Ottenuti i diversi campioni, il loro contenuto di nutrienti e metalli pesanti è stato accuratamente valutato in laboratorio, allo scopo di accertare la conformità delle matrici in relazione agli aspetti legislativi. Poiché dall’analisi è emerso che la soluzione migliore, con concentrazione più adeguata di nutrienti, risultava la combinazione con rapporto 1:5 v/v tra compost e acqua e tempistiche di 24 ore, si è proceduto, con tali riferimenti, all’estrazione dinamica del compost tea da utilizzare nelle prove sperimentali, provvedendo a conservarne una quota in eccesso, a temperatura controllata a 4°C, per ogni eventuale necessità.

Per la preparazione (Fig. 9), si sono utilizzati sacchi di tessuto non tessuto (TNT) adeguatamente sagomati, utili per garantire un’adeguata aerazione del compost presente all’interno ed una consona interazione con l’acqua, evitandone il diretto contatto a seguito di eventuali fuoriuscite del

materiale. Tali sacchi sono stati, dunque, posti all'interno di un contenitore sottoposto ad aerazione tramite dispositivo aeratore a membrana dalla portata di 40 L/min collegato ad una pietra porosa; trascorso il tempo necessario affinché l'infusione si potesse completare, si è prelevato l'estratto e filtrato con carta assorbente, per trattenere e rimuovere la frazione solida presente.



Figura 9 Estrazione del Tè di Compost presso l'Azienda Agraria Sperimentale: a) prelievo del compost iniziale b) preparazione dei sacchi di TNT contenenti il compost c) chiusura e sigillo dei sacchi d) inizio del processo di infusione all'interno del contenitore.

Come descritto al paragrafo seguente 3.3 “Realizzazione delle prove”, si sono poi realizzate delle soluzioni madre (A e B), diverse e specifiche per le varie soluzioni prova, per la realizzazione delle quali si è utilizzata acqua di rubinetto (analizzata ai fini del calcolo dei nutrienti) e, come parametro di riferimento, il valore di conducibilità elettrica caratteristica per la coltivazione della lattuga (2.38 ms/cm), come indicato dal software di calcolo delle soluzioni SOL-NUTRI per gli ortaggi da foglia. Infine, sono state preparate le soluzioni oggetto delle prove (il cui specifico procedimento è presentato al paragrafo 3.3).

### ***3.1.2 Preparazione dei contenitori/materiale per la coltivazione***

La preparazione dei contenitori per la coltivazione è fondamentale per garantire un'adeguata ed ottimale crescita delle colture, consentire un opportuno sviluppo radicale e fornire sostegno alle colture. Per entrambi gli esperimenti, si sono utilizzati contenitori compostabili da 200 mL opportunamente forati e riempiti di argilla espansa, con l'obiettivo di assicurare sostegno e ritenzione idrica ottimale per la coltivazione di piante acquistate da vivaio in plateau 126 fori con panetto di torba.

### 3.2 Schema sperimentale e controlli svolti (I e II specie)

Per le prove sperimentali si è utilizzato un sistema di idroponica deep Nutrient Film Technique (vedi sottoparagrafo 1.2.1), con ricircolo della soluzione nutritiva contenuta in vasche indipendenti (Fig. 10) tramite un'apposita pompa.

Il sistema di coltivazione è stato caratterizzato dall'impiego di tank con una capacità di 100 litri, periodicamente monitorati mediante l'impiego di un pH-metro conduttivimetro portatile (Hanna instruments modello HI 9813-5), considerando come parametri di riferimento il valore di EC, pH e temperatura. Le vasche (Fig. 10) erano costituite da materiale plastico, rivestite con materiale isolante e tinte di bianco al fine di mitigare le variazioni di temperatura e opportunamente aerate con pietra porosa per garantire sufficiente contenuto di ossigeno nella soluzione; l'arieggiamento è stato fatto con due areatori a membrana Scubla (modello D40, Fig. 11, dalla portata nominale di 38 L/min). Il trattamento CTCJ differiva rispetto al CTC, in quanto veniva insufflata aria ionizzata "NTP" (Non Thermal Plasma), prodotta da apposito generatore composto da 3 tubi ionizzanti (Fig. 11) dalla portata di 5 L/min (forniti dall'azienda Jonix s.p.a.).



Figura 10 Vasche contenenti la soluzione nutritiva, chiuse con coperchi a pietre porose, rivestiti di lana di roccia per isolare l'acqua dalla variazione di temperatura e collegati tramite il tubo di mandata al sistema di coltivazione.



Figura 11 A sx) Tubi ionizzanti Jonix water dalla portata di 5 L/min;  
a dx) Compressore a membrana Scubla (modello D40, dalla portata nominale 38 L/min).

Il sistema di coltivazione era costituito da 36 tubi in PVC, suddivisi in 12 sistemi indipendenti, dotati di 10 fori ciascuno, effettuati ad una distanza di 20 cm ognuno, nei quali sono stati posizionati i contenitori biodegradabili contenenti le piante oggetto della prova. È stato organizzato secondo uno schema sperimentale con 3 blocchi randomizzati (Fig. 13): si sono previsti 12 sistemi indipendenti (numerati da 1 a 12), raggruppati in 3 blocchi (da 1 a 3), ognuno dei quali contenente 4 sistemi, costituiti da 3 repliche ciascuno (Fig. 12), rappresentate dai banchi di tubi e identificate con “A, B, C” (Fig. 12).

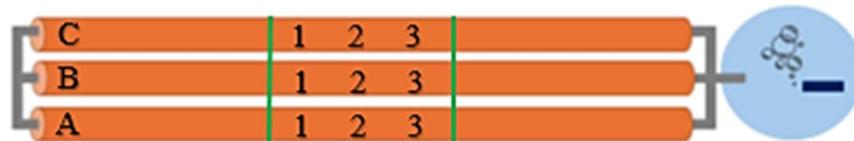


Figura 12 Sistema di coltivazione idroponica in NFT con 3 tubazioni e ricircolo della soluzione contenuta nella vasca indipendente.

In ciascuna canaletta, sono state selezionate 3 piante, le centrali di ogni tubazione per evitare variabili dovute all’effetto di vicinanza al tubo di mandata, quindi del gradiente della soluzione nutritiva e di crescita delle piante, e dell’effetto bordo, identificate con “1, 2, 3” e soggette ad analisi e rilievi settimanali. Infine, si sono preparate le 4 soluzioni oggetto della prova.

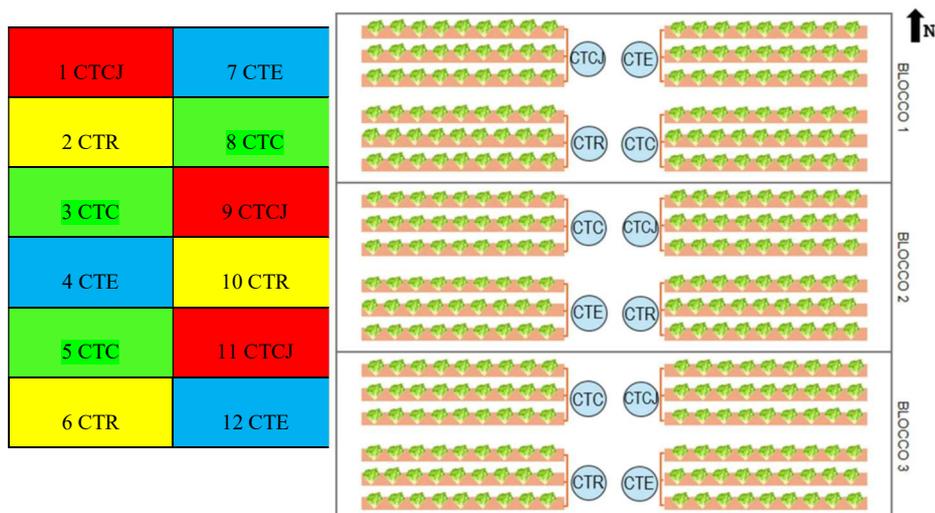


Figura 13 Schema sperimentale con 3 blocchi randomizzati, ognuno costituito da: CTR (soluzione di controllo), CTC (soluzione con compost tea corretto), CTCJ (soluzione con compost tea corretto trattata con NTP) e CTE (soluzione con compost tea tale e quale).

### 3.3 Realizzazione delle prove

Per valutare come l'utilizzo di Compost Tea impiegato nelle soluzioni nutritive con diverse concentrazioni possa influenzare la crescita, resa, vigoria e qualità delle piante, si sono predisposti 4 trattamenti con due cicli di coltivazione per la specie *Ocimum basilicum* in quanto adatta al ricaccio e un ciclo per la specie *Lactuca sativa*, quali:

- CTR, controllo minerale
- CTE, estratto di the di compost
- CTC, estratto di the di compost corretto
- CTCJ, estratto di the di compost corretto sottoposto a plasma freddo.

Per entrambe le specie coltivate, sono state impiegate le medesime soluzioni nutritive accomunate da valori di EC 2.38 mS/cm costante in tutti i trattamenti, la cui composizione è riportata alla tabella seguente (Tab. 7):

Tabella 7 Composizione delle soluzioni nutritive impiegate nella prova (espressa in mmol/L). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo.

CTR (mmol/L)															
EC dS/m	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	S-SO <sub>4</sub>	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
2.38	16.00	2.00	1.00	10.00	4.50	1.00	0.00	2.50	0.00	40.00	30.00	1.00	5.00	5.00	1.00
CTC (mmol/L)															

EC dS/m	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	S-SO <sub>4</sub>	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
2.38	14.06	1.76	1.76	8.79	3.95	0.88	2.79	2.49	1.97	40.00	30.00	1.00	5.00	5.00	1.00
CTE (mmol/L)															
EC dS/m	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	S-SO <sub>4</sub>	Cl	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
2.38	0.18	0.05	1.58	7.99	1.74	0.64	8.12	7.23	5.73	7.72	9.43	0.46	0.00	0.00	0.00

Durante il secondo ciclo di coltivazione interessato dalla presenza di basilico, sono stati valutati due sfalci delle medesime piante, effettuando dei tagli a 5 cm dal colletto al fine di favorire il ricaccio delle piante. Le elevate temperature del periodo hanno comportato l'aumento concentrazione ionica delle soluzioni nutritive, che hanno raggiunto a fine del primo sfalcio valori superiori a 4 mS/cm; pertanto, per il secondo sfalcio i refill sono stati fatti solo con acqua, senza apportare ulteriori nutrienti alle piante col fine anche di favorire un recupero dei nutrienti presenti.

### 3.4 Specie coltivate



Figura 14 a) I specie coltivata: *Lactuca sativa* "var. Canasta", b) II specie coltivata: "*Ocimum basilicum*"

Per entrambe le specie (Fig. 14), si è provveduto a monitorare periodicamente le piante per valutarne l'andamento di crescita; in particolar modo, si sono analizzati, con cadenza settimanale, i valori relativi a:

- pH, conducibilità elettrica, temperatura e contenuto di ossigeno della soluzione nutritiva
- indice di verde fogliare, misurato con SPAD
- contenuto di antociani, carotenoidi, flavonoidi e nitrogen balance index (NBI), misurato con DUALEX
- attività stomatica e fotosintetica, misurata con LICOR
- peso delle 9 piante di ciascun sistema

- immagini fotografiche per la determinazione dell'accrescimento
- immagini fotografiche precedenti e successive allo sfalcio (per il basilico) (Fig. 15)

Si sono calcolati il valore di copertura vegetativa ed il rigoglio fogliare (in termini numerici), elaborando le immagini riferite ad un'area di saggio rispettivamente pari a 1 m x 1 m e 3 m x 1 m ed i risultati sono stati espressi in percentuale di superficie coperta.



Figura 15 A sinistra) Rilievo fotografico realizzato subito dopo lo sfalcio del I ciclo di basilico; a destra) Rilievo fotografico realizzato dopo 2 settimane dallo sfalcio del I ciclo, subito prima della raccolta.

### 3.5 Rilievi non distruttivi

#### 3.5.1 Parametri e condizioni climatiche di coltivazione

Durante la coltivazione sono stati costantemente monitorati: temperatura, PAR e umidità dell'aria all'interno della serra utilizzando appositi sensori climatici, quali i sensori data logger Hobo (HOBO, Onset Computer Corporation, Bourne, Massachusetts, USA), e si sono elaborati, tramite i risultati ottenuti, i grafici rappresentativi del loro andamento, rappresentati nelle (Fig. 16 e Fig. 17).



Figura 16 Parametri climatici (T, RH) registrati nel ciclo di lattuga

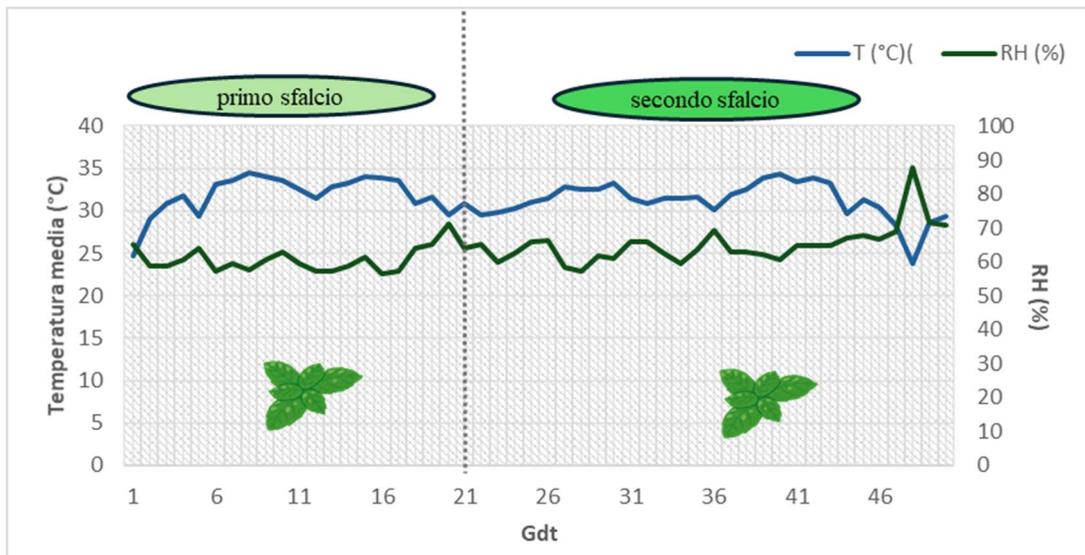


Figura 17 Parametri climatici (T, RH) registrati nel I e II sfalcio di basilico

### 3.5.2 Parametri delle soluzioni nutritive

Al fine di monitorare il corretto svolgimento della prova, è stato necessario svolgere periodici controlli, rilevati settimanalmente, dei valori di:

- pH
- conducibilità elettrica
- temperatura
- contenuto di ossigeno disciolto nella soluzione

Per valutare le asportazioni colturali relative ai nutrienti apportati, sono stati prelevati settimanalmente campioni di soluzione nutritiva per la valutazione tramite analisi di laboratorio del contenuto di anioni, cationi e ferro. Si è, inoltre, provveduto a svolgere con cadenza settimanale i refill dei tank con soluzione nutritiva, e si è annotato il quantitativo di soluzione apportata, al fine di calcolare la WUE (Water Use Efficiency).

### 3.5.3 Parametri fisiologici

Lo “SPAD” è un valore correlato al contenuto di azoto nelle foglie e allo stato nutrizionale delle colture, determinato tramite il rispettivo sensore ottico “SPAD 502” (Chlorophyll Meter SPAD-502Plus) (Fig. 18). Tale strumento consente di stimare il contenuto relativo di clorofilla nelle foglie delle colture (Afonso et al., 2018), il quale è correlato e proporzionale al contenuto totale presente nella pianta e al suo conseguente stato di salute. Il misuratore SPAD è, infatti, in grado di identificare un valore proporzionale al contenuto totale di Chl valutando, in modo non distruttivo e non invasivo, la differenza fra l’assorbanza e/o trasmittanza fogliare misurata a 650 nm e 940 nm (lunghezza d’onda corrispondenti a rosso, in cui si ha la massima attività di clorofilla, e infrarosso visibile, identificativo di altri fattori colturali) (Shibaeva et al., 2020) e (Mori, 2004).

È bene tener presente, però, che secondo Cerovic et al., (2012), la precisione delle rilevazioni ottenute con lo SPAD può risultare variabile a causa delle influenze esercitate da condizioni ambientali, di rilevazione, del contenuto eccessivo di clorofilla o taratura/calibrazione non idonea.



Figura 18 Sensore ottico SPAD 502 Plus.

Il “DUALEX” (Fig. 19) è un sensore ottico utilizzato per eseguire una misurazione dei composti polifenolici presenti nelle foglie delle colture, in modo non distruttivo e tempestivo (istantaneo). Tale strumento consente, infatti, di calcolare il contenuto di antociani (parametro “Anth”), clorofilla (parametro “Chl”), flavonoidi (parametro “Flav”) e bilancio dell’azoto (parametro “NBI”), in base al rilievo dell’assorbanza fogliare dell’UV tramite eccitazione della fluorescenza della clorofilla (Cerovic et al., 2012). Ciò è reso possibile dal fatto che, mentre i polifenoli sono in grado di assorbire la luce UV che attraversa la foglia, la luce rossa è in grado di attraversarli e giungere ad eccitare la clorofilla nel mesofillo. Equalizzando (rapportando) i livelli di fluorescenza eccitati da luce rossa (600 nm) e luce UV (375 nm), esso consente, dunque, una rilevazione tempestiva dei polifenoli presenti sulle colture, stimando la fluorescenza emessa a 695 nm (Muñoz-Huerta et al., 2013), (Hamann, 2021) da Altuner et al., (2024).



Figura 19 Sensore ottico Dualex.

Il “Li-COR” (Fig. 20) è, a sua volta, uno strumento ottico (LI-600), utilizzato per stimare lo scambio di gas fogliari, la fluorescenza, la traspirazione, la conduttanza e attività stomatica nelle colture. Esso consiste, infatti, in uno strumento portatile utile per analizzare i parametri relativi allo scambio gassoso delle foglie, quali tasso fotosintetico, concentrazione di CO<sub>2</sub> intercellulare e conduttanza stomatica, tramite l’uso di infrarossi e sorgente luminosa rossa/blu (Dong et al., 2015). Si dimostra di facile utilizzo poiché dotato di apposite “pinze” che permettono di eseguire un rilievo non distruttivo delle foglie delle colture considerate come rappresentative dell’intera coltivazione.



Figura 20 Sensore ottico Li-COR (LI-600).

L'accrescimento delle specie è stato misurato settimanalmente, valutando il peso in grammi di ogni pianta, tramite specifiche bilance di pesatura, ed effettuando una preventiva taratura per rimuovere il peso del substrato e del contenitore nel quale le piante sono state trapiantate.

### 3.6 Rilievi fisici e fotografici Canopy

Al fine di valutare l'andamento e l'accrescimento delle colture durante i cicli di coltivazione, si è provveduto a monitorare periodicamente l'accrescimento della biomassa aerea, nonché lo sviluppo finale raggiunto da specifiche piante selezionate (tre per ogni trattamento di ogni blocco), tramite accurati rilievi fotografici (Fig. 21 e Fig. 22). In particolar modo, sono state scattate delle fotografie con un quadrato 40 x 40 cm, appositamente ritagliate e modificate con Photoshop ed elaborate tramite l'uso dello specifico programma "Foliage", esprimendo i risultati inerenti all'accrescimento in percentuale di superficie coperta.

- **Lattuga**

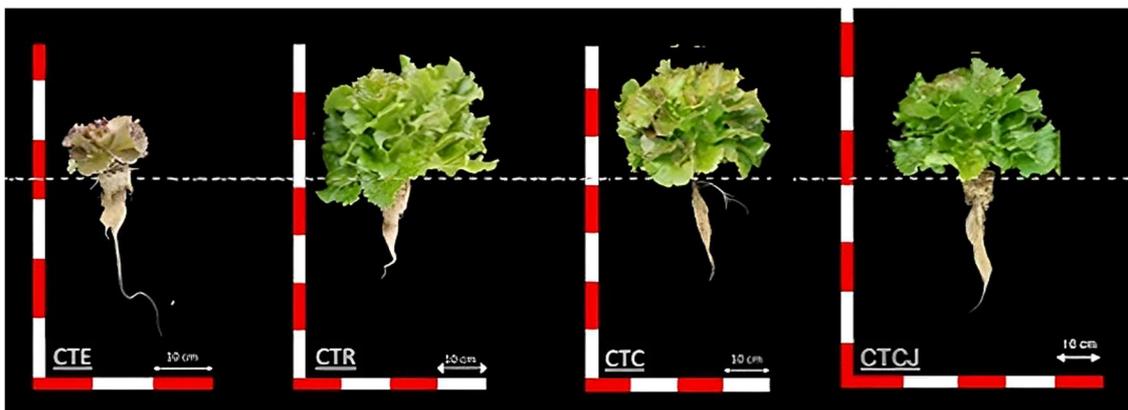


Figura 21 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sullo sviluppo finale di specifiche piante selezionate (tre per ogni trattamento di ogni blocco), durante il ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost + plasma freddo.

- **Basilico**

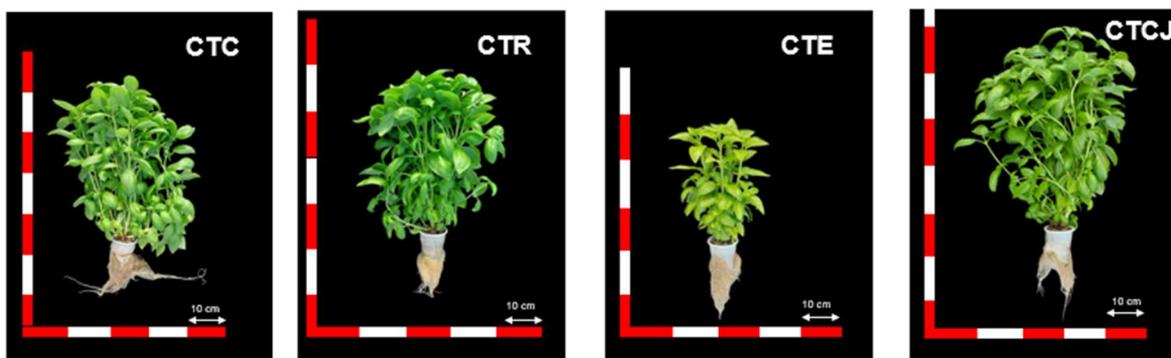


Figura 22 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sullo sviluppo finale di specifiche piante selezionate (tre per ogni trattamento di ogni blocco), durante i cicli di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost + plasma freddo.

### **3.7 Rilievi distruttivi**

#### ***3.7.1 Determinazione della Biomassa***

Una volta raggiunta la biomassa commerciale, si è provveduto a svolgere i rilievi distruttivi nelle piante di lattuga e basilico, allo scopo di valutare le influenze riscontrabili a seguito dei diversi trattamenti di soluzioni nutritive somministrate.

L'entità della biomassa è stata determinata al termine di entrambi i cicli di coltivazione, per entrambe le specie, valutando il peso di:

- Biomassa aerea, ovvero delle parti vegetative
- Biomassa radicale, ovvero degli apparati radicali (dopo esser stati accuratamente ripuliti dai residui di coltivazione)

#### ***3.7.2 Sostanza secca foglie e radici***

Si è provveduto, inoltre, a determinare la sostanza secca delle foglie adottando, per entrambe le specie coltivate, le medesime modalità: una volta svolta la pesatura delle foglie, esse sono state sottoposte ad un processo di essiccazione, effettuato per 48 ore in stufa a 65°C, al termine del quale è stata svolta un'ulteriore pesatura per determinarne la quota di sostanza secca. Poiché, infatti, in tale processo l'acqua contenuta nelle foglie è soggetta ad evaporazione, tramite la differenza tra le due pesate è possibile quantificarla e determinare, così, la quota totale di sostanza secca.

### **3.8 Rilievi specie specifici**

#### ***3.8.1 Diametro della lattuga***

Il diametro del cespo nella lattuga è stato misurato al fine di valutare se le diverse soluzioni nutritive abbiano influenzato gli aspetti morfologici della specie oggetto d'analisi.

#### ***3.8.2 Altezze e numero dei fusti di basilico***

Si è provveduto a stimare l'altezza media massima raggiunta dalle piante di basilico ed il numero di fusti presenti, conteggiando quante ramificazioni le colture avevano prodotto, al fine di valutare se i trattamenti hanno avuto un'influenza su questi parametri.

### 3.8.3 Estrazione degli oli essenziali di basilico

L'estrazione degli oli essenziali è stata realizzata tramite distillazione in corrente di vapore (SD), che richiede l'utilizzo di un estrattore in acciaio e dotato di apposito coperchio per la messa in pressione (Fig. 23).



Figura 23 A sx) Estrattore utilizzato per la prova, con tubazioni con le seguenti finalità: a) flusso del vapore dalla camera all'ampolla b) deflusso dell'acqua in eccesso c) ritorno del vapore al recipiente in acciaio d) ingresso di acqua fredda per raffreddare la camera e innescare la formazione di vapore. A dx) Estrattore professionale per oli essenziali, in corrente di vapore.

Per realizzare l'estrazione, si è prelevato un 1 kg di biomassa aerea fresca (fusti e foglie) di basilico e si è posizionato all'interno del recipiente insieme ad una quota di acqua necessaria per la formazione del vapore. Si è provveduto a chiudere l'estrattore con l'apposito coperchio a pressione e si è iniziato a scaldare su una piastra riscaldante, dove, una volta raggiunta la temperatura di 95°C, si è dato inizio al processo di flusso di acqua fresca per la condensazione del vapore per un periodo di 30 minuti. Tale operazione è stata, poi, ripetuta per ogni trattamento con le stesse modalità e le provette sono state rapidamente oscurate e conservate in cella a 4°C prima di destinarle all'analisi in laboratorio.

## 3.9 Analisi organolettiche e qualitative

### 3.9.1 Analisi qualitativa

Le specie coltivate sono state valutate sotto il profilo qualitativo misurando, oltre ai parametri precedentemente descritti di sostanza secca e biomassa, i seguenti aspetti:

- contenuto nutrizionale e di solidi solubili
- pH, conducibilità elettrica (EC) e acidità titolabile nei campioni di succo cellulare
- contenuto di pigmenti fogliari (Clorofilla a b, Xantofille e Carotenoidi)
- contenuto di minerali (cationi e anioni)

- capacità antiossidante totale e contenuto di polifenoli, rispettivamente tramite il saggio FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power/Ferric Reducing Ability of Plasma) e metodo del reagente di Folin-Ciocalteu

Il contenuto di **solidi solubili** (° Brix) è stato calcolato tramite rifrattometro portatile digitale HI 96801 Hanna Instruments, in grado di determinare il contenuto zuccherino delle colture utilizzando il valore dell'indice di rifrazione.

I valori di **pH** e **conducibilità elettrica** sono stati misurati tramite utilizzo del pHmetro-conduttivimetro portatile modello H19811.

Il valore di **acidità titolabile** è stato determinato in laboratorio come descritto dalla procedura standard ISO 750:1998 (E). Essa prevede di prelevare 10 mL di succo cellulare ed addizionarvi 40 mL di acqua demineralizzata, successivamente eseguire una titolazione con idrossido di sodio (NaOH) 0.1 M, utilizzando gli appositi strumenti tecnici per garantire la massima precisione (pipette graduate a dosaggio millimetrico), per portare il valore del pH della soluzione ottenuta a 8.2. In virtù della quota di mL di NaOH utilizzata per ciascun campione per raggiungere tale valore soglia, si è, dunque, provveduto a calcolare l'acidità titolabile applicando la seguente formula ed esprimendo il risultato in grammi di acido citrico per 100 g di prodotto fresco:

$$Z = [(V * N * mEqwt) / Y] * 100$$

dove: Z = g di acido per 100 g di campione V = volume in ml di NaOH usato per la titolazione N= normalità di NaOH mEqwt = milliequivalenti di acido (0.064 ac. citrico)

Y = volume in ml di campione

Si è provveduto a calcolare il **contenuto di pigmenti fotosintetici** (Fig. 24) misurando la quota totale di clorofilla Chl (a + b) in µg/mL, adottando il metodo proposto da Wellburn e Lichtenthaler (1984) ed applicando le specifiche formule descritte di seguito, convertendo il risultato da esse ottenuto in µg/g, moltiplicando tale valore per gli mL e dividendolo per i g di campione.

In accordo con la procedura descritta da Wellburn e Lichtenthaler (1984), per entrambe le specie analizzate, si è provveduto all'estrazione della clorofilla presente nei tessuti vegetali miscelando 20 mL di etanolo 96% (utilizzato come solvente) ed un campione, di 0.10 g per la lattuga e 0.20 g per il basilico, di tessuto liofilizzato e macinato. In seguito, le provette Falcon contenenti la miscela sono state posizionate al buio, in cella frigo (4°C) per 24 ore. Trascorso il tempo necessario, si è svolta la lettura dell'assorbanza della clorofilla, tramite l'uso dello spettrofotometro modello Shimadzu 1800 UV Vis, a lunghezze d'onda pari a 470, 649 e 665 nm (impostando come zero di riferimento il solo valore ricavato dall'etanolo).

Si sono infine, determinati i contenuti di clorofilla a e b, in  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , carotenoidi e xantofille, applicando le formule seguenti:

1)  $\text{ChlA} = 13.95 \times A_{665} - 6.88 \times A_{649}$  (Clorofilla A)

2)  $\text{ChlB} = 24.96 \times A_{649} - 7.32 \times A_{665}$  (Clorofilla B)

3)  $C_{x+c} = \frac{1000 \times A_{470} - 2.05 \times \text{Chl} - 11.8 \times \text{ChlB}}{245}$



Figura 24 Determinazione dei pigmenti fotosintetici in laboratorio tramite analisi con spettrofotometro modello Shimadzu 1800 UV Vis.

Il contenuto di **minerali, cationi e anioni, dei tessuti e delle acque** (soluzione nutritiva) è stato determinato mediante analisi spettrofotometrica e di cromatografia ionica dal laboratorio interno al dipartimento.

Infine, per valutare la **capacità antiossidante totale** e **contenuto di polifenoli**, si sono utilizzati il saggio di FRAP ed il metodo del reagente di Folin-Ciocalteu.

Il saggio di FRAP è utile per valutare, sulla base della riduzione dello ione ferrico, il potere antiossidante di vari composti, il quale viene espresso come  $\text{mg di Fe}^{2+}$  equivalenti ( $\text{Fe}^{2+}\text{E}$ ) per  $\text{kg}^{-1}$  di campione secco o fresco. Tale reazione comporta, infatti, a bassi valori di pH, la formazione di un'accesa colorazione blu dovuta alla variazione di assorbanza a seguito del potere antiossidante

esercitato dai composti. L'assorbanza è misurata ponendo a confronto i risultati ottenuti da campioni di riferimento e campioni a cui viene addizionato il reagente FRAP, e l'attività antiossidante si determina sulla base di una curva di calibrazione.

Per l'analisi FRAP-FOLIN, si sono realizzati i campioni prelevando 0.10 g per lattuga e 0.20 g per basilico di tessuto liofilizzato e macinato, e addizionandovi 20 mL di metanolo (utilizzato come solvente); essi sono stati, poi, posti su agitatore per 30 minuti e in seguito filtrati per ottenere il Supernatante (utilizzato per entrambe le prove d'analisi).

Utilizzando delle soluzioni madri di 300 41 mM di buffer acetato (costituito da sodio acetato e acetico glaciale), 12 mM di TPTZ (2,4,6- tripiridil-2 triazina) in acido cloridrico 48 mM e 24 mM di cloruro ferrico in rapporto 10:1:1, si è preparato il reagente FRAP (soluzione 1 mM di 2,4,6- tripiridil-2 triazina [TPTZ], 2 mM cloruro ferrico e 250 mM di acetato di sodio a pH 3.6). In seguito, si è realizzato il campione addizionando, a 100 µL di estratto, 1900 µL di reagente FRAP e, dopo averlo mescolato tramite uso del vortex, si è provveduto a leggere l'assorbanza a 593 nm. Per la lettura, si è creata una curva di calibrazione (o retta di taratura), finalizzata a facilitare la comprensione dei dati, ottenuta dopo aver preparato una soluzione madre di 200 mL solfato di ammonio ferroso con 250 mL di acqua demineralizzata, e aver progressivamente provveduto a realizzarne una diluizione da una concentrazione di 1200 ad una di 0 µg mL<sup>-1</sup> di ione ferroso.

Si sono, così, ottenute 7 diverse soluzioni: a 800, 600, 400, 200, 100, 50 e 0 ppm, aventi diluizione crescente, dalla prima (soluzione madre a 800 ppm, con colorazione blu intensa), fino ad arrivare all'ultima, totalmente costituita d'acqua demineralizzata (0 ppm, con colorazione quasi trasparente).

Il metodo del reagente di Folin-Ciocalteu è, invece, finalizzato a valutare e determinare il contenuto di fenoli e polifenoli e altre sostanze riducenti nei campioni oggetto d'analisi, espresso in mg di acido gallico equivalenti (GAE) per kg<sup>-1</sup> di campione fresco o secco. È basato sulla reazione di ossido-riduzione cui vengono sottoposti il reattivo di Folin (costituito da composti contenenti molibdeno e tungsteno) ed il campione, a seguito della quale gli elementi contenuti vengono ridotti, passando da un numero di ossidazione pari a +6 a +4 e +5, e si ottengono composti con colorazione blu, tanto più intensa quanto maggiore è il contenuto totale dei pigmenti presenti.

Per l'analisi, si sono prelevati i campioni prelevando 200 µL di estratto, addizionandovi 1000 µL di reagente Folin-Ciocalteu e 800 µL di carbonato di sodio anidro al 7.5%, e ponendo le provette per 40 minuti a riposo a temperatura ambiente. Trascorso il tempo necessario, si è provveduto a porle su agitatore per favorire l'omogenizzazione dei composti presenti, e, successivamente, alla lettura dell'assorbanza tramite spettrofotometro ad una lunghezza d'onda pari a 765 nm.

Per la lettura, come previsto per il saggio di FRAP, si è creata una curva di calibrazione (Fig. 25), ottenuta dopo aver preparato una soluzione madre di 250 mg di acido gallico in 250 mL di acqua demineralizzata, e aver progressivamente provveduto a realizzarne una diluizione da una concentrazione di 400 ad una di 0  $\mu\text{g mL}^{-1}$  di ione gallico. Si sono, così, ottenute 5 diverse soluzioni: a 400, 300, 200, 100 e 0 ppm, aventi diluizione crescente, dalla prima (soluzione madre a 400 ppm, con colorazione blu intensa), fino ad arrivare all'ultima, totalmente costituita d'acqua (0 ppm, con colorazione quasi trasparente).

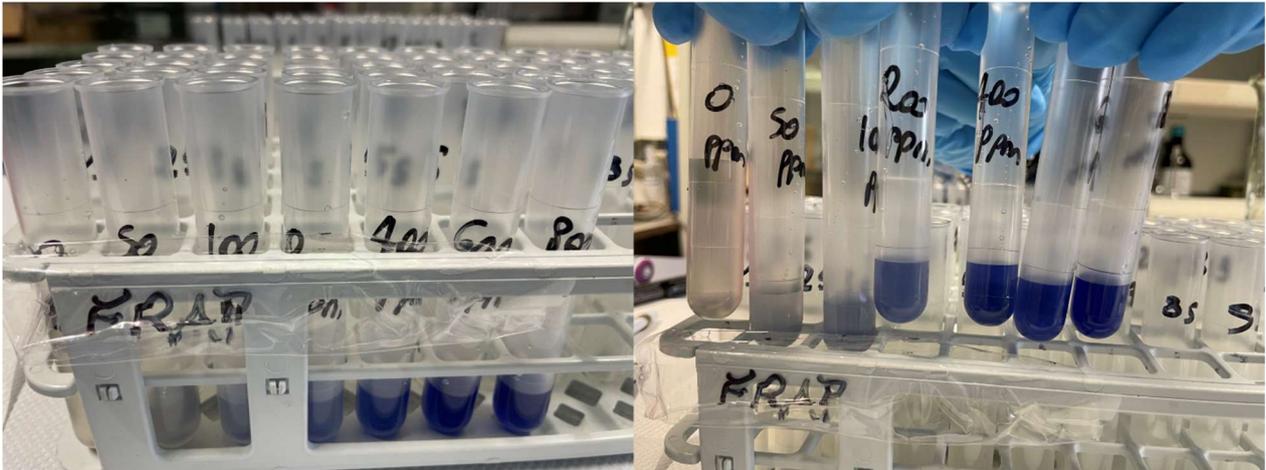


Figura 25 Falcon prodotte in laboratorio per creare la curva di calibrazione (Metodo del reagente di Folin-Ciocalteu).

### 3.9.2 *Analisi statistica*

Una volta poste a confronto le 4 prove di coltivazione (CTC, CTCJ, CTE, CTR) e ottenuti i risultati delle relative analisi qualitative condotte in laboratorio, si sono valutati tali dati da un punto di vista statistico, esaminandone la significatività e la variabilità. Si sono, perciò, svolte analisi della varianza ANOVA fattoriale ad 1 via (fattore di concimazione), ANOVA multivariata (fattore di concimazione analizzato nei vari trattamenti a confronto) e test di separazione delle medie con metodo HSD Tukey, con significatività inferiore a 0,05.



## Capitolo 4: Risultati

### 4.1 Estrazione del Compost Tea

L'estrazione del Tea di Compost si è svolta secondo il processo precedentemente descritto, in accordo con le modalità previste in letteratura (Zaccardelli et al., 2012) (Pane et al., 2012) (Pilla et al., 2023). Successivamente, si sono condotte, in laboratorio, delle specifiche analisi per identificare quale rapporto e tempo di estrazione si dimostrassero ottimali, e valutare le caratteristiche chimiche ed il contenuto iniziale del compost tea ottenuto dal processo estrattivo, al fine di compensare le eventuali carenze nutrizionali.

Dalle analisi, sono emersi i seguenti valori (Tab. 8):

Tabella 8 Proprietà chimiche del Compost Tea ottenuto dopo 24 ore di estrazione in acqua, da compost (da frazione organica di rifiuti solidi urbani e sfalci di potatura) in rapporto 1:5 con acqua dechlorata, secondo le modalità riportate in letteratura (Zaccardelli et al., 2012), (Pane et al., 2012), (Pilla et al., 2023).

<u>Proprietà Chimiche</u>	<u>Compost-Tea</u>
Rapporto 1:5 Tempo estrazione 24 h	
Cl	1085,50
N-NO <sub>2</sub>	12,90
N-NO <sub>3</sub>	62,60
P-PO <sub>4</sub>	9,10
S-SO <sub>4</sub>	3821,90
Na	1027,10
N-NH <sub>4</sub>	156,30
K	1718,00
Mg	86,00
Ca	384,60
Fe	2,37
B	0,0561
Cu	0,16

- **Contenuto nutrizionale**

In particolar modo, si è analizzato il contenuto di nutrienti presente nella soluzione di riferimento ed in quella contenente Compost Tea (Tab. 9) e dal loro confronto si è rilevata la percentuale di nutrienti che sono stati apportati con il the di compost rispetto ai valori di riferimento.

Tabella 9 Proprietà nutritive del Compost Tea ottenuto dopo 24 ore di estrazione in acqua da compost (da frazione organica di rifiuti solidi urbani e sfalci di potatura) in rapporto 1:5 con acqua dechlorata, posto a confronto con la soluzione nutritiva di riferimento (esprese in mmol/L) e analisi della percentuale dei nutrienti apportati con il the di compost rispetto ai valori di riferimento.

Soluzione di riferimento (mmol/L)									
N- NO <sub>3</sub>	N- NO <sub>2</sub>	N- NH <sub>4</sub>	P- PO <sub>4</sub>	S- SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	Cl
16.00	0.00	2.00	2.00	2.50	10.00	4.50	1.00	0.00	0.00
Soluzione con CT (mmol/L)									
N- NO <sub>3</sub>	N- NO <sub>2</sub>	N- NH <sub>4</sub>	P- PO <sub>4</sub>	S- SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	Cl
0.06	0.02	0.54	0.01	2.49	2.75	0.60	0.22	2.79	1.97
Percentuale nutrienti apportati con CT rispetto ai valori di riferimento									
N- NO <sub>3</sub>	N- NO <sub>2</sub>	N- NH <sub>4</sub>	P- PO <sub>4</sub>	S- SO <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na	Cl
0.39		27.08	0.30	99.47	27.46	13.33	22.11		

## 4.2 Lattuga

### 4.2.1 Rilievi non distruttivi

- **Indice SPAD**

I rilievi SPAD effettuati durante la coltivazione delle specie sono stati elaborati per determinarne l'andamento nel tempo (Fig. 26) e rappresentare i valori dei trattamenti nei diversi cicli. In particolar modo, si è osservato che, in tutti i rilievi, il trattamento con CTE risultava caratterizzato da minori valori. In merito agli altri trattamenti, invece, si sono riscontrate delle oscillazioni nei valori: nel primo rilievo (29/05) il trattamento con CTC ha evidenziato maggiori valori rispetto a CTR e CTCJ, andamento che si è ripetuto in tutti i successivi rilievi, mentre, al trattamento CTE era associato il minore indice SPAD.

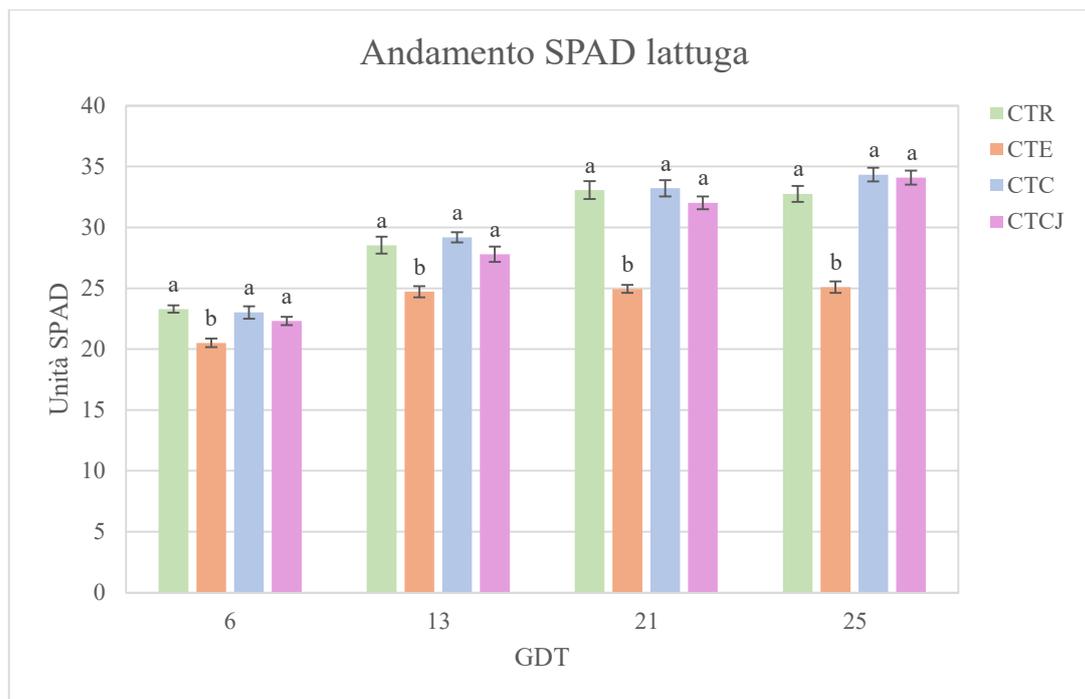


Figura 26 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sull'indice SPAD rilevato durante il ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Dualex**

I valori rilevati con lo strumento Dualex sono stati elaborati e ordinati in tabelle (Tab. 10 e Tab. 11) al fine di quantificare il contenuto periodico di pigmenti presente nelle piante di lattuga.

- Clorofille ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

Si è posto a confronto il contenuto totale di clorofilla rilevato in diverse epoche di rilievo e si è riscontrato un andamento crescente, sebbene il trattamento cui erano associati i maggiori valori è risultato variabile a seconda della data di rilievo.

- Flavonoidi (unità dualex)

Il quantitativo massimo e minimo di flavonoidi si è riscontrato rispettivamente nel trattamento CTE e CTCJ (ad esclusione dell'ultimo rilievo) in tutti i rilievi svolti.

- Antociani (unità dualex)

Elaborando il contenuto totale di antociani rilevato nelle piante di lattuga è emerso che, mentre il massimo contenuto si è osservato nel trattamento CTE, il minimo si è osservato nel CTCJ in ogni epoca di rilievo, ad eccezione del terzo rilievo svolto.

- NBI (nitrogen balance index)

Si sono analizzati i valori di NBI (nitrogen balance index) elaborati a seguito dei rilievi svolti e si è rilevato un andamento variabile nelle diverse epoche di rilievo considerate.

Tabella 10 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di pigmenti rilevato durante il ciclo di coltivazione di lattuga (parte a). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey.

Trattamento	Clorofilla ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )			
	29.05.2024	05.06.2024	13.06.2024	18.06.2024
CTR	14.98±0.22 <sup>a</sup>	17.95±0.36 <sup>a</sup>	20.32±0.45 <sup>a</sup>	20.45±0.34 <sup>a</sup>
CTE	13.86±0.20 <sup>b</sup>	16.44±0.35 <sup>b</sup>	17.10±0.39 <sup>b</sup>	16.50±0.32 <sup>b</sup>
CTC	15.04±0.26 <sup>a</sup>	17.31±0.27 <sup>ab</sup>	20.82±0.45 <sup>a</sup>	21.47±0.35 <sup>a</sup>
CTCJ	14.81±0.21 <sup>a</sup>	17.30±0.34 <sup>ab</sup>	19.88±0.43 <sup>a</sup>	21.08±0.48 <sup>a</sup>

Tabella 11 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di pigmenti rilevato durante il ciclo di coltivazione di lattuga (parte b). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey.

Trattamento	Flavonoidi (indice dualex)			
	29.05.2024	05.06.2024	13.06.2024	18.06.2024
CTR	0.53±0.01 <sup>b</sup>	0.56±0.01 <sup>b</sup>	0.61±0.01 <sup>b</sup>	0.67±0.03 <sup>b</sup>
CTE	0.77±0.02 <sup>a</sup>	1.03±0.03 <sup>a</sup>	1.17±0.04 <sup>a</sup>	1.27±0.03 <sup>a</sup>
CTC	0.53±0.02 <sup>b</sup>	0.58±0.02 <sup>b</sup>	0.65±0.02 <sup>b</sup>	0.75±0.02 <sup>b</sup>
CTCJ	0.48±0.01 <sup>b</sup>	0.53±0.01 <sup>b</sup>	0.59±0.02 <sup>b</sup>	0.73±0.01 <sup>b</sup>

Trattamento	Antociani (indice dualex)			
	29.05.2024	05.06.2024	13.06.2024	18.06.2024
CTR	0.45±0.01 <sup>b</sup>	0.40±0.02 <sup>b</sup>	0.38±0.02 <sup>b</sup>	0.43±0.02 <sup>b</sup>
CTE	0.56±0.01 <sup>a</sup>	0.58±0.02 <sup>a</sup>	0.70±0.03 <sup>a</sup>	0.74±0.03 <sup>a</sup>
CTC	0.44±0.01 <sup>b</sup>	0.41±0.01 <sup>b</sup>	0.42±0.02 <sup>b</sup>	0.46±0.03 <sup>b</sup>
CTCJ	0.42±0.01 <sup>b</sup>	0.39±0.01 <sup>b</sup>	0.40±0.01 <sup>b</sup>	0.42±0.01 <sup>b</sup>

Trattamento	NBI (nitrogen balance index)			
	29.05.2024	05.06.2024	13.06.2024	18.06.2024
CTR	28.63±0.83 <sup>b</sup>	32.76±1.05 <sup>a</sup>	33.40±0.85 <sup>a</sup>	32.08±1.10 <sup>a</sup>
CTE	18.34±0.57 <sup>c</sup>	16.21±0.57 <sup>b</sup>	15.11±0.70 <sup>b</sup>	13.42±0.50 <sup>c</sup>
CTC	28.92±0.72 <sup>ab</sup>	30.55±0.89 <sup>a</sup>	31.77±0.94 <sup>a</sup>	28.70±0.65 <sup>b</sup>
CTCJ	31.67±1.03 <sup>a</sup>	33.14±0.67 <sup>a</sup>	33.97±0.83 <sup>a</sup>	29.23±0.95 <sup>ab</sup>

- *Canopy cover*

Si sono analizzati i valori ottenuti dal programma Foliage (elaborando i rilievi fotografici ricavati in diversi GDT, Fig. 27) e si è osservato che, sebbene il maggior valore sia stato raggiunto dalle piante sottoposte a trattamento CTR, nel CTCJ si sono rilevati valori altrettanto elevati, a differenza di quanto riscontrato, invece, nel trattamento con CTE, al quale sono associati i minori valori.

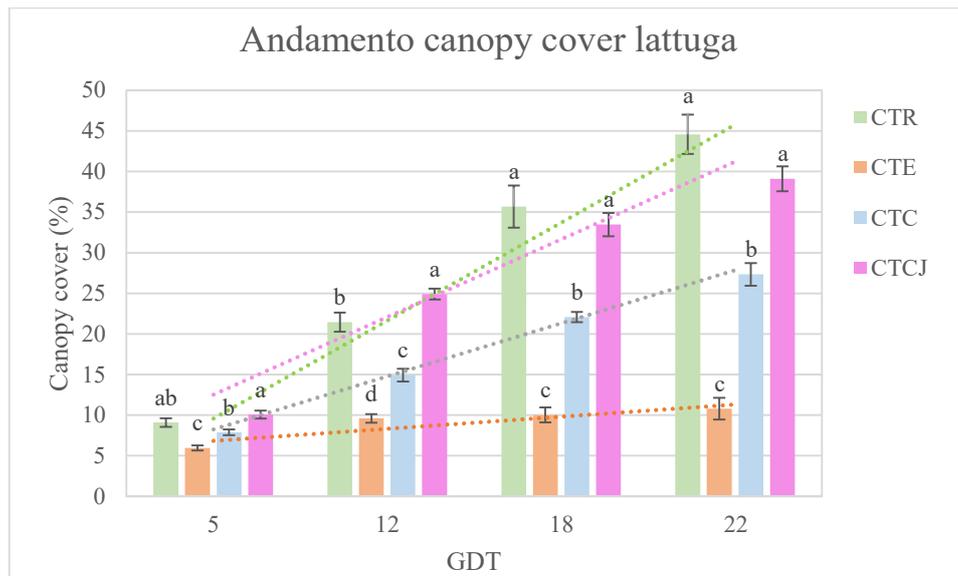


Figura 27 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sulla canopy cover rilevata durante il ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

#### 4.2.2 Rilievi distruttivi

- *Accrescimento*

L'accrescimento (Fig. 28) delle specie ha presentato valori maggiori nel trattamento CTR e minori nel CTE. L'impiego del solo estratto di compost (CTE), infatti, ha comportato tra l'8 GDT e il 25 GDT accrescimento molto modesto; per gli altri due trattamenti, invece, l'accrescimento è stato più considerevole, con i maggiori valori ottenuti nel CTCJ rispetto al CTC.

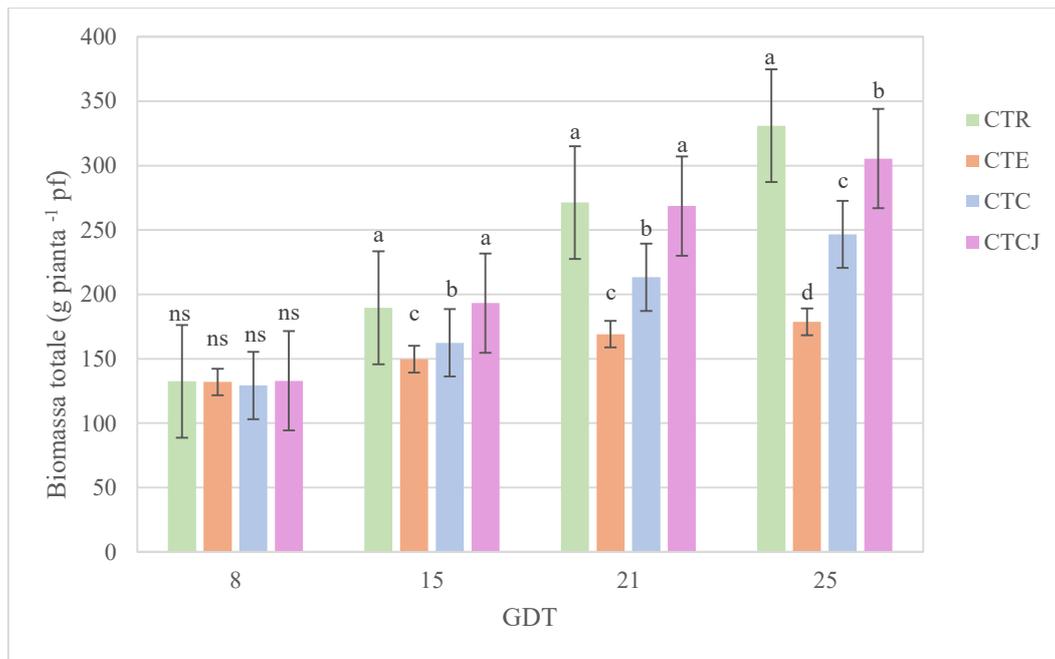


Figura 28 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul peso fresco ( $\text{g pianta}^{-1} \text{ pf}$ ) delle piante rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Determinazione della Biomassa**

La produzione di biomassa aerea (Fig. 29) è risultata minore in CTE con 32 g/pianta e maggiore nei trattamenti CTR dove il peso unitario della pianta ha superato i 250 g/pianta; in merito a quella radicale (Fig. 30) si è, invece, osservato che il CTE ha raggiunto i maggiori valori, mentre il CTC è stato il trattamento meno produttivo in termini di biomassa radicale.

L'analisi del rapporto fra tali biomasse è stata condotta per ogni trattamento ed elaborata riscontrando, in ordine decrescente, maggiori valori raggiunti dal CTR ( $13,86 \pm 0,43$ ), seguito dal CTC ( $7,33 \pm 0,30$ ), dal CTCJ ( $7,17 \pm 0,35$ ) e, infine, dal CTE ( $1,41 \pm 0,11$ ) in cui si sono riscontrati i minori.

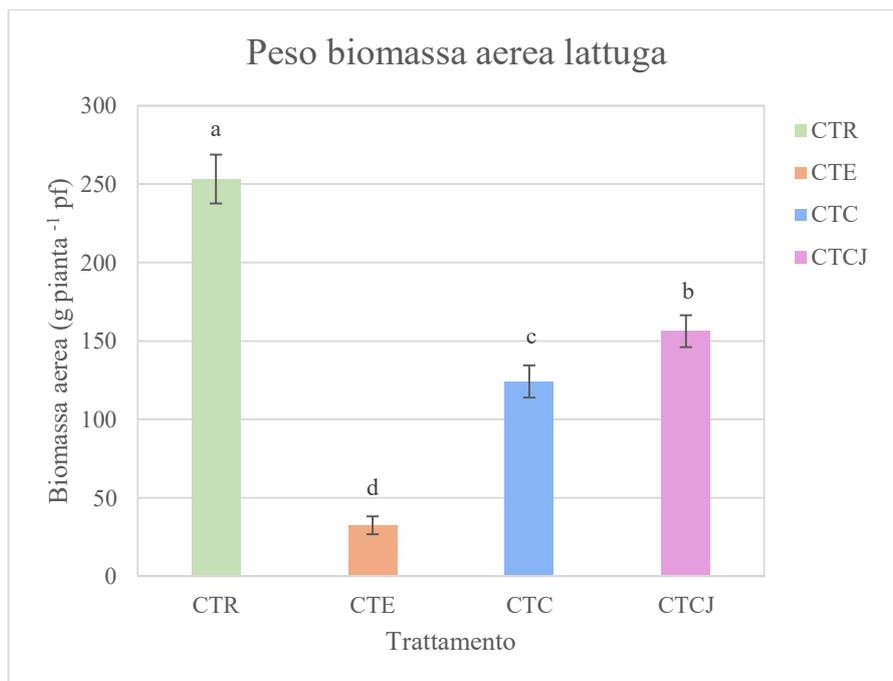


Figura 29 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul peso di biomassa aerea ( $\text{g pianta}^{-1}\text{pf}$ ) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

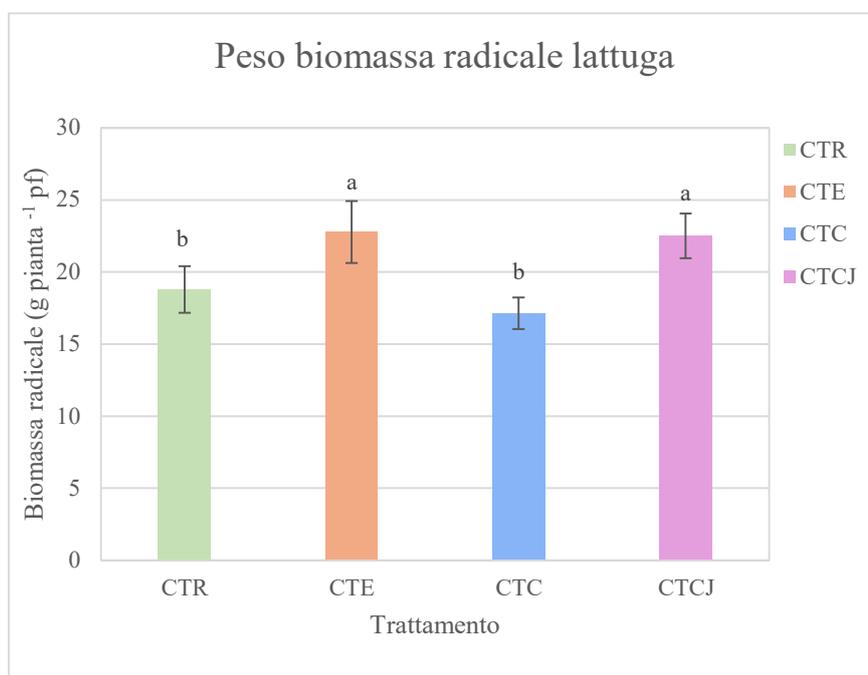


Figura 30 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul peso di biomassa radicale ( $\text{g pianta}^{-1}\text{pf}$ ) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Sostanza secca di foglie, fusti e radici**

Dall'analisi percentuale della sostanza secca di foglie e fusti (Fig. 31) è emerso che la produzione più rilevante si è verificata nei trattamenti con CTE, mentre, la più esigua, si è riscontrata nelle piante sottoposte a trattamento CTR. Valor intermedi sono stati espressi da CTC e CTCJ per i quali la concentrazione di sostanza secca si è attestata tra il 7,5 ed l'8,5%.

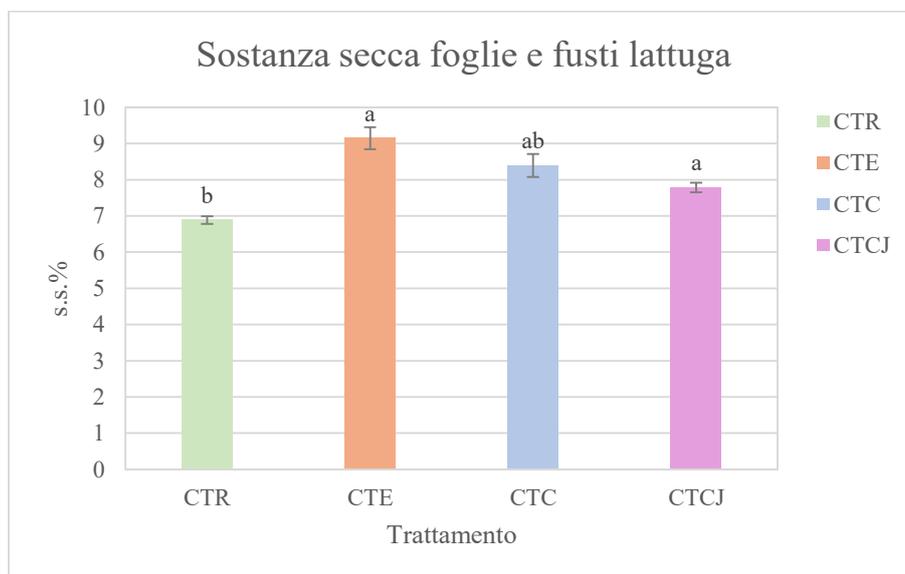


Figura 31 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sulla percentuale di sostanza secca di foglie e fusti rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

Valutando la percentuale di sostanza secca delle radici (Fig. 32), si è osservato che i valori estremi (massimi e minimi) si sono raggiunti rispettivamente nel trattamento con CTC e CTE.

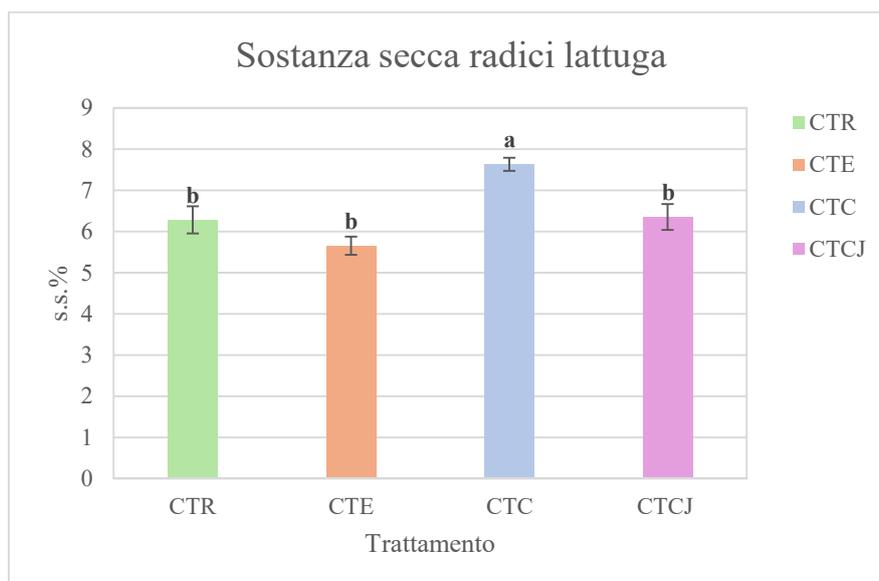


Figura 32 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sulla percentuale di sostanza secca di radici rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ:

estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

### 4.2.3 Rilievi specie specifici

- **Water Use Efficiency**

Si è provveduto a valutare la WUE (Water Use Efficiency), misurata in g di biomassa commerciale/L di acqua, dalla cui analisi si è osservato un considerevole effetto del CTC, nel quale il valore raggiunto (5,39 g pf/L) ha superato quello del trattamento di controllo (4,66 g pf/L), modesto e simile al CTR nel CTCJ (4,58 g pf/L) e molto ridotto nel CTE (2,83 g pf/L).

- **Diametro della lattuga**

Valutando il diametro del cespo della lattuga (Fig. 33), si sono riscontrati valori maggiori nel trattamento con CTR con il 27 cm seguito da CTCJ e CTC per i quali le dimensioni della pianta sono state rispettivamente prossime e inferiori a 25 cm. I valori minori sono stati riscontrati in CTE riflettendo una corrispondenza con i relativi valori dei pesi della biomassa aerea riscontrati per tale specie.

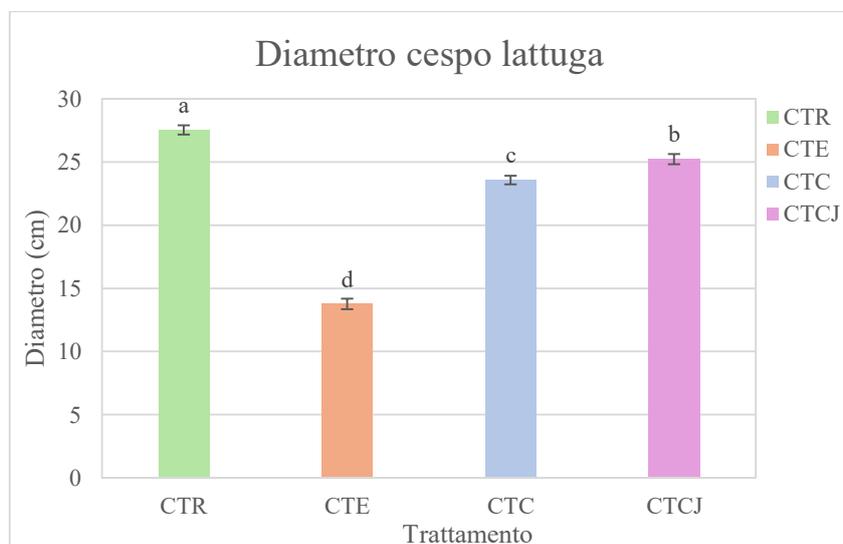


Figura 33 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul diametro del cespo (cm) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **pH, conducibilità elettrica e acidità titolabile nella lattuga**

I valori di pH (Fig. 34), e acidità titolabile (Fig. 36) della lattuga, non sono risultati significativi sia di pH che acidità titolabile. La conducibilità elettrica (Fig. 35), invece, è stata significativamente inferiore in CTR (7,9 mS/cm) rispetto agli altri trattamenti (> 8,6 mS/cm).

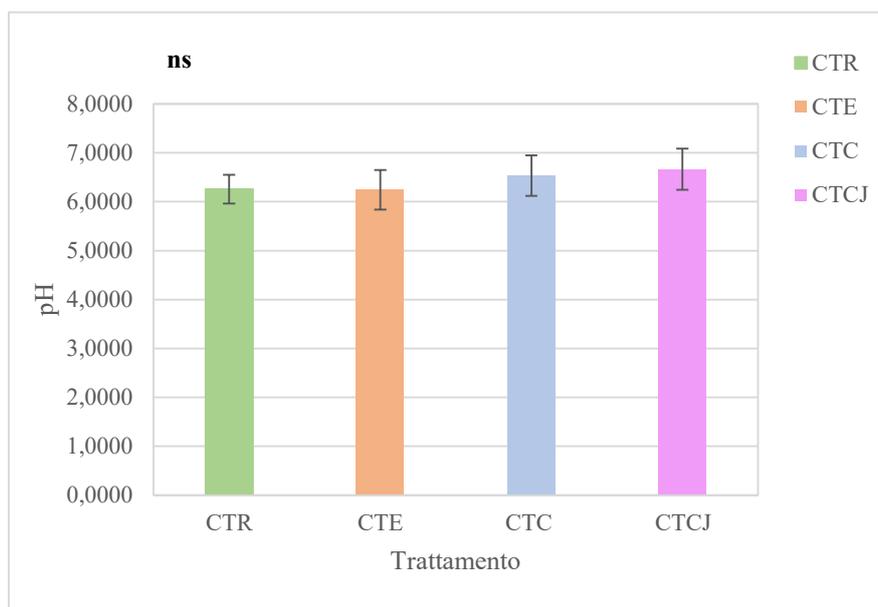


Figura 34 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul valore di pH rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

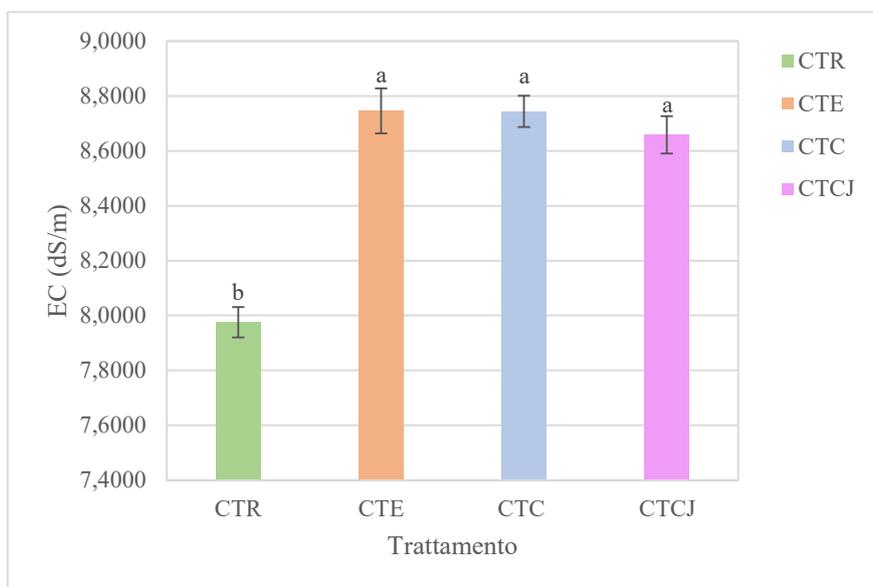


Figura 35 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul valore di conducibilità elettrica (dS/m) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

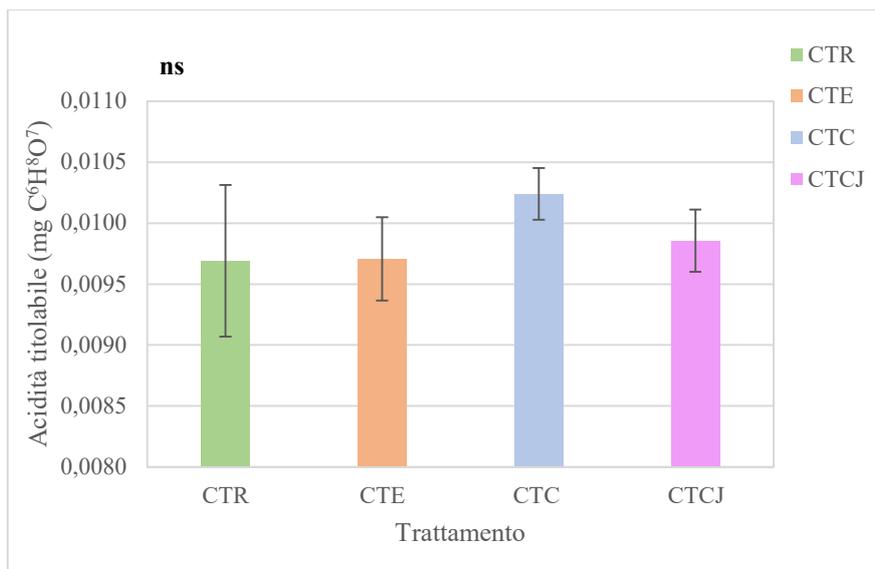


Figura 36 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul valore di acidità titolabile (mg C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per P<0,05, secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

#### 4.2.4 Rilievi qualitativi

- **Contenuto di pigmenti**

In merito al contenuto di pigmenti presenti nel peso secco dei campioni analizzati è emerso che le piante di lattuga sottoposte a trattamento CTC e CTR hanno presentato il maggior contenuto di xantofille e carotenoidi (Fig. 37), superiore a 150 µg/g ps; in CTE, invece, i valori sono risultati modesti ed inferiori a 10 µg/g ps..

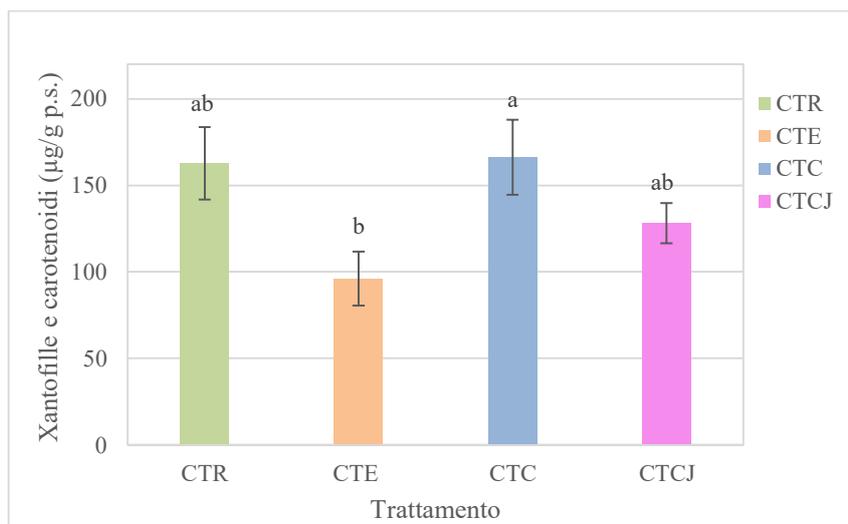


Figura 37 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di xantofille e carotenoidi (µg/g) rilevato sul peso secco delle piante a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per P<0,05, secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Contenuto di minerali e clorofille**

Si è valutato il contenuto di minerali e clorofille presente nelle piante di lattuga ed è emersa una notevole differenza di valori. In particolar modo, si è osservato nel CTC il maggior contenuto di Chl a (Fig. 38) mentre, nel CTE, quello minimo. Inoltre, così come già rilevato per la clorofilla a, anche i quantitativi estremi di Chl b (Fig. 39) si sono riscontrati nei medesimi trattamenti.

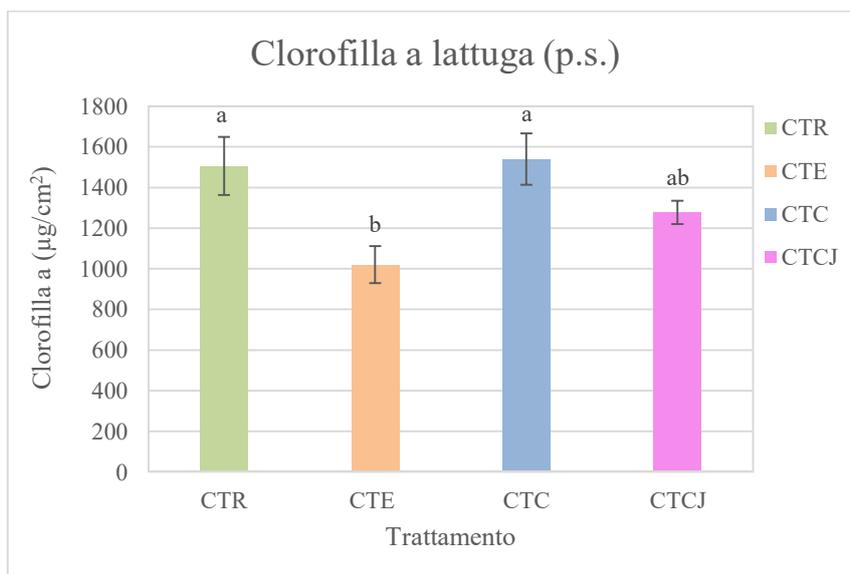


Figura 38 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di clorofilla a ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

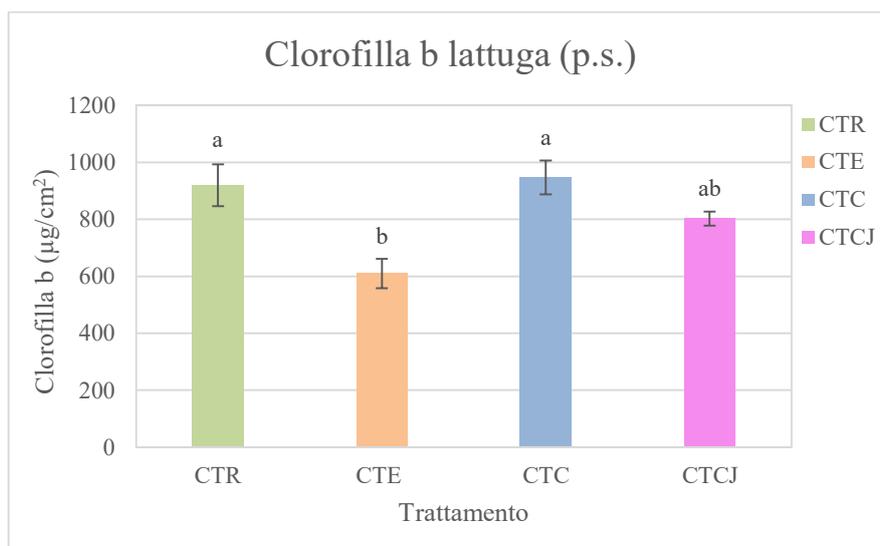


Figura 39 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di clorofilla b ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Contenuto di antiossidanti e polifenoli totali**

L'analisi di antiossidanti e polifenoli totali misurati in mg di ferro equivalente ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (Fig. 40) e mg di acido gallico equivalente (GAE) per kg di campione secco (Fig. 41), ha dimostrato la prevalenza di contenuto nel trattamento con CTE, contrapposto, invece, al CTR.

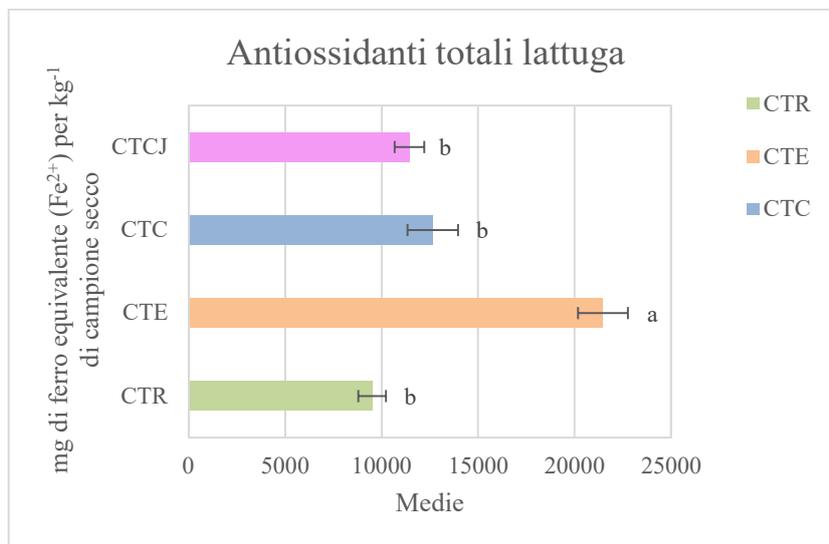


Figura 40 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di antiossidanti totali ( $\text{mg Fe}^{2+} \text{ kg}^{-1}$ ) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

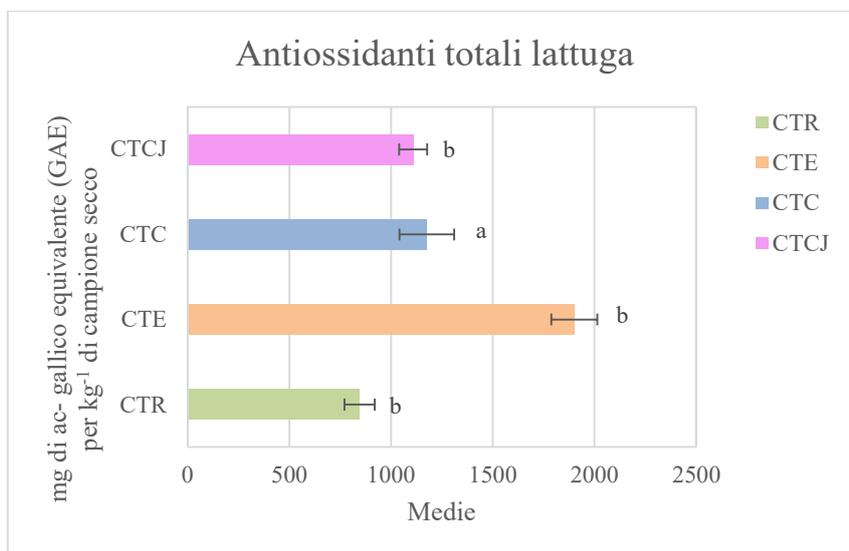


Figura 41 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di antiossidanti totali ( $\text{mg GAE kg}^{-1}$ ) rilevato a termine del ciclo di coltivazione di lattuga. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

### 4.3 Basilico

#### 4.3.1 Rilievi non distruttivi

- **Indice SPAD**

Come già svolto per la lattuga, si è rilevato l'andamento nel tempo dell'indice SPAD (Fig. 42 e Fig. 43) osservati durante la coltivazione delle piante di basilico in diverse epoche di rilievo nei due cicli svolti. In particolar modo, in comune ad entrambi i cicli si è osservato che il trattamento con CTE è risultato caratterizzato dai minori valori. In merito agli altri trattamenti, mentre nel primo ciclo svolto il trattamento con CTCJ presentava i maggiori valori in quasi tutti i rilievi (ad eccezione del primo svolto in data 11/07/2024), nel secondo ciclo è prevalso il trattamento CTR.

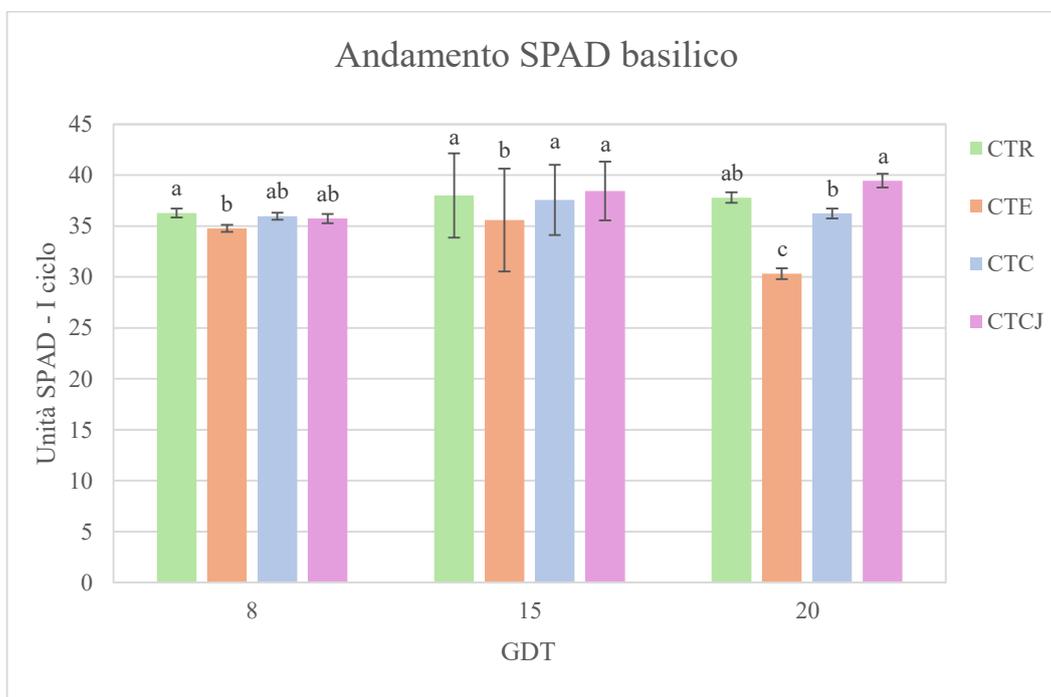


Figura 42 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sull'indice SPAD rilevato durante il I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

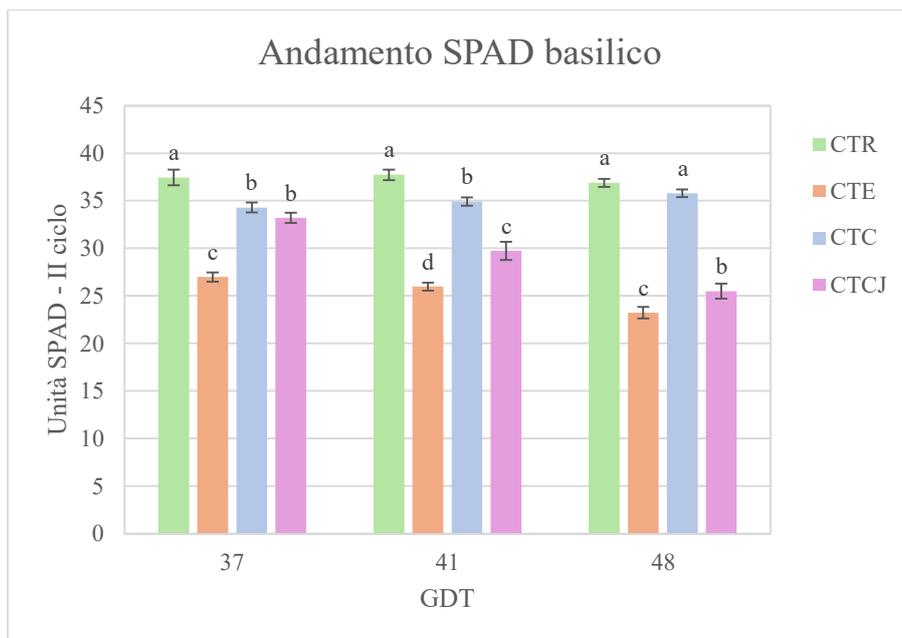


Figura 43 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sull'indice SPAD rilevato durante il II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Dualex**

I valori rilevati con lo strumento Dualex sono stati elaborati e ordinati in tabelle al fine di quantificare il contenuto di pigmenti presente nei due cicli di coltivazione di basilico (Tabb. 12-15):

- Clorofille ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

Si è posto a confronto il contenuto totale di clorofilla delle piante nei due cicli e si è osservato un andamento molto variabile dei valori superiori e inferiori rilevati.

- Flavonoidi (unità Dualex)

Il quantitativo massimo di flavonoidi è risultato variabile nel primo ciclo e maggiore nel trattamento CTE nel secondo. Allo stesso modo, anche i minori valori nel primo ciclo si sono rivelati molto variabili, mentre sono stati raggiunti dal CTCJ nel secondo.

- Antociani (unità Dualex)

Valutando il contenuto totale di antociani rilevato nelle colture è emerso che il massimo contenuto si è rilevato nel trattamento CTE nel secondo ciclo; variabile, invece, è risultato nel primo ciclo e in merito ai minori valori osservati.

- NBI (nitrogen balance index)

Si sono analizzati i valori di NBI (nitrogen balance index) elaborati a seguito dei rilievi svolti e si è riscontrato un andamento variabile dei valori estremi nelle diverse epoche di rilievo considerate, con minori valori raggiunti dal CTE nel secondo ciclo di coltivazione.

Tabella 12 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di pigmenti rilevato durante il I ciclo di coltivazione di basilico (parte a). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey.

Trattamento	Clorofilla ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		
	11.07.2024	18.07.2024	23.07.2024
CTR	20,43± 0,63 ns	20,81±0,058 <sub>a</sub>	20,11±0,92 ns
CTE	20,88±0,67	19,28±0,059 <sub>b</sub>	20,058±1,04
CTC	19,89±0,61	21,19±0,050 <sub>a</sub>	20,64±0,86
CTCJ	20,059±0,056	21,90±0,68 <sup>a</sup>	21,40±0,052

Trattamento	Flavonoidi (indice dualex)		
	11.07.2024	18.07.2024	23.07.2024
CTR	0,67±0,03 ns	0,80±0,05 ns	0,94±0,06 <sup>ab</sup>
CTE	0,66±0,03	0,88±0,05	0,88±0,06 <sup>b</sup>
CTC	0,73±0,05	0,85±0,05	1,03±0,07 <sup>a</sup>
CTCJ	0,69±0,05	0,78±0,05	0,89±0,04 <sup>b</sup>

Trattamento	Antociani (indice dualex)		
	11.07.2024	18.07.2024	23.07.2024
CTR	0,13±0,01 <b>ns</b>	0,10±0,02 <sup>ab</sup>	0,06±0,02 <b>ns</b>
CTE	0,13±0,01	0,13±0,03 <sup>a</sup>	0,05±0,01
CTC	0,13±0,01	0,09±0,01 <sup>ab</sup>	0,05±0,01
CTCJ	0,12±0,01	0,08±0,01 <sup>b</sup>	0,03±0,00

Tabella 13 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di pigmenti rilevato durante il I ciclo di coltivazione di basilico (parte b). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey.

Trattamento	NBI (nitrogen balance index)		
	11.07.2024	18.07.2024	23.07.2024
CTR	31,21±1,80 <sup>ab</sup>	26,99±1,84 <sup>a</sup>	26,99±1,84 <sup>a</sup>
CTE	32,17±1,57 <sup>a</sup>	22,66±1,49 <sup>b</sup>	22,66±1,49 <sup>b</sup>
CTC	28,21±2,05 <sup>b</sup>	25,91±1,69 <sup>ab</sup>	25,91±1,69 <sup>ab</sup>
CTCJ	30,90±1,81 <sup>ab</sup>	28,90±1,99 <sup>a</sup>	28,90±1,99 <sup>a</sup>

Tabella 14 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di pigmenti rilevato durante il II ciclo di coltivazione di basilico (parte a). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey.

Trattamento	Clorofilla ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		
	09.08.2024	13.08.2024	20.08.2024

CTR	20,8±0,38 <sup>a</sup>	21,41±0,35 <sup>a</sup>	20,20±0,31 <sup>a</sup>
CTE	16,74±0,25 <sup>c</sup>	16,02±0,23 <sup>c</sup>	14,16±0,28 <sup>c</sup>
CTC	19,71±0,34 <sup>ab</sup>	20,1±0,35 <sup>b</sup>	20,24±0,27 <sup>a</sup>
CTCJ	18,88±0,29 <sup>b</sup>	17,09±0,44 <sup>c</sup>	16,27±0,43 <sup>b</sup>

Trattamento	Flavonoidi (indice Dualex)		
	09.08.2024	13.08.2024	20.08.2024
CTR	1,03±0,03 <sup>b</sup>	0,99±0,02 <sup>b</sup>	0,92±0,02 <sup>c</sup>
CTE	1,25±0,03 <sup>a</sup>	1,28±0,04 <sup>a</sup>	1,19±0,03 <sup>a</sup>
CTC	1,01±0,02 <sup>b</sup>	0,96±0,02 <sup>b</sup>	1,02±0,02 <sup>b</sup>
CTCJ	0,96±0,02 <sup>b</sup>	0,94±0,01 <sup>b</sup>	0,9±0,02 <sup>c</sup>

Trattamento	Antociani (indice Dualex)		
	09.08.2024	13.08.2024	20.08.2024
CTR	0,06±0,005 <sup>b</sup>	0,04±0,01 <sup>c</sup>	0,04±0,008 <sup>c</sup>
CTE	0,13±0,007 <sup>a</sup>	0,13±0,01 <sup>a</sup>	0,16±0,007 <sup>a</sup>
CTC	0,07±0,005 <sup>b</sup>	0,04±0 <sup>c</sup>	0,03±0,003 <sup>c</sup>
CTCJ	0,07±0,007 <sup>b</sup>	0,09±0,01 <sup>b</sup>	0,09±0,009 <sup>b</sup>

Tabella 15 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di pigmenti rilevato durante il II ciclo di coltivazione di basilico (parte b). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey.

Trattamento	NBI	(nitrogen balance index)
-------------	-----	--------------------------

	09.08.2024	13.08.2024	20.08.2024
CTR	20,74±0,83 <sup>a</sup>	21,86±0,62 <sup>a</sup>	22,30±0,64 <sup>a</sup>
CTE	13,69±0,44 <sup>b</sup>	12,95±0,055 <sup>c</sup>	12,15±0,41 <sup>d</sup>
CTC	19,66±0,057 <sup>a</sup>	21,31±0,66 <sup>a</sup>	20,22±0,60 <sup>b</sup>
CTCJ	19,98±0,62 <sup>a</sup>	18,28±0,62 <sup>b</sup>	18,17±0,49 <sup>c</sup>

### 4.3.2 Rilievi distruttivi

- **Accrescimento**

L'accrescimento della coltura, misurato nelle due epoche di rilievo (Fig. 44), ha dimostrato dopo il primo ciclo valori maggiori nel trattamento CTR e minori in CTE, sebbene i valori riscontrati non si siano risultati significativi. In generale il peso unitario delle piante dopo 15 giorni dal trapianto si è attestato in prossimità di 250 grammi.

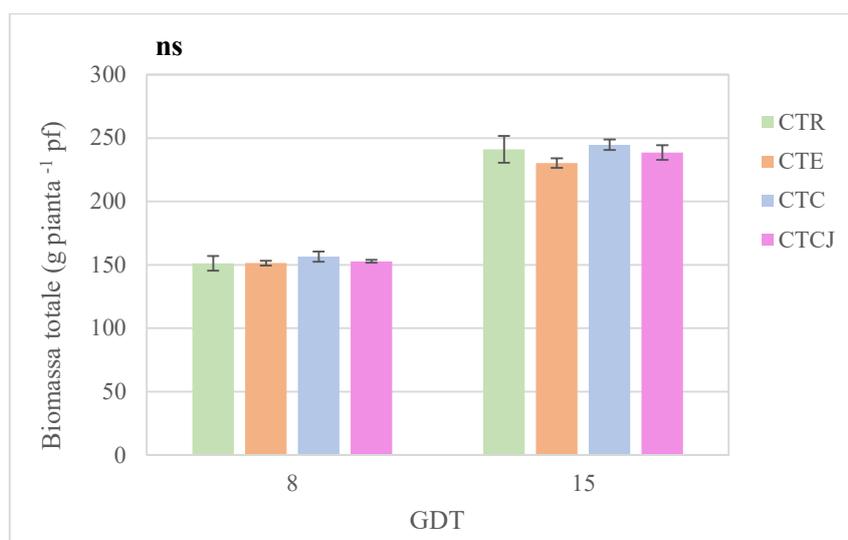


Figura 44 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul peso fresco delle piante (g pianta<sup>-1</sup> pf) rilevato durante il I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Determinazione della Biomassa**

La biomassa aerea (Fig. 45 e Fig. 46) è risultata maggiore in CTR e minore in quelli sottoposti a CTE, in entrambi i cicli svolti. In merito alla biomassa radicale (Fig. 47), la maggior produzione è stata raggiunta nel trattamento CTCJ mentre, la minore, nel CTE, sebbene con una notevole minor differenza tra i trattamenti, rispetto a quanto rilevato in merito alla biomassa aerea. L'analisi del

rapporto fra tali biomasse è stata condotta per ogni trattamento ed elaborata riscontrando, in ordine decrescente, maggiori valori raggiunti dal CTR ( $7,69 \pm 0,053$ ), seguito dal CTC ( $6,48 \pm 0,64$ ), dal CTCJ ( $4,74 \pm 0,27$ ) e, infine, dal CTE ( $1,83 \pm 0,10$ ) in cui si sono riscontrati i minori.

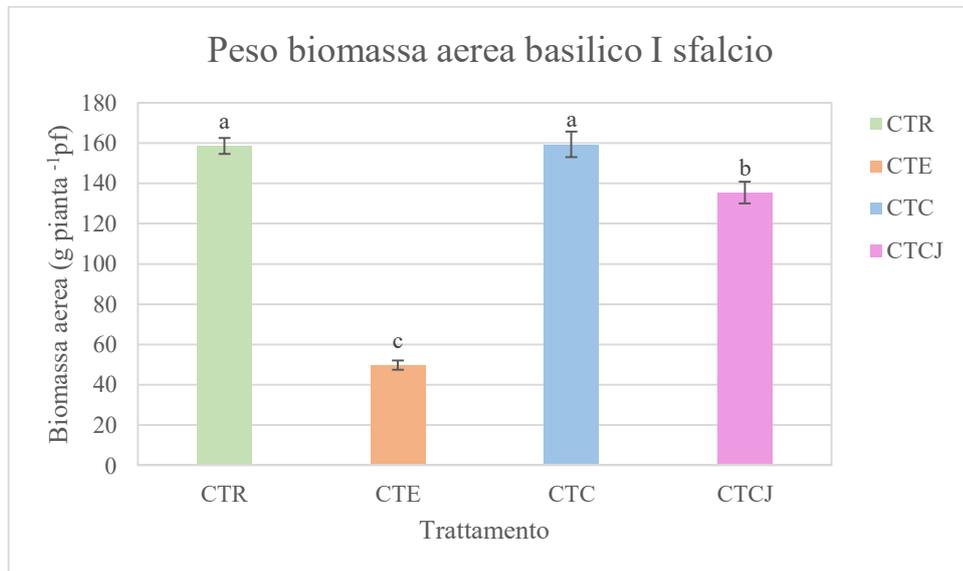


Figura 45 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul peso di biomassa aerea delle piante (g pianta<sup>-1</sup> pf) rilevato a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

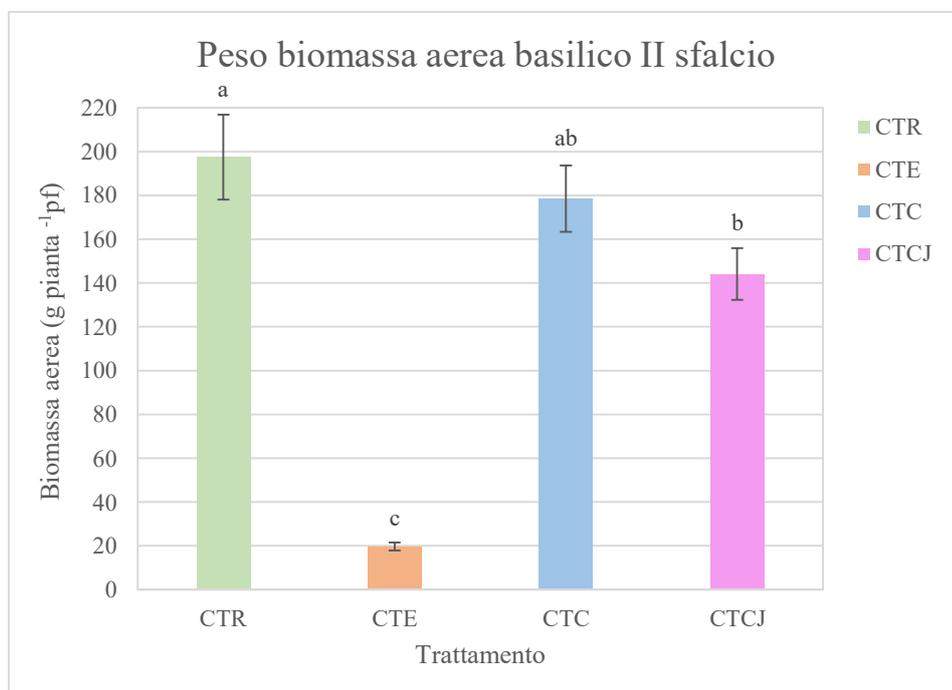


Figura 46 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul peso di biomassa aerea delle piante (g pianta<sup>-1</sup> pf) rilevato a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

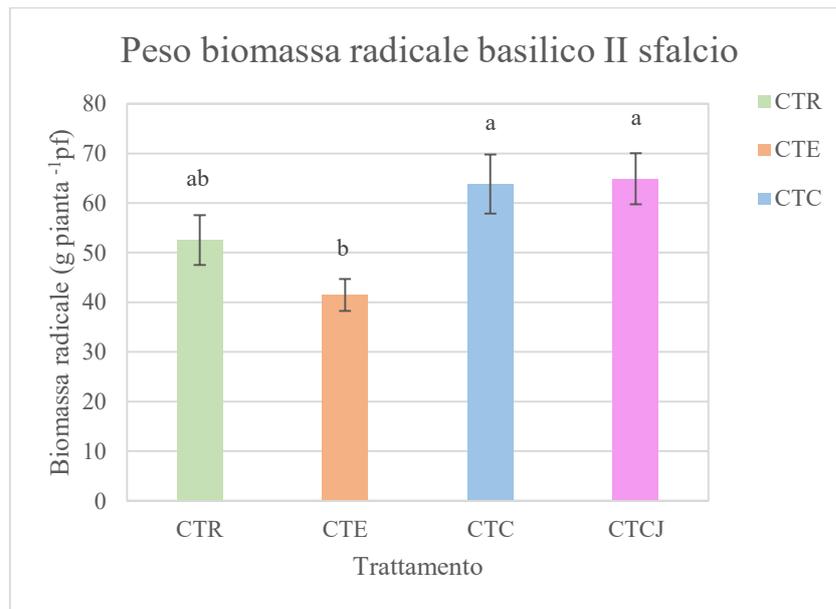


Figura 47 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul peso di biomassa aerea delle piante (g pianta<sup>-1</sup> pf) rilevato a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- ***Sostanza secca di foglie, fusti e radici***

Dall'analisi percentuale della sostanza secca di foglie e fusti (Fig. 48 e Fig. 49) è emerso che nei trattamenti con CTE si è verificata la maggior produzione in entrambe i cicli analizzati, mentre, la più esigua, si è rilevata nelle piante sottoposte a CTC, con una differenza più marcata tra i trattamenti soprattutto nel secondo sfalcio.

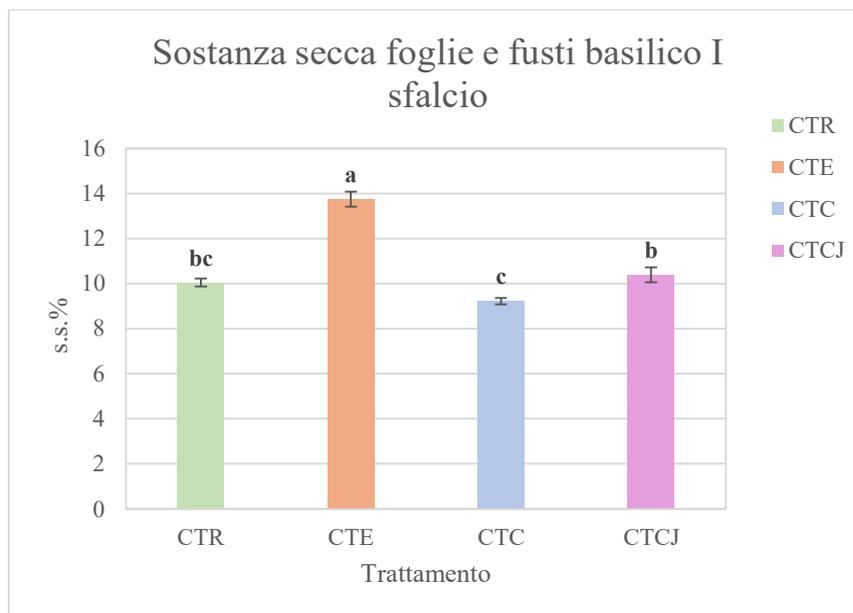


Figura 48 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sulla percentuale di sostanza secca di foglie e fusti rilevato a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

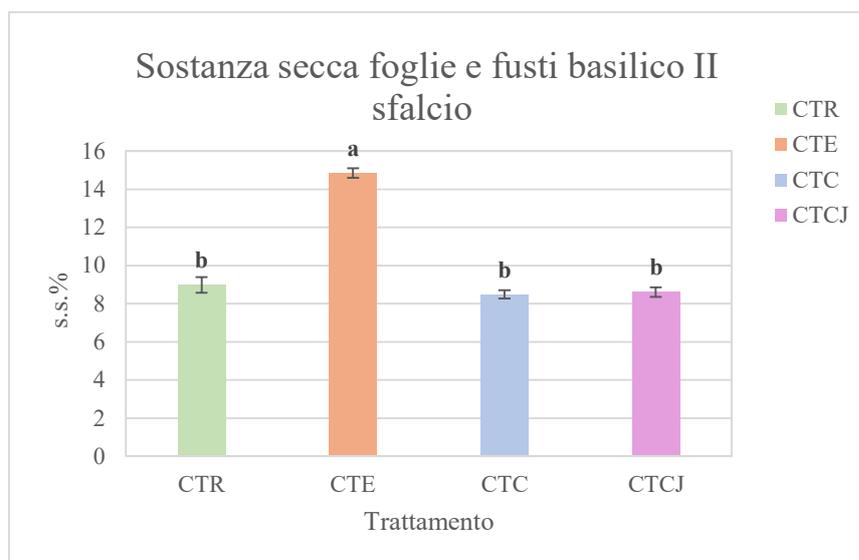


Figura 49 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sulla percentuale di sostanza secca di foglie e fusti rilevato a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

Valutando la percentuale di sostanza secca delle radici (Fig. 50), si è osservata maggior produzione nel CTE; mentre, si è registrata una minor percentuale prodotta nel CTCJ, con differenze abbastanza modeste tra i trattamenti.

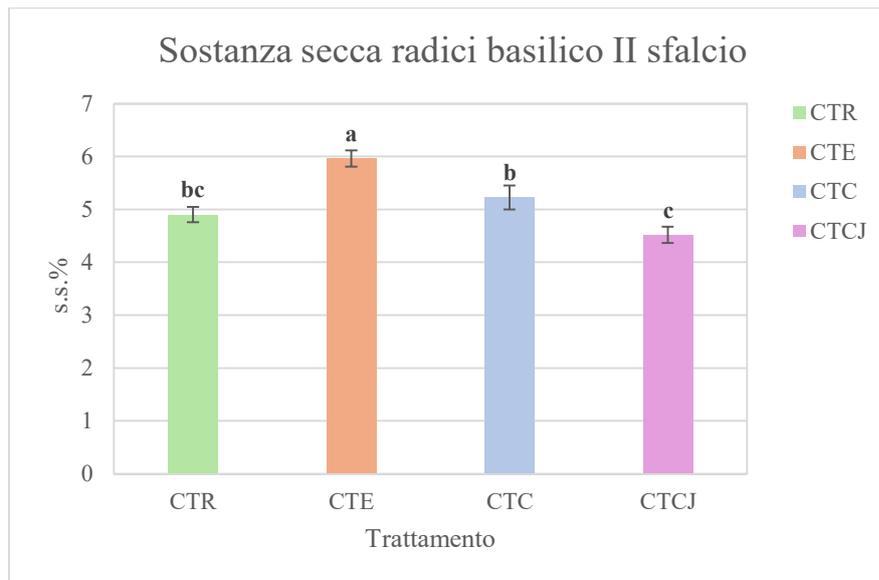


Figura 50 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sulla percentuale di sostanza secca di radici rilevato a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

#### 4.3.3 Rilievi specie specifici

- **Water Use Efficiency**

Si è provveduto a valutare la WUE (Water Use Efficiency), misurata in g di biomassa commerciale/L di acqua, dalla cui analisi si è osservato un moderato effetto del CTC (con valori pari a 6,02 g/L) e CTCJ (pari a 5,94 g/L), spiccato nel CTR (8,46 g/L) e molto ridotto nel CTE (2,87 g/L).

- **Valori Li-COR rilevati nel basilico**

Si sono analizzati lo scambio di gas fogliari, la fluorescenza, la traspirazione, la conduttanza e l'attività stomatica nelle colture di basilico tramite utilizzo dello strumento Li-COR, e si sono elaborati i valori riscontrati in modo da creare una rappresentazione del loro andamento (Fig. 51), in riferimento ai diversi GDT in cui sono stati svolti i rilievi. In particolar modo, è emersa una notevole difformità tra i valori di conduttanza stomatica nelle diverse epoche di rilievo, determinando un progressivo andamento decrescente degli stessi.

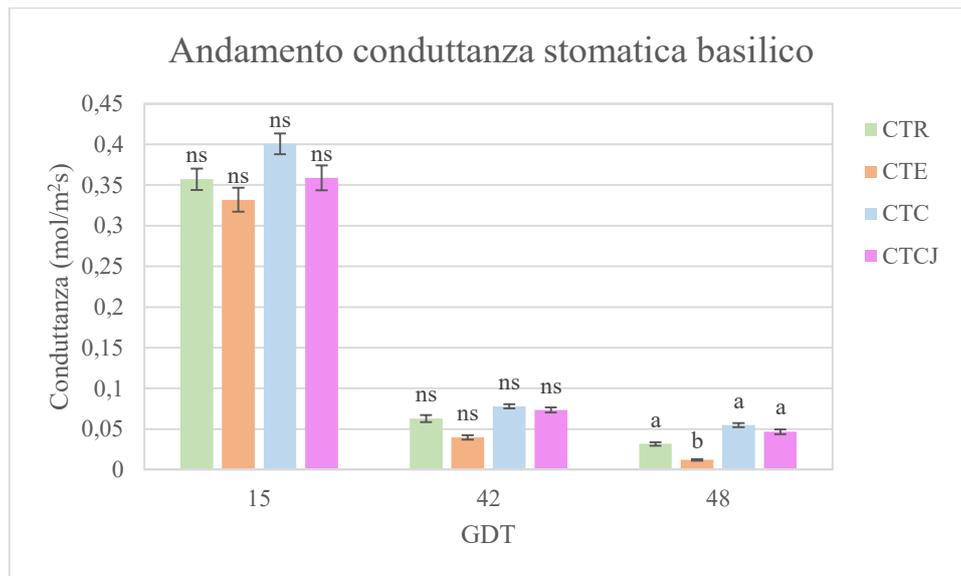


Figura 51 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul valore di conduttanza stomatica ( $\text{mol/m}^2\text{s}$ ) rilevato durante i cicli di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard

- **Altezze e numero dei fusti di basilico**

Confrontando i valori massimi relativi all'altezza delle piante di basilico raggiunti nei diversi trattamenti nei due cicli di coltivazione (Fig. 52), si è osservato che in tutti i trattamenti, ad eccezione del CTE, nel secondo sfalcio si è raggiunta una maggiore altezza rispetto al primo. Nonostante ciò, i valori minori di entrambi gli sfalci si sono registrati nelle piante con trattamento CTE, mentre, i superiori, in quelle sottoposte rispettivamente a trattamento CTR (primo sfalcio realizzato) e CTC (secondo realizzato).

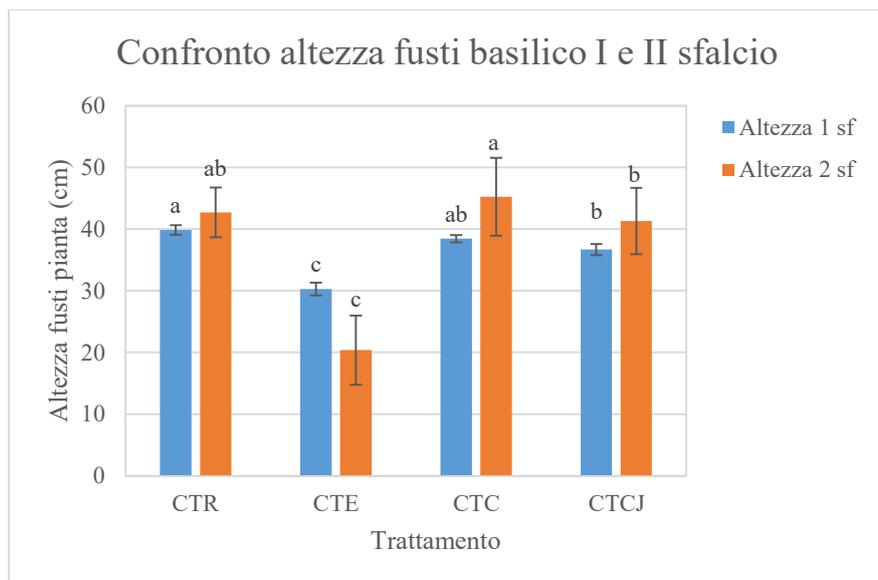


Figura 52 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sull'altezza (cm) dei fusti delle piante rilevato a termine dei cicli di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

Allo stesso modo, si sono confrontati i valori massimi relativi al numero di fusti (Fig. 53) e si è osservato che, mentre il maggior numero è stato raggiunto dalle piante con trattamento CTR in entrambi gli sfalci, il minor numero si è riscontrato nelle piante sottoposte a CTC nel primo e CTE nel secondo, sebbene si sia rilevato un generale incremento in tutti i trattamenti nel secondo sfalcio.

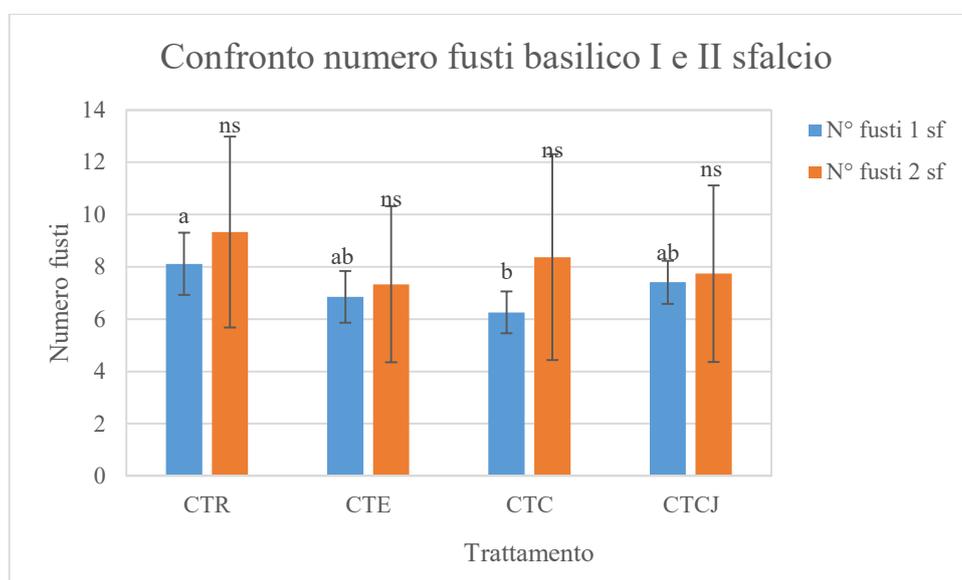


Figura 53 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul numero di fusti prodotti dalle piante rilevato a termine dei cicli di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- ***Estrazione degli oli essenziali di basilico***

Si è provveduto a stimare il contenuto totale di oli essenziali presente nelle piante di basilico (Figg. 54-57), a seguito dell'apposito processo di estrazione, e si è osservato che eugenolo e linalolo sono risultati i composti maggiormente presenti in entrambi gli sfalci svolti. Paragonandone i singoli valori ottenuti nei due sfalci effettuati, non solo si è osservata una notevole differenza numerica fra di essi, ma anche una variabilità dovuta al trattamento considerato. Mentre, infatti, le piante sottoposte a trattamento CTCJ sono risultate avere il superiore quantitativo di eugenolo nel primo sfalcio, così come quelle sottoposte a CTR nel secondo, tale effetto non si è riscontrato anche in riferimento al linalolo, il quale ha prevalso rispettivamente nel trattamento CTE e nel CTC.

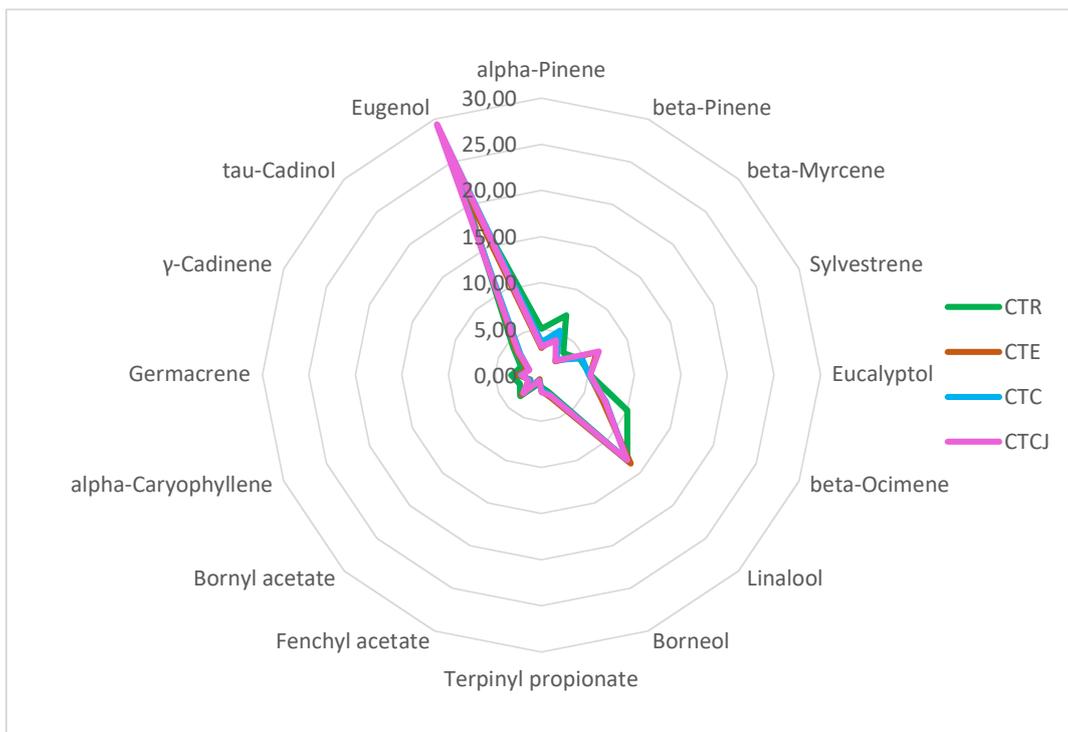


Figura 54 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di oli essenziali rilevato a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

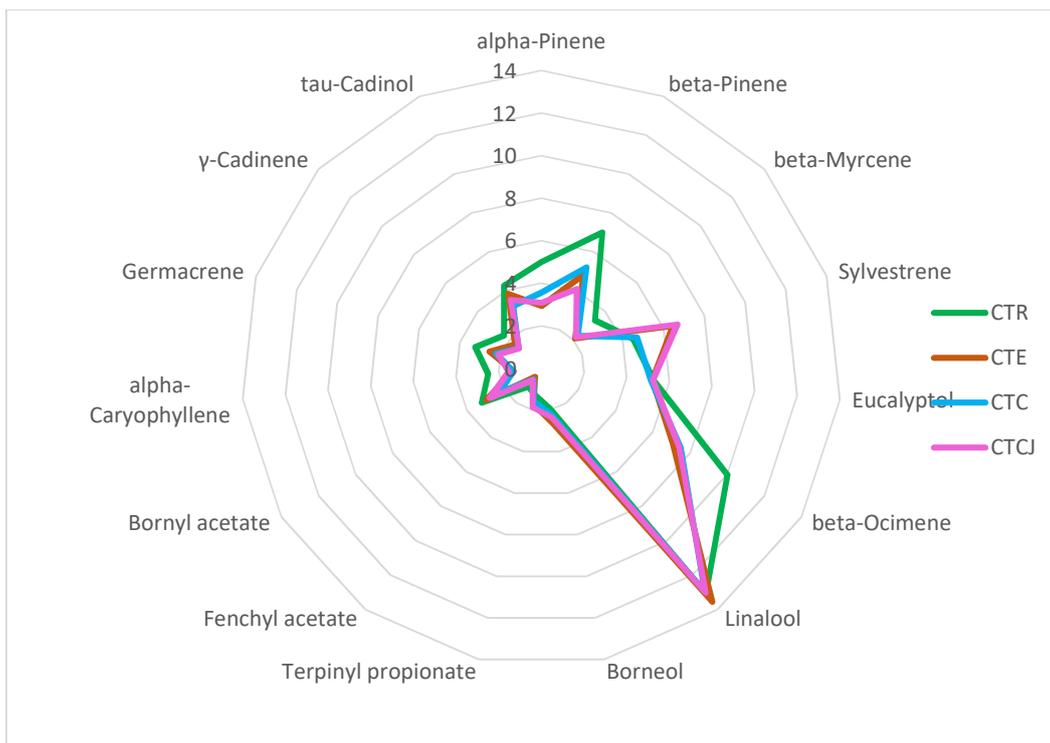


Figura 55 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di oli essenziali rilevato a termine del I ciclo di coltivazione di basilico (non è riportato eugenolo). CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

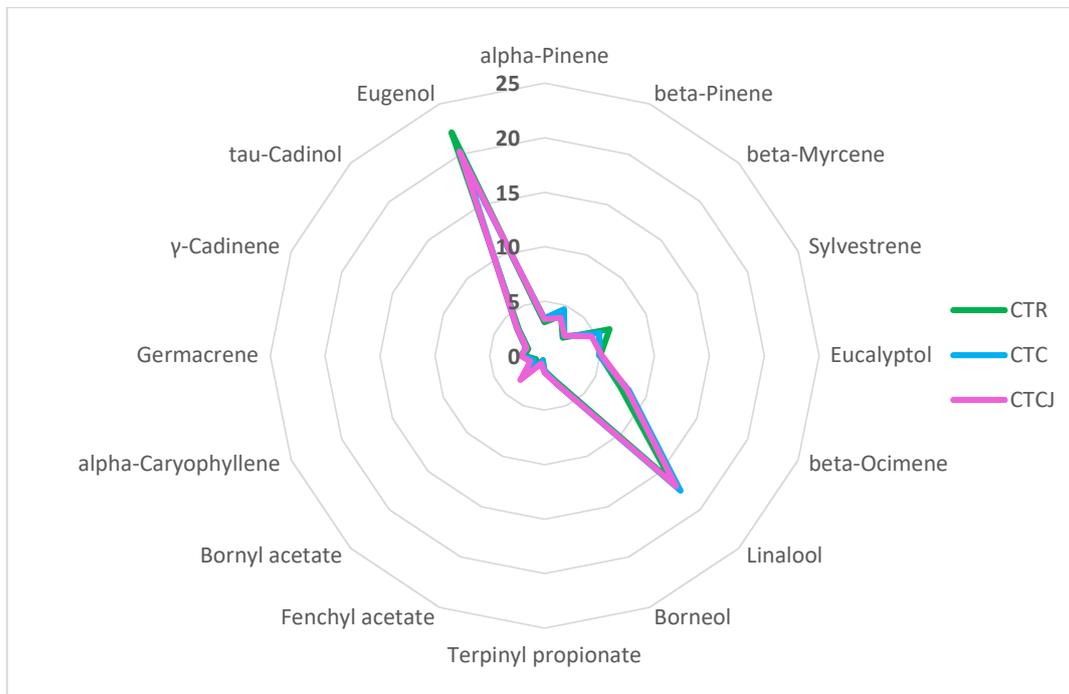


Figura 56 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di oli essenziali rilevato a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

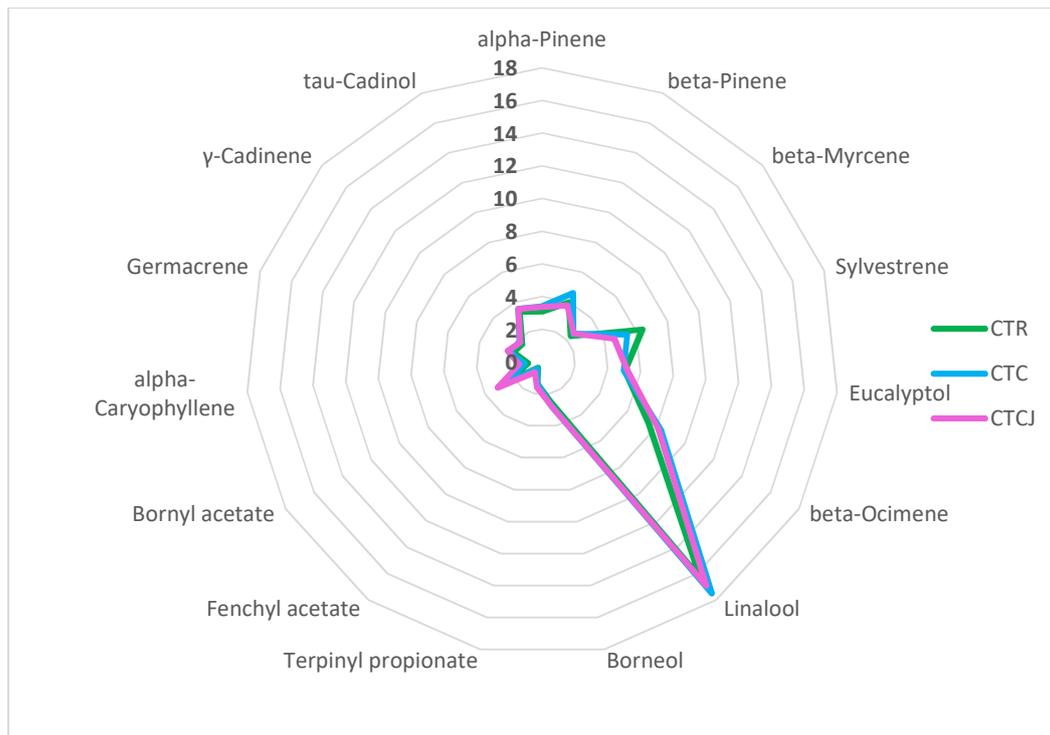


Figura 57 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di oli essenziali rilevato a termine del II ciclo di coltivazione di basilico (non è riportato eugenolo). CTR: controllo minerale, CTC: estratto di the di compost, CTCJ: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

#### 4.3.4 Rilievi qualitativi

- **Contenuto di pigmenti**

In merito al contenuto di pigmenti presenti nel peso secco dei campioni analizzati (Fig. 58 e Fig. 59), si è riscontrato che nelle piante sottoposte a trattamento CTC, in entrambi i cicli svolti, era presente il maggior contenuto di xantofille e carotenoidi e che, inoltre, fra i dati dei diversi trattamenti vi era una variabilità ridotta, determinando una più netta differenza solo in riferimento al CTE, associato al minor contenuto.

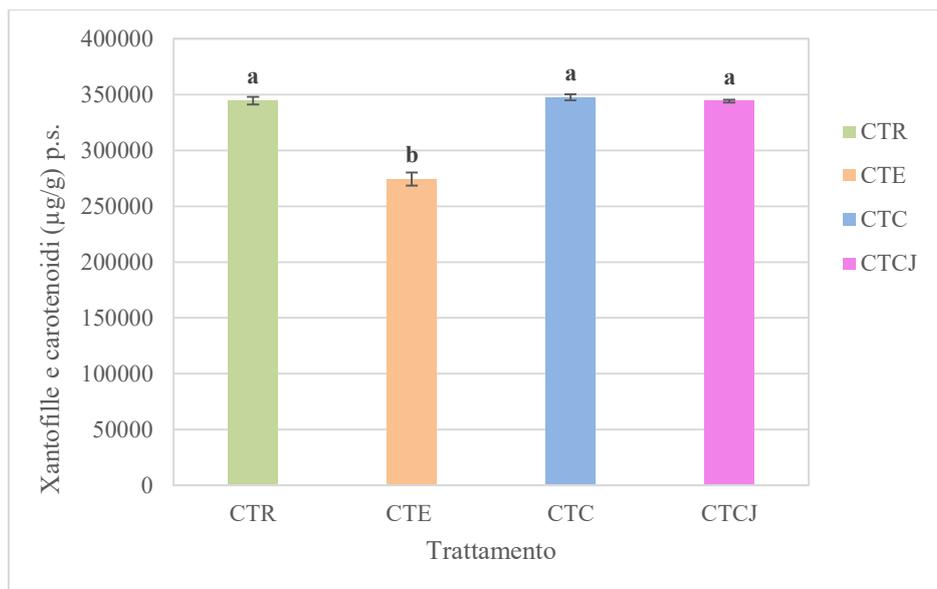


Figura 58 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di xantofille e carotenoidi ( $\mu\text{g/g}$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

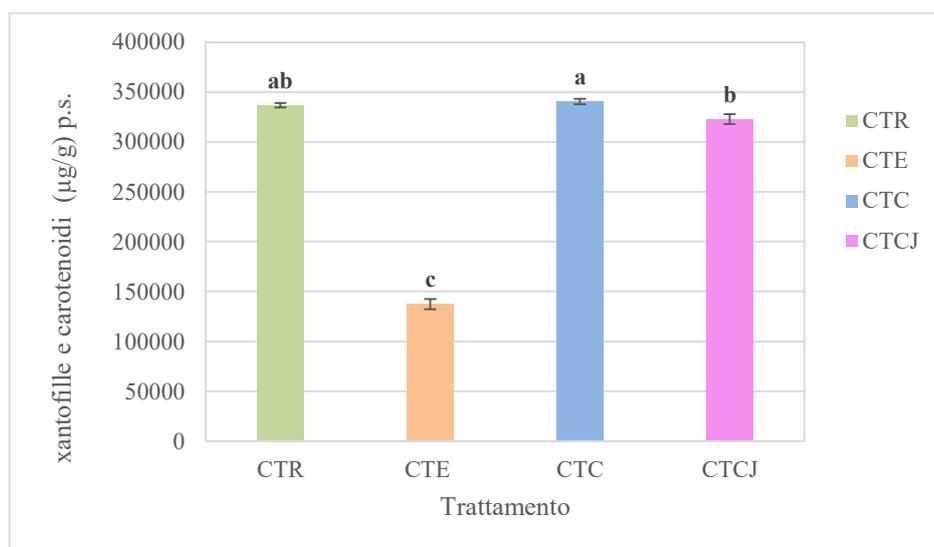


Figura 59 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di xantofille e carotenoidi ( $\mu\text{g/g}$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Contenuto di minerali e clorofille**

Il contenuto di minerali e clorofille presente nelle piante si è differenziato significativamente tra i vari trattamenti. In particolar modo, il maggior contenuto di clorofilla a nelle piante di basilico (Fig. 60 e Fig. 61) è stato osservato in CTE e CTCJ, rispettivamente nei due sfalci. I valori minimi si sono rilevati, al contrario, nel CTC e CTE.

Il massimo quantitativo di Chl b (Fig. 62 e Fig. 63) si è riscontrato nel CTC ed il minimo nelle piante sottoposte a CTE.

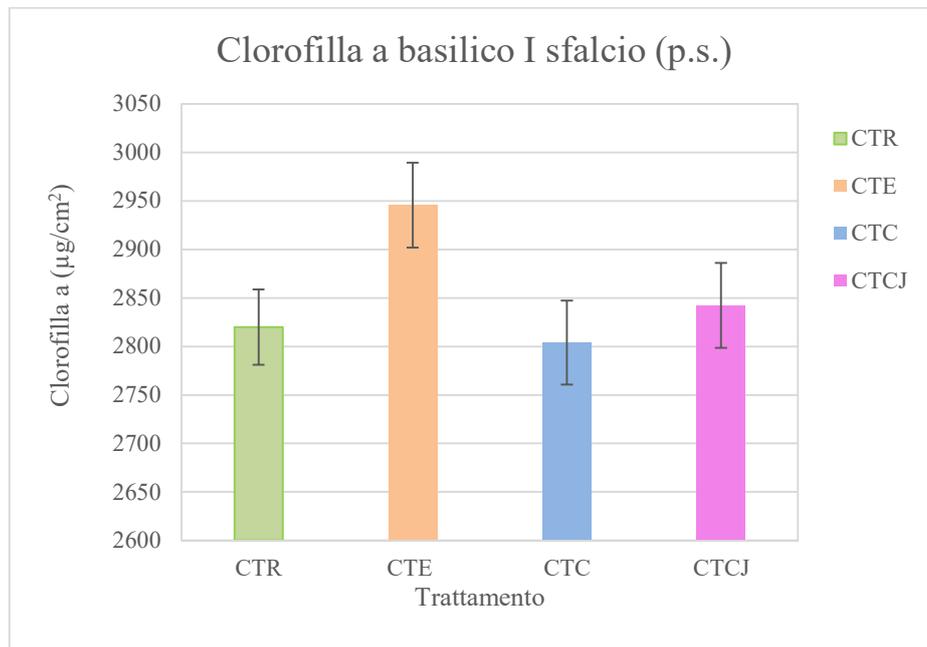


Figura 60 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di clorofilla a ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

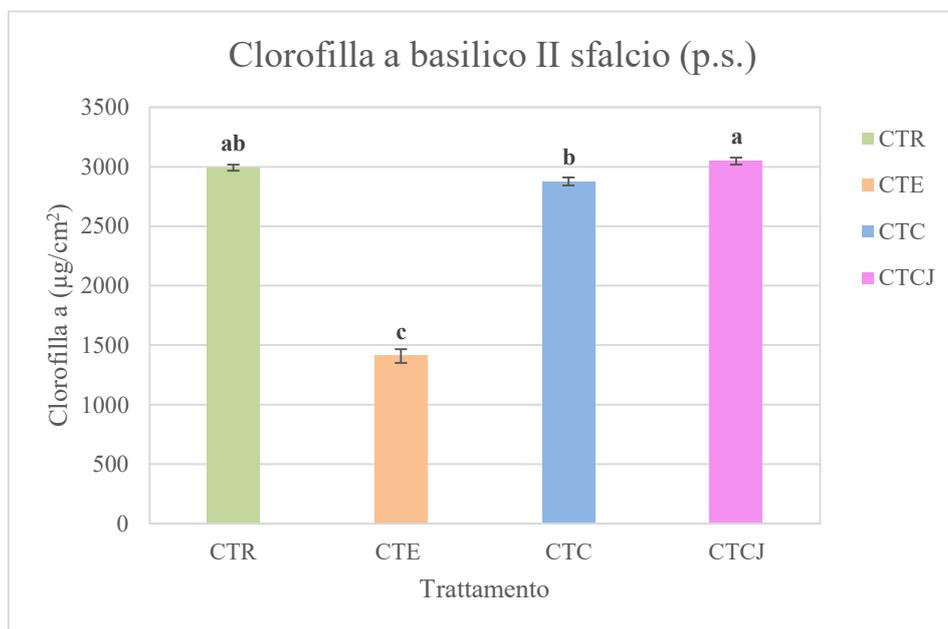


Figura 61 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di clorofilla a ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

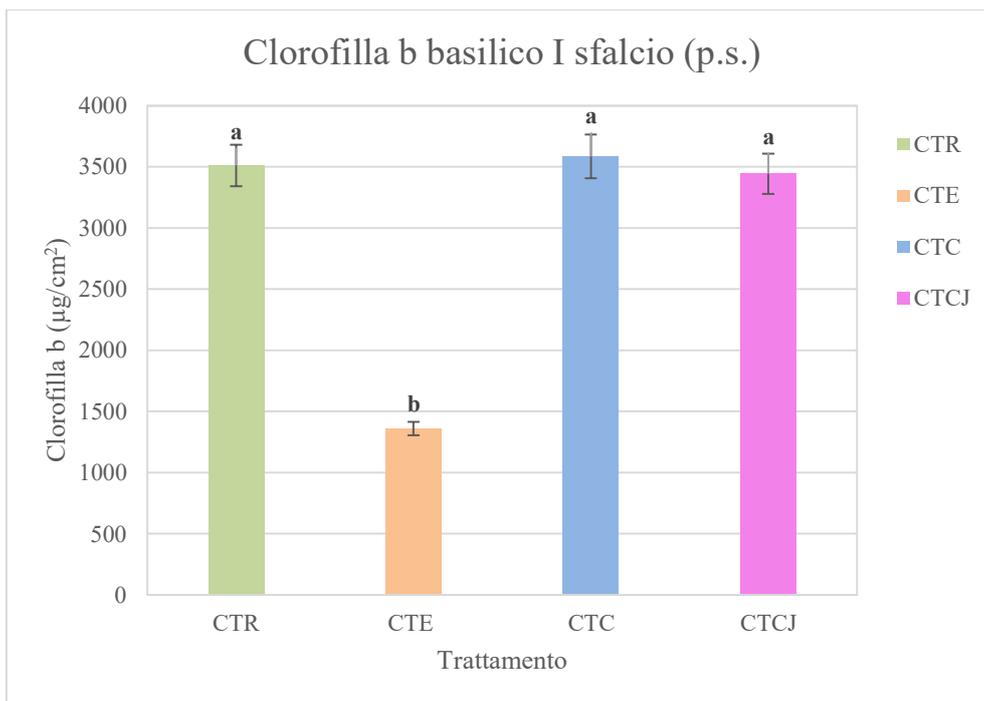


Figura 62 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di clorofilla b ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

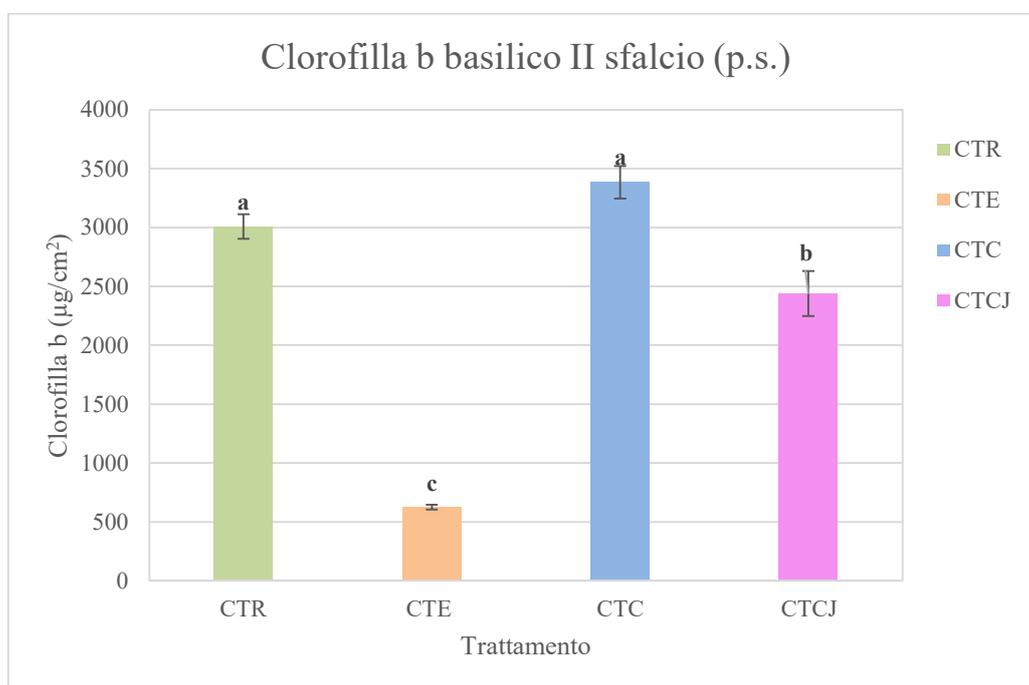


Figura 63 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di clorofilla b ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

- **Contenuto di antiossidanti e polifenoli totali**

L'analisi di antiossidanti e polifenoli totali (Figg. 64-67), misurati in mg di ferro equivalente ( $Fe^{2+}$ ) e mg di acido gallico equivalente (GAE) per kg di campione secco, ha dimostrato una situazione analoga nei due cicli di coltivazione svolti, quale la presenza di un maggior quantitativo nel trattamento con CTE. Diversamente da ciò, il minor contenuto si è riscontrato nel trattamento CTR nel primo sfalcio e, rispettivamente, nel CTC e CTCJ nel secondo.

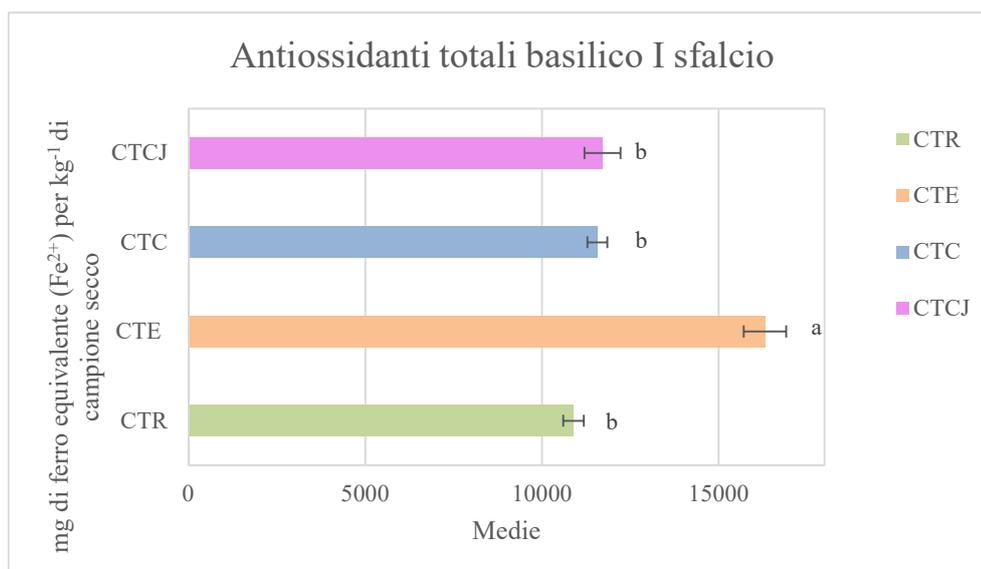


Figura 64 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di antiossidanti totali (mg  $Fe^{2+}$   $kg^{-1}$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard

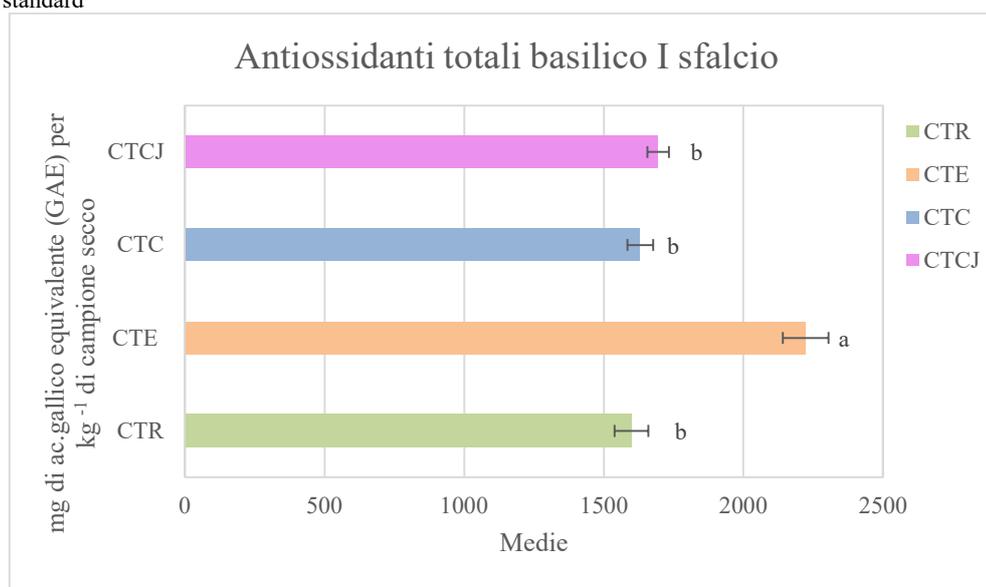


Figura 65 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di antiossidanti totali (mg GAE  $kg^{-1}$ ) rilevato sul peso secco delle piante a termine del I ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per  $P < 0,05$ , secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

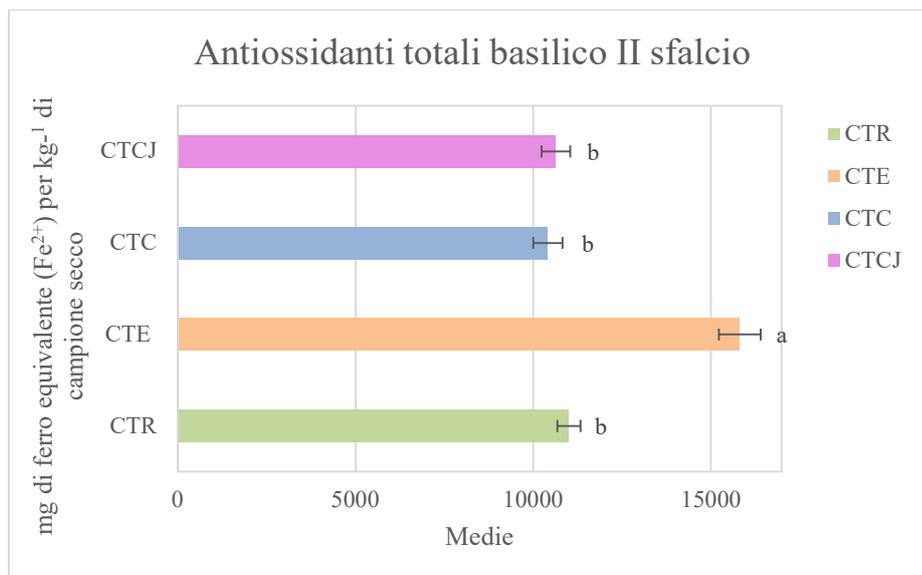


Figura 66 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di antiossidanti totali (mg Fe<sup>2+</sup> kg<sup>-1</sup>) rilevato sul peso secco delle piante a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per P<0,05, secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

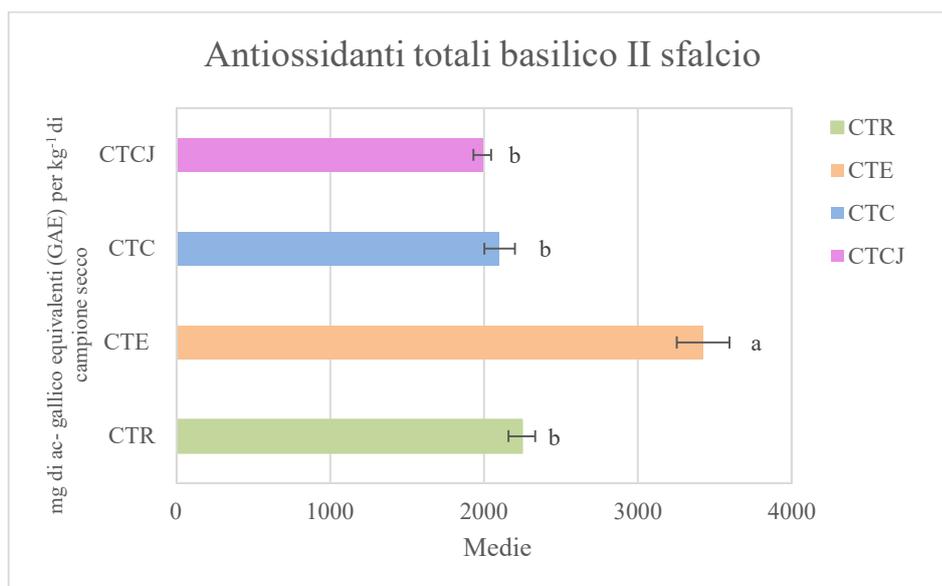


Figura 67 Effetto della gestione della soluzione nutritiva sul contenuto di antiossidanti totali (mg GAE kg<sup>-1</sup>) rilevato sul peso secco delle piante a termine del II ciclo di coltivazione di basilico. CTR: controllo minerale, CTE: estratto di the di compost, CTC: estratto di the di compost corretto, CTCJ: estratto di the di compost corretto + plasma freddo. Nell'ambito di ciascun'epoca di rilievo, i valori senza alcuna lettera in comune differiscono significativamente per P<0,05, secondo il test HSD di Tukey. Le barre d'errore riportano l'errore standard.

## Capitolo 5: Discussione

L'utilizzo del Tè di Compost come estratto organico in grado di implementare la coltivazione delle colture è stato ampiamente studiato in letteratura, diventando parte delle pratiche agronomiche convenzionali e prevalentemente impiegato nella coltivazione su terreno (Naidu et al., 2010) e (Gomez et al., (2015). Sebbene siano comprovate le proprietà biostimolanti, fertilizzanti e protettive da organismi patogeni di tale estratto (Marin et al., 2013), (Sanwal et al., 2007) (Martin, 2014), sono necessari ulteriori studi per comprendere come tali capacità si manifestino in diverse colture e con diverse modalità di applicazione, soprattutto in relazione al materiale utilizzato nel processo di compostaggio che può manifestare caratteristiche discontinue nel tempo e contenuto di nutrienti variabile.

In merito al **contenuto di nutrienti**, nella presente ricerca si sono riscontrati risultati simili a quelli osservati in altri studi. Talvolta è possibile riscontrare, come conseguenza derivante dall'apporto di Tè di Compost nelle colture, una diminuzione nel contenuto di alcuni nutrienti, seppur contrapposta all'aumento di altri. Mentre Savarese et al., (2022), studiando l'effetto biostimolante di CT (utilizzato singolarmente e in combinazione con composti umici) nelle piante di lattuga, hanno osservato che l'apporto singolo di tale estratto ha comportato un aumento della concentrazione di P, K, Mg e Ca, nonché un miglioramento del metabolismo delle colture stesse, altri autori non hanno riscontrato i medesimi risultati. Analizzando gli effetti rilevati nelle piante di basilico sottoposte a tale trattamento, Khalid et al., (2006) hanno desunto infatti che, sebbene esso determini un rilevante aumento del contenuto di molti nutrienti, al contempo, esso comporta anche una notevole riduzione del contenuto di azoto (N), che, secondo Nijjar, GS, (1985), sarebbe imputabile all'utilizzo cui tale elemento è stato destinato nelle colture (costituente dei tessuti).

Nella presente prova, valutando il risparmio di nutrienti determinato dall'utilizzo di Compost Tea rispetto alla soluzione di controllo minerale, è emerso, in termini percentuali, un risparmio molto esiguo nell'apporto di nitrato e fosfato (0,39% e 0,30%), modesto di calcio (circa 13,33%), più consistente di potassio, ammonio e magnesio (rispettivamente 27,46%, 27,08% e 22,11%) e molto rilevante di solfato (99,47%). Da ciò si desume che il beneficio traibile in riferimento alla riduzione dell'uso di fertilizzanti di sintesi con il the di compost è significativo e rilevante, come riscontrato anche da Tarek et al., (2023), in merito all'utilizzo di compost tea in combinazione a inoculazione batterica e melassa.

Inoltre, dai molteplici **indici vegetativi** rilevati durante la coltivazione delle specie ed elaborati per definirne l'andamento nel tempo, si è osservato che l'apporto di Compost Tea ha determinato un

effetto rilevante. Nella lattuga, il maggior contenuto di azoto fogliare si è riscontrato nel trattamento CTC, in misura maggiore anche rispetto al trattamento di controllo, come riscontrato anche dall'analisi condotta da Pane et al., (2014) nelle piante di lattuga e cavolo rapa; allo stesso modo, tale trattamento si è dimostrato in grado di raggiungere livelli paragonabili al CTR anche quando applicato alla coltivazione di basilico. Valutando gli andamenti SPAD si è osservata un'iniziale omogeneità dei valori (probabilmente dovuta al recente trapianto), una variabilità molto più marcata degli stessi a metà del ciclo colturale (probabilmente imputabile all'elevata temperatura della stagione estiva, responsabile di scompensi nutrizionali) e una situazione finale che riflette l'andamento mantenuto durante tutto il ciclo, di minor verde fogliare associato al CTE e di maggiore al CTCJ e CTR (con modeste differenze rispetto al CTC). L'effetto rilevante determinato dal CTCJ nella coltivazione del primo ciclo di basilico non si è ripetuto anche nel secondo (in cui il CTR ha espresso migliori performance), probabilmente a causa delle condizioni ambientali in cui si è svolta la prova (piena estate), dove la solubilità dell'ossigeno è diminuita con l'aumentare delle temperature, determinando una minore efficacia dell'aria ionizzata che ha inoltre ridotto la disponibilità di alcuni micronutrienti, forniti in forma chelata. A seguito di ciò, si può desumere che l'estratto di the di compost corretto dal punto di vista nutritivo (CTC) determina l'effetto nutrizionale più simile a quello indotto dalla soluzione nutritiva standard (CTR) nel soddisfare il fabbisogno delle colture, determinando, come dimostrato da Mostafa et al., (2011) nelle piante di vite e Ali, (2015), un effetto positivo nel contenuto nutrizionale.

In merito al **contenuto di pigmenti fotosintetici**, il quantitativo massimo di antociani e flavonoidi riscontrato al termine della coltivazione si è osservato nel trattamento con CTE in entrambe le specie, sebbene, nel primo ciclo di basilico, i valori inerenti ai flavonoidi non si sono dimostrati significativi. A spiegazione di ciò, come già riscontrato dalle ricerche svolte da Khalid et al., (2006), a seguito dell'applicazione di compost tea si può rilevare un significativo aumento del contenuto di tali pigmenti presenti nelle colture trattate. Unica eccezione è stata l'analisi dell'NBI, a seguito della quale si è riscontrato un andamento variabile dei valori massimi e minimi nei diversi trattamenti, risultati maggiori nel trattamento CTCJ nella lattuga e nel CTE e CTR nel basilico.

Valutando la **quantità di biomassa** prodotta dalle piante di lattuga, si rileva una produzione aerea maggiore nel trattamento con controllo minerale (CTR), probabilmente a seguito dell'adeguato apporto nutrizionale da esso derivante, ma elevata anche nel trattamento con CTCJ. Come emerso dalle ricerche condotte da Pane et al., (2014), il the di compost è, infatti, in grado di implementare la resa della lattuga di circa il 24%. Analogo effetto non si è osservato, però, in merito alla biomassa

radicale, la cui minor produttività si è raggiunta nel trattamento con CTE. Alcuni ricercatori (Garg e Rakshit, 2024) hanno di fatto riscontrato la medesima condizione, ovvero che l'apporto di CT determina un'influenza sull'allocazione dei nutrienti e della biomassa, promuovendone una crescita primariamente radicale. Ciò deriva, probabilmente, dallo squilibrio nutrizionale cui erano sottoposte le colture, che ha determinato in esse una condizione di carenza nutrizionale, a seguito della quale hanno reagito promuovendo la crescita dell'apparato radicale.

In merito alla quantificazione di biomassa aerea prodotta nel basilico, si è rilevata una notevole somiglianza fra i trattamenti CTR e CTC, contrapposta, invece, a quella fra CTC e CTCJ osservata nella produzione radicale e correlata all'effetto di ossigenazione indotto da quest'ultimo trattamento. Si può desumere, quindi, una maggior sensibilità della lattuga al trattamento CTE nel promuovere lo sviluppo dell'apparato radicale, contrariamente a quella del basilico al trattamento CTCJ, il quale ha dimostrato risentire maggiormente dell'effetto indotto dal plasma non termico.

La condizione di carenza nutrizionale dovuta al trattamento con CTE si rileva anche dall'analisi percentuale della **sostanza secca di foglie, fusti e radici**: mentre, se sottoposte al controllo minerale, le piante presentano i consueti valori di sostanza secca, poiché dotate di adeguata turgidità cellulare, quelle sottoposte agli altri trattamenti, e, in particolar modo, al CTE, dimostrano valori estremamente più elevati (soprattutto nelle piante di basilico). Ciò è dovuto alla condizione di stress fisiologico cui le colture erano sottoposte con tale trattamento, che ha determinato un considerevole inferiore contenuto idrico cellulare, come riscontrato anche da Leonardi e Martorana, (2005), in merito al conseguente ridotto turgore cellulare indotto in pomodoro da una condizione di stress osmotico.

Confrontando il massimo valore di **altezza** rilevato nelle piante di basilico nei due diversi cicli di coltivazione, si è osservato un maggior sviluppo raggiunto nel secondo sfalcio rispetto al primo. Allo stesso modo, paragonando il **numero di fusti** prodotti, si è osservata la medesima situazione, con l'unica eccezione rappresentata dal CTE (in cui ha prevalso il primo sfalcio). Si è riscontrata, inoltre, una notevole variabilità dei dati inerenti al secondo sfalcio, probabilmente imputabile all'elevata influenza che le modalità di taglio esercitano sulla ripresa vegetativa delle colture. Sebbene, dunque, si sia osservato un importante ricaccio, i trattamenti CTR e CTCJ non hanno presentato eccessive differenze.

Riguardo il **contenuto di clorofille**, in entrambe le specie considerate i trattamenti CTC, CTR e CTCJ non hanno presentato notevoli differenze e sono risultati in grado di stimolarne similmente la produzione nelle piante. Al contrario, essa era molto ridotta negli altri trattamenti, con l'unica

eccezione rappresentata dal primo sfalcio di basilico, in cui il contenuto di clorofilla a ha prevalso nelle piante sottoposte a CTE. A riprova di ciò vi sono le ricerche svolte da Pane et al., (2014), Naidu et al., (2013) e Xu et al., (2012), in cui si è riscontrato il medesimo effetto, talvolta anche più intenso nei trattamenti sottoposti a the di compost rispetto a quelli di controllo.

In merito al **contenuto di antiossidanti e polifenoli totali**, Jasson et al., (2023) hanno riscontrato, nelle piante di *S. aethiopicus*, un notevole accumulo di fitochimici, minerali e antiossidanti, ipotizzando che ciò derivasse dalla somministrazione di Compost Tea stesso. Inoltre, hanno osservato che l'apporto di tale estratto (sebbene non diluito) all'apparato radicale delle colture era responsabile di una maggiore concentrazione di questi fitochimici, in virtù della quale è dunque coerente il risultato ottenuto dalle prove condotte in questo studio, nelle piante di lattuga e di basilico trattate con CTE. Esse sono risultate, infatti, contenenti un quantitativo totale di antiossidanti e polifenoli superiore rispetto a tutte quelle sottoposte agli altri trattamenti. La spiegazione di ciò si ritrova nella forte condizione di stress fisiologico cui tali piante erano sottoposte, a seguito della quale hanno promosso la produzione di questi composti, come meccanismo di difesa colturale. Come dimostrato anche da Nofal et al., (2021), la medesima condizione si riscontra anche nel *Phaseolus vulgaris* L., in cui si è verificato un aumento dei polifenoli, a seguito dell'applicazione di the di compost.

In merito al **contenuto totale di oli essenziali** riscontrato nelle piante di basilico, a seguito dell'apposito processo di estrazione, è emerso che linalolo e eugenolo sono alcuni dei composti maggiormente caratterizzanti queste colture, come già riscontrato da Da Silva et al., (2022). Essi hanno infatti accertato, a loro volta, che tali composti, in combinazione con estragolo, eucaliptolo e bergamotene (in concentrazioni variabile), sono i principali prodotti del metabolismo secondario derivanti dalle piante di basilico. Inoltre, l'applicazione di compost tea in combinazione con compost può determinare un aumento del quantitativo totale di oli essenziali contenuti nella biomassa aerea nelle piante di basilico, come emerso dall'analisi condotta da Khalid et al., (2006). Sebbene, come emerso dalle ricerche di Dehsheikh et al., (2020), sia fenomeno comune in questa specie riscontrare un'ampia variazione quali-quantitativa della tipologia di composti presenti negli oli essenziali, dovuta all'influenza di natura biotica e abiotica riscontrata nel periodo di crescita delle colture, da cui deriva una notevole variabilità di questi metaboliti secondari.

## Capitolo 6: Conclusione

In un'ottica di ricerca di sostenibilità ed economia circolare, promossa a livello comunitario grazie agli obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030 e necessaria per far fronte alle nuove condizioni ambientali che la comunità globale si trova ad affrontare (cambiamento climatico, incremento demografico, disponibilità idrica), vi è l'impellenza che le pratiche agronomiche, i principali stakeholders delle aziende agroalimentari e i coltivatori privati cerchino sempre più di integrarsi con i principi di gestione e utilizzo delle risorse sostenibili, per promuovere la salvaguardia e tutela dell'ambiente.

È in un tale contesto che ben si inserisce il Compost Tea, il quale si dimostra di valido ed efficace utilizzo e una potenziale alternativa ai comuni fertilizzanti di sintesi presenti nelle coltivazioni agricole, con la capacità di rivalutare le materie di risulta, rendendole capaci di supportare e implementare la crescita delle colture, la qualità dei suoli e le comunità microbiche ad essi associate. Sebbene le proprietà positive di questo estratto siano molteplici, è necessario, d'altronde, tener presente che esse risultano notevolmente influenzate dai processi di produzione e applicazione, e, dunque, non sempre riscontrabili in modo univoco.

Le peculiarità emerse hanno riguardato le rilevanti capacità nutritive del CTC, il quale si è dimostrato un trattamento discretamente valido ed in grado di comportare effetti benefici nei parametri produttivi e qualitativi delle colture, raggiungendo risultati colturali quasi paragonabili ai medesimi raggiunti dal trattamento di controllo (CTR). Nelle piante sottoposte a tale trattamento si sono riscontrati, infatti, maggiore contenuto di azoto fogliare (nella lattuga e nel secondo sfalcio di basilico), elevata conduttanza stomatica e considerevole produzione di biomassa aerea e radicale (nel basilico stesso).

Al contrario, le capacità fertilizzanti del trattamento con CTE (estratto di the di compost tal quale), sono risultate modeste e contenute, comportando un'elevata variabilità nei parametri di crescita e negli aspetti quali-quantitativi delle colture. Gli effetti riscontrati nei rilievi svolti sono risultati, infatti, molteplici: incremento di biomassa radicale nella lattuga, maggiore produzione di sostanza secca di foglie e fusti e considerevole maggiore produzione di antiossidanti in entrambe le specie, sono stati i più evidenti. A spiegazione di ciò, vi è probabilmente la forte condizione di stress fisiologico cui le piante sottoposte a tale trattamento sono state soggette, a seguito della quale hanno stimolato i meccanismi di difesa e ripresa vegetativa.

Il trattamento sottoposto ad aria ionizzata (CTCJ) ha comportato effetti più esigui, senza evidenti conseguenze colturali, ma anche più rilevanti, come il notevole incremento dell'apparato radicale

in entrambe le specie (in virtù della maggiore ossigenazione ottenuta tramite NTP) e, talvolta, quasi paragonabili a quelli ottenuti dall'estratto di the di compost corretto e dal controllo minerale.

A seguito di ciò, la differenza in termini di benefici colturali ottenuti con il CTC rispetto agli altri trattamenti è risultata piuttosto rilevante e, l'effetto da esso derivante, talvolta quasi paragonabile a quello determinato dall'apporto di CTR.

Nonostante ciò, data la difficoltà riscontrata nel CTE nel soddisfare a pieno il fabbisogno nutrizionale delle colture, la tesi esaminata di poter considerare il Tè di Compost come una potenziale alternativa ai tradizionali fertilizzanti di sintesi utilizzati in agricoltura, non può essere del tutto comprovata. Sebbene con discrete proprietà positive (in grado di apportare nutrienti da fonte organica e garantire circolarità nella gestione delle risorse), esso necessita, infatti, di una notevole correzione nutrizionale tramite fertilizzanti chimici (in particolar modo nitrato e fosforo), del quale risulta povero e fondamentali per lo sviluppo e la crescita colturale.

## **Bibliografia**

- Adam, G., Duncan, H., (2001) Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biol Biochem* 33:943–951
- Adani, F., Ubbiali, C., Generini, P., (2006) La determinazione della stabilità biologica dei compost mediante l'indice di respirazione dinamica: i risultati dell'esperienza dopo due anni. *Waste Manag* 26(1):41–48
- Afonso, S., Arrobas, M., Ferreira, I.Q., e Ângelo Rodrigues, M., (2018). Valutazione del potenziale utilizzo di due misuratori portatili di clorofilla nella diagnosi dello stato nutrizionale delle piante, *J. Plant Nutr*, vol. 41, p. 261.
- Albuquerque, J., González, J., García, D., Cegarra, J., (2006) Misurazione della detossificazione e della maturità nel compost ottenuto da “Alperujo”, il sottoprodotto solido dell'estrazione dell'olio d'oliva mediante il sistema di centrifugazione a due fasi. *Chemosfera* 64(3):470–477
- Ali, O.A., (2015). Ruolo delle sostanze umiche e del tè di compost nel miglioramento del contenuto di ormoni endogeni, della fioritura e della resa e dei suoi componenti della fava (*Vicia faba* L.). *Ann. Agric. Sci. Moshtohor* 2015, 53, 373–384
- Al-Mughrabi, K.I., (2006). Capacità antibiotica del compost tea aerobico contro le malattie fogliari e tuberose della patata. *Biotecnologia*, 5 (1) (2006), pp. 69 – 74
- Amir, S., (2005) Contributo alla valorizzazione delle stazioni di depurazione per compostaggio: devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomie, Institut National Polytechnique (ENSAT-INP), Tolosa, Francia, pag. 341
- Arnon, D.I., e Stout, P.R., (1939). L'essenzialità di alcuni elementi in quantità minime per le piante con particolare riferimento al rame. *Fisiologia vegetale* 14, 371-375
- ARPA VENETO, (2012). Metalli e metalloidi nel suolo.
- Auer, C.A., Motyka, V., Březinová, A., Kamínek, M., (1999). Accumulo di citochinina endogena e attività della citochinina ossidasi durante l'organogenesi dei germogli di *Petunia hybrida*. *Fisiologia Plantarum*.

- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S. e Thami Alami, I., (2018). Composting parameters and compost quality: A literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141–158. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>
- Bako, T., Mamai, E. A., e Istifanus, A. B., (2021). Production and evaluation of compost tea for cultivation of *Amaranthus hybridus*. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 23(3). <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/6941>
- Barberis, R., Nappi, P., Boscetti, P., Vicenzino, E., (1996). Valutazione della qualità del compost. Estratto dalla rivista “Acqua Aria”.
- Barbosa, G.L., Gadelha, F.D.A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G.M., e Halden, R.U., (2015). Confronto tra il fabbisogno di terra, acqua ed energia della lattuga coltivata con metodi idroponici e convenzionali. *International Journal of Environmental Reserach and Public Health*, 12:6879-6891
- Bernal-Vicente, A.; Ros, M.; Tittarelli, F.; Intrigliolo, F.; Pascual, J.A., (2008). Compost di agrumi e il suo estratto acquoso per la coltivazione di piante di melone in vivai in serra. Valutazione degli effetti nutriattivi e di biocontrollo. *Bioresour. Technol.* 2008, 99, 8722–8728.
- Bharti, R., e Sharma, R., (2022). Effect of heavy metals: An overview. *Materials Today: Proceedings*, 51, 880–885.
- Bigliardi P., (1999). Il compostaggio di qualità: “problematiche gestionali e di mercato”. Azienda Municipalizzata Igiene Urbana del Comune Di Modena.
- Borin, M., Giupponi, C., e Osele, F., (1987). Effetto del fertilizzante organico e minerale e del tipo di terreno sulla formazione del tubero di patata. *Information Agrario*, 43 (9): 116-122.
- Brwaldh, M., (1992). Influenza dei fertilizzanti organici e inorganici sul fagiolo comune (*Faseolo volgare L.*) coltivato in P-fissazione. *Andosol malico. Biol. Agric. e Hort.*, 9 (8): 45-56.
- C. S., V., Meenatchi, R., e Shanmugham, B., (2021). Immune boosting foods popular article. Volume 03—Issue 01—January 2021 (1). 3, 216–218.
- Carmassi, G., Cela, F., Trivellini, A., Gambineri, F., Cursi, L., Cecchi, A., Pardossi, A., e Incrocci, L., (2022). Effects of Nonthermal Plasma (NTP) on the Growth and Quality of Baby Leaf Lettuce (*Lactuca sativa var. Acephala Alef.*) Cultivated in an Indoor Hydroponic Growing System. *Horticulturae*, 8(3), 251.

Carrocci M., (2022). Studio dell'effetto della combinazione del plasma non termico con  $\text{LaMnO}_3$  nella degradazione di composti organici volatili.

Centemero M., Zanardi W., (2007). Il trattamento biologico dei rifiuti urbani in Italia: compostaggio, trattamento meccanico-biologico, digestione anaerobica. Consorzio Italiano Compostatori.

Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Ghazlen, N. B., e Latouche, G., (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum*, 146(3), 251–260.

Chiumenti, R., A.C., (2001). La tecnologia del compostaggio. ARPA Veneto.

D. Lgs. 152/06 “Testo unico in materia ambientale”.

D. Lgs. 217/06 “Revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”.

D.G.R.V. n.766/2000, sostituita da D.G.R.V. n. 568/05.

Da Silva, W.M.F., Kringel, D.H., De Souza, E.J.D., Guerra Dias, A.R., (2022). Basil Essential Oil: Methods of Extraction, Chemical Composition, Biological Activities, and Food Applications. *Food Bioprocess Technol* 15, 1–27 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02690-3>

De Corato, U., (2020). Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of The Total Environment*, 738, 139840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139840>

Decisione (UE) 2022/1244 della Commissione del 13 luglio 2022, la quale “stabilisce i criteri per l’assegnazione del marchio di qualità ecologica dell’Unione europea (Ecolabel UE) ai substrati di coltivazione e agli ammendanti.

Dehsheikh, A.B., Sourestani, M.M., Zolfaghari, M., e Enayatizamir, N., (2020). Cambiamenti nell'attività microbica del suolo, quantità di olio essenziale e qualità del basilico thailandese come risposta a biofertilizzanti e acido umico. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120439

Di Ciaula A., Gentilini P., Laghi F., Tamino G., Mocci M., Migaleddu V., (2015). Il trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani (FORSU)

Direttiva 75/442/CEE “Direttiva Quadro sui rifiuti”, Direttiva 91/156/CEE, Direttiva 2006/12/CE e Direttiva 2008/98/CE “Nuova Direttiva Quadro sui rifiuti”

Direttiva CEE 91/676 e Programma di Azione Ambientale Comunitario 24/01/2001

Dong, C., Shao, L., Liu, G., Wang, M., Liu, H., Xie, B., Li, B., Fu, Y., e Liu, H., (2015). Photosynthetic characteristics, antioxidant capacity and biomass yield of wheat exposed to intermittent light irradiation with millisecond-scale periods. *Journal of Plant Physiology*, 184, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.06.012>

Ehret, D., Alsanius, B., Wohanka, W., Menzies, J., Utkhede, R., (2001). Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie*, 2001, 21 (4), pp.323-339. [ff10.1051/agro:2001127ff](https://doi.org/10.1051/agro:2001127ff). [ffhal-00886118f](https://doi.org/10.1051/agro:2001127ff)

Ercan Karaayak, P., Inanoglu, S., e Karwe, M. V., (2023). Impact of Cold Plasma Treatment of Sweet Basil Seeds on the Growth and Quality of Basil Plants in a Lab-Scale Hydroponic System. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(8), 675–682. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00128>

Erhart, E., Hartl, W., (2010). Ingegneria genetica, biofertilizzazione, qualità del suolo e agricoltura biologica. In: Lichtfouse E, editor. *Ingegneria genetica, biofertilizzazione, qualità del suolo e agricoltura biologica* [Internet]. *Sustainable Agriculture Reviews*. Vol. 4. Dordrecht: Springer Netherlands; 2010. pp. 311-345

Eudoxie, G., e Martin, M., (2019). Compost tea quality and fertility. *Organic fertilizers-history, production and applications*.

Favilli, R., (1960). Su di un nuovo tipo di impianto idroponico per subirrigazione a vasca unica con alimentazione centrale. *Rivista di ortoflorofrutticoltura italiana*, vol. 44, n. 7/8 (Luglio-Agosto 1960), pp. 277-286 (12 pagine). Pubblicato da: Dipartimento Di Scienze Delle Produzioni Vegetali, Del Suolo E Dell'Ambiente Agroforestale – DiPSA – Università di Firenze

Ferrante, A., (2013). Ortaggi per la IV gamma. In *La concimazione azotata degli ortaggi* (pp. 165-180). Barone e Bella e C.

Fevzi, A., Tunçtürk, R., Oral, E., Tunçtürk, M., (2024). Determination of the Polyphenolic Contents in Some Cereals and Legume Microgreens by Dualex Measurements. *Year 2024, Volume: 14 Issue: 3*, 1331 – 1341

Fridman, A., (2008). Plasma Chemistry. Cambridge University Press.

Fussy, A., e Papenbrock, J., (2022). An overview of soil and soilless cultivation techniques—Chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants*, 11(9), 1153.

Gaio, E., Michea, M., (2019). Qualità e fertilità del tè di compost. IntechOpen (Ed.), *Fertilizzanti organici: storia, produzione e applicazioni* (2019).

Garg, J., e Rakshit, A., (2024). Compost Tea: An Emerging Nature-Based Supplement Strengthening Options for Durable Agriculture. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02100-5>

Goenka, A.G., (2018). Idroponica v/s Geoponica. *International Journal of Emerging Reserach and Development*, 1(5): 12-34

Gómez-Brandón, M.; Vela, M.; Martínez-Toledo, V.; Insam, H.; Domínguez, J., (2015). Effetti del compost e dei tè vermicompost come fertilizzanti organici. *Avv. Fertile. Tecnologia. Sintetizzatore*. 2015, 1, 300–318

Hargreaves, J.C., Sina Adl, M., Warman, P.R., (2009). Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *J. Sci. Food Agric*. 89:390-7.

Hegazy, M.I., Hussein, E., Salama, A., Salama, A., (2015). Miglioramento della qualità fisico-chimica e microbiologica del tè di compost mediante diversi trattamenti durante l'estrazione. *African Journal of Microbiology Research*. 2015;13(50):763-770

Holubová, E.; Kyzek, S.; Ďurovcová, I.; Fabova, J.; Horváthová, E.; Ševčovičová, A.; Gálová, E., (2020). Plasma non termico: un nuovo agente di innesco verde per le piante? *Interno J. Mol. Sci*. 2020, 21, 9466

Hughes, A.J., (2017). La coltivazione idroponica offre vantaggi, ma non sostituisce il terreno.

Hung, W., Huang, W.-Y., Lin, C., Vu, C. T., Yotapukdee, S., Kaewlaoyoong, A., Chen, J.-R., e Shen, Y.-H., (2017). The use of ultrasound-assisted anaerobic compost tea washing to remove polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), dibenzo-furans (PCDFs) from highly contaminated field soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(23), 18936–18945. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9517-0>

Ingham, E., (2003). Promesse e aspetti pratici del tè di compost. Una voce per l'eco-agricoltura (ACRES) USA, dicembre Vol.33, n.12.

Ingham, E., (2005). Il manuale per la preparazione del tè di compost. Soil Foodweb Incorporated, Oregon.

Islam, M. K., Yaseen, T., Traversa, A., Ben Kheder, M., Brunetti, G., e Coccozza, C., (2016). Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste Management*, 52, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.042>

Jan, S., Rashid, Z., Ahngar, T., Iqbal, S., Naikoo, A., Majeed, S., Bhat, T., Gul, R., e Nazir, I., (2020). Hydroponics – A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9, 1779–1787. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.206>

Jasson, T.I.; Jimoh, M.O.; Daniels, C.W.; Nchu, F.; Laubscher, C.P., (2023). Potenziamento del potenziale antiossidante, dei fitochimici, delle proprietà nutrizionali e della crescita di *Siphonochilus aethiopicus* (Schweinf.) BL Burt con diversi dosaggi di tè di compost. *Horticulturae* 2023, 9, 274.

Katsoulas, N., e Kittas, C., (2008). Impatto del microclima della serra sulla crescita e lo sviluppo delle piante con particolare riferimento alle Solanaceae. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol*, 2 (1), 31-44.

Keeling, A.A., McCallum, K.R., Beckwith, C.P., (2003). Il compost di rifiuti verdi maturi migliora la crescita e l'assorbimento di azoto nel grano (*Triticum aestivum* L.) e colza (Cavolo cappuccio L.) attraverso l'azione di fattori estraibili dall'acqua. *Bioresource Technology*. 2003;90(2):127-132

Khalid, K. A., Hendawy, S. F., e El-Gezawy, E., (2006). *Ocimum basilicum* L. production under organic farming. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2(1), 25–32.

Leauthaud, C., Ameer, F., Richa, A., Yahmed, J. B., Tadjer, N., Bakouchi, S., Akakpo, K., Djezzar, M., e Amichi, H., (2022). Production and use of homemade dry manure-based tea in fertigation systems in North Africa. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 37(3), 248–256.

Lee, S., e Lee, J., (2015). Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae*, 195, 206–215.

Legge 221/2015 del 28 dicembre 2015 e DM 266/2016 del 29 Dicembre 2016 “Criteri operativi e le procedure autorizzative semplificate per il compostaggio di comunità di rifiuti organici”.

Leonardi, C., e Martorana, M., (2005). Stress osmotico e pomodoro in coltura protetta: Risposta funzionale e strategie di intervento. *Italus Hortus*, 12(1), 42–56.

Litterick, A., Wood, M., (2009). L'uso di compost ed estratti di compost nel controllo delle malattie delle piante. In *Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches*; Walters, D., Ed.; Wiley-Blackwell: Oxford, UK, 2009; pp. 93–121

Lommen, W.J.M., (2007), Il canone della scienza della patata: 27. *Hydroponics Potato Res.*, 50 (2007), pp. 3 - 4

Macwan, J., Pandya, D., Pandya, H., e Mankad, A., (2020). Review on soilless method of cultivation: Hydroponics. *Int. J. Recent Sci. Res*, 11, 37122–37127.

Maharana, L., Koul, DN., (2011). L'emergere dell'idroponica. *Yojana*. 2011, 39–40.

Marengo, R.A., Antezana-Vera, S.A., Nascimento, H.C.S., (2009). Relazione tra area fogliare specifica, spessore fogliare, contenuto di acqua fogliare e letture SPAD-502 in sei specie di alberi amazzonici. *Photosynthetica* 47: 184–190

Marín, F., Santos, M., Dianez, F., Carretero, F., Gea, F. J., Yau, J., e Navarro, M. J., (2013). Characters of compost teas from different sources and their suppressive effect on fungal phytopathogens. *World journal of microbiology & biotechnology*, 29. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1300-x>

Martin, C.C.G., e Brathwaite, R.A.I., (2012). Compost e tè di post-vendita: principi e prospettive come substrati e strategie di gestione delle malattie del suolo nella produzione di ortaggi senza suolo. *Agricoltura biologica e orticoltura* 28, 1-33.

Matouk, A., EL-Hadidi, Y., Tharwat, A., e Khafagy, S., (2017). Production of Compost Tea from Farm Wastes. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8(7), 323–329.

Mostafa, M.F.M., El-Baz, E., El-Wahab, A.; Omar, A.S., (2011). Utilizzo di diverse fonti di tè di compost sull'uva. *J. Plant Prod.* 2011, 2, 935–947.

Naidu, Y., Meon, S., Siddiqui, Y., (2013). L'applicazione fogliare di tè di compost arricchito con Naidu, Y.; Meon, S.; Kadir, J.; Siddiqui, Y., (2010). Avviatore microbico per il potenziamento dell'attività biologica del tè di compost. *Int. J. Agric. Biol.* 2010, 12, 51–56.

Nijjar, G.S., (1985). Nutrizione degli alberi da frutto. (Ed.) Sig.ra Usha Raj Kumar, Kalyani, Nuova Delhi, India. Pp. 53-78

Nobile, R., e Coventry, E., (2005). Soppressione delle malattie delle piante trasmesse dal suolo con compost: una revisione. *Biocontrollo Sci. Tecnologia*, 15 (2005), pp. 3 - 20

Nofal, A. M., Abd El-Rahman, M., Alharbi, A., and Abdelghany, T. M. (2021). "Ecofriendly method for suppressing damping-off disease caused by *Rhizoctonia solani* using compost tea," *BioResources* 16(3), 6378-6391.

Ntougias, S., Ehaliotis, C., Papadopoulou, K. K., e Zervakis, G., (2006). Application of respiration and FDA hydrolysis measurements for estimating microbial activity during composting processes. *Biology and Fertility of Soils*, 42(4), 330–337. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0031-z>

Palese, A. M., Pane, C., Quinto, G. A., Villecco, D., Zaccardelli, M., Celano, G., (2012). Caratterizzazione di tea-compost ottenuti con differenti additivi. *Acta Italus Hortus* 5, 139-142

Pane, C., Celano, G., Villecco, D., e Zaccardelli, M., (2012). Controllo di *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* e *Pyrenochaeta lycopersici* su pomodoro con applicazioni di compost-tea di siero di latte. *Crop Protection*, 38, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.012>

Pane, C., Palese, A. M., Celano, G. e Zaccardelli, M., (2014). Effects of compost tea treatments on productivity of lettuce and kohlrabi systems under organic cropping management. *Italian Journal of Agronomy*, 9(3), Articolo 3. <https://doi.org/10.4081/ija.2014.596>

Pane, C., Palese, A.M., Spaccini, R., Piccolo, A., Celano, G., Zaccardelli, M., (2016). Migliorare la sostenibilità di un sistema di coltivazione di pomodori da industria mediante l'uso di tè di compost bioattivi. *Scientia Horticulturae*. 2016; 202: 117-124. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.02.034

Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Scala, F., Bonanomi, G., (2011). Gli emendamenti del compost migliorano la capacità di soppressione della torba nei confronti di *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia minor*. *Controllo biologico*, 56 (2011), pp. 115 – 124

Pane, C., Villecco, D., Zaccardelli, M., Ronga, D., Celano, G., (2012). Il compost-tea su pomodoro dà più resa e migliore qualità. *L'Informatore Agrario*, 7 (2012), p. 43

Pant, A.P., Radovich, T.J.K., Hue, N.V., Talcott, S.T., Krenek, K.A., (2009). Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi

(*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertiliser. *J. Sci. Food Agri.* 89, 2383–2392.

Park, D.P.; Davis, K.; Gilani, S.; Alonzo, C.A.; Dobrynin, D.; Friedman, G.; Fridman, A.; Rabinovich, A., (2013). Le specie reattive dell'azoto prodotte in acqua dal plasma non in equilibrio aumentano il tasso di crescita delle piante e la resa nutrizionale. *Curr. Appl. Phys.* 2013, 13, S19–S29.

Pilla, N., Tranchida-Lombardo, V., Gabrielli, P., Aguzzi, A., Caputo, M., Lucarini, M., Durazzo, A., e Zaccardelli, M., (2023). Effect of compost tea in horticulture. *Horticulturae*, 9(9), 984.

Postma, J., Van Os, E.A., Kritzman, G., (1999). Prevention of root diseases in closed soilless growing systems by microbial optimization. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*, 64(3b): 431-440

Ravindran, R., Sarangapani, C., Jaiswal, S., Lu, P., Cullen, P. J., Bourke, P., e Jaiswal, A. K., (2019). Improving enzymatic hydrolysis of brewer spent grain with nonthermal plasma. *Bioresource technology*, 282, 520–524.

Reeve, J.R., Carpenter-Boggs, L., Reganold, J.P., York, A.L., Brinton, W.F., (2010). Influence of biodynamic preparations on composts development and resultant compost extracts on wheatseedling growth. *Biores- technol- 101*: 5658-5666.

Remedios Morales-Corts, M., Pérez-Sánchez, R., Ángeles Gómez-Sánchez, M., Marcelo Gonçalves de Oliveira, C., (2017). Efficienza dei tè di compost dei rifiuti del giardino sulla crescita del pomodoro e la sua. *Scienza Agricola*. 2017;75(5):400-409. DOI: 10.1590/1678-992X-2016-0439

Resh, H.M., (2012). *Produzione alimentare idroponica: una guida definitiva per il giardiniere domestico avanzato e il coltivatore idroponico commerciale*, 7a ed.; CRC Press: Boca Raton, Florida, Stati Uniti; ISBN 9781439878675

Runia, W., (1998) - Recirculatiewater verhitten met lagere temperatuur. *Groenten e Fruit (Glasgroenten)*, no. 29, 6-7

Runia, W.Th., Amsing, J.J., (2000) - Selectieve verhitting recirculatiewater bespaart energie. *Groenten e Fruit (Glasgroenten)*, no. 25, 34-35

Ryan, J.A., e Chaney, R., (1994). Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW-composts: Research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc.

Sanwal, S.K.; Yadav, R.K.; Singh, P.K., (2007). Effetto del letame organico sulla crescita, sulla resa e sui parametri di qualità dello zenzero (*Zingiber Officinale*). *Indian J. Agric. Sci.* 2007, 77, 67–72

Sarangapani, C., Patange, A., Bourke, P., Keener, K., e Cullen, P. J., (2018). Recent Advances in the Application of Cold Plasma Technology in Foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9(1), 609–629. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012517>

Sardare, M.D., e Admane, S.V., (2013). A review on plant without soil-hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(3), 299–304.

Savarese, C.; Cozzolino, V.; Verrillo, M.; Vinci, G.; De Martino, A.; Scopa, A.; Piccolo, A., (2022). La combinazione di biostimolanti umici con un inoculo microbico migliora la produttività della lattuga, l'assorbimento dei nutrienti e il metabolismo primario e secondario. *Terreno vegetale* 2022,481, 285–314.

Scheuerell, S.J., Mahaffee, W.F., (2002). Tè di compost: principi e prospettive per il controllo delle malattie delle piante. *Compost Sci. Util.*, 10 (2002), pp. 313 – 338

Scheuerell, S.J., Mahaffee, W.F., (2006). Variabilità associata alla soppressione della muffa grigia (*Botrytis cinerea*) su Geranio mediante applicazioni fogliari di tè di compost non aerati e aerati. *Pianta Dis.*, 90 (2006), pp. 1201 – 1208

Scheuerell, S.J.; Mahaffee, W.F., (2004). Il tè di compost come substrato di irrigazione per contenitori per sopprimere lo smorzamento delle piantine causato da *Pythium ultimum*, *Phytopathology*. (2004), 94, 1156–1163.

Scheuerell, S.J., (2003). Comprendere come il tè di compost può controllare la malattia. *BioCycle*44(2)20-25

Schnitzler, W. H., (2005). La prevenzione delle malattie nelle colture fuori suolo. *Italus Hortus*, 12(1), 33–42.

Shaban, H., Fazeli-Nasab, B., Alahyari, H., Alizadeh, G., e Shahpesandi, S., (2015). An Overview of the Benefits of Compost tea on Plant and Soil Structure. *Advances in Bioresearch*, 6(1).

[https://www.academia.edu/download/78883182/An\\_Overview\\_of\\_the\\_Benefits\\_of\\_Compost\\_t20220116-20136-ucxfgz.pdf](https://www.academia.edu/download/78883182/An_Overview_of_the_Benefits_of_Compost_t20220116-20136-ucxfgz.pdf)

Shamshiri, R. R., Jones, J.W., Thorp, K.R., Ahmad, D., Man, H.C., e Taheri, S., (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: A review. *International agrophysics*, 32(2), 287–302.

Shao, S., Ye, Z., Sun, J., Liu, C., Yan, J., Liu, T., Li, X., Zhang, H., e Xiao, R., (2022). A review on the application of non-thermal plasma (NTP) in the conversion of biomass: Catalyst preparation, thermal utilization and catalyst regeneration. *Fuel*, 330, 125420. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125420>

Shibaeva, T.G., Mamaev, A.V., e Sherudilo, E.G., (2020). Evaluation of a SPAD-502 Plus Chlorophyll Meter to Estimate Chlorophyll Content in Leaves with Interveinal Chlorosis. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(4), 690–696. <https://doi.org/10.1134/S1021443720040160>

Siddiqui, Y.; Sariah, M.; Ismail, M.R.; Asgar, A., (2008). Estratti di compost fortificati con *Trichoderma* per il controllo del marciume umido di *Choanephora* nella produzione di okra. *Crop Prot.* 2008, 27, 385–390.

Singh, P. e Legese, B., (2022). I nutrienti minerali essenziali per la crescita delle piante: Funzioni dei nutrienti e sintomi di carenza. Dipartimento di Gestione delle Risorse Naturali, Collegio di Scienze Agrarie, Università di Bule Hora, Etiopia

Son, J. E., Kim, H. J., e Ahn, T. I., (2020). Chapter 20—Hydroponic systems. In T. Kozai, G. Niu, & M. Takagaki (A c. Di), *Plant Factory (Second Edition)* (pp. 273–283). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0>

St. Martin, C.C.G., (2014). Potenziale del tè di compost per la soppressione delle malattie delle Surowsky, B., Schlüter, O., e Knorr, D., (2015). Interactions of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma with Solid and Liquid Food Systems: A Review. *Food Engineering Reviews*, 7(2), 82–108. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9088-5>

Szekely, I., e Jijakli, M.H., (2022). Bioponics as a promising approach to sustainable agriculture: A review of the main methods for producing organic nutrient solution for hydroponics. *Water*, 14(23), 3975.

**Tarek** M. Younis, Doaa AM Gad, Fatma S. Moursy, Ihab I. Sadek e Muhammad Jamil<sup>3</sup>. (2023). Risposta delle piante di lattuga (*Lactuca sativa* L.) alla sostituzione dei fertilizzanti minerali con il tè di compost. *Indus Journal of Bioscience Research*, 1 (01), 8–14.

Trankner, A., (1992). Utilizzo di rifiuti organici agricoli e urbani per sviluppare la repressione dei patogeni delle piante. ES Tjamos, GC Papavizas, RJ Cook (a cura di), *Controllo biologico delle malattie delle piante*, Plenum Press, New York (NY) (1992), pp. 35 - 42

Treftz, C., e Omaye, S.T., (2016). Idroponica: Potenziale per aumentare la produzione alimentare sostenibile nelle regioni non coltivabili. *Nutrition and Food Science*, 46:676-684.

Valdrighi, M.M., Pera, A., Agnolucci, M., Frassinetti, S., Lunardi, D., Vallini, G., (1996). Effetti degli acidi umici derivati dal compost sulla produzione di biomassa vegetale e sulla crescita microbica all'interno di una pianta (*Cicoria intybus*) - sistema suolo: uno studio comparativo. *Agricoltura, ecosistemi e ambiente*. 58(2-3): 133-144. Disponibile da: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167880996010316>

Van Os, E. A., Wohanka, W., Bruins, M. A., e Seidel, R., (2003). Disinfezione delle soluzioni nutritive in sistemi fuori suolo a ciclo chiuso. *Informatore Fitopatologico*, 53(3), 30–34.

Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., e Sosa-Savedra, J. C., (2022). A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations. *Agriculture*, 12(5), 646.

Villar, I., Alves, D., Garrido, J., e Mato, S., (2016). Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste. *Waste Management*, 54, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.011>

Waliczek, T.M., e Wagner, N.C., (2023). An Investigation of the Impact of Compost Tea Applications on Turf Quality and Soil Microbial Activity. *Journal of Environmental Horticulture*, 41(1), 1–6.

Xu, D.B., QJ Wang, Q.J., Wu, Y.C., Yu, G.H., Shen, Q.R., Huang, Q.W., (2012). Le sostanze simili agli umici provenienti da diversi estratti di compost potrebbero promuovere significativamente la crescita del cetriolo. *Pedosfera*, 22: 815-24, 2012

Zaccardelli, M., Pane, C., (2012). Tè di compost: nuovi biostimolanti e bioagrofarmaci per un'orticoltura sostenibile. *Acta Italus Hortus*, 15: 31-34

Zaccardelli, M., Pane, C., (s.d.). Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Centro di Ricerche per l'Orticoltura di Pontecagnano e Giuseppe Celano Università degli Studi della Basilicata – DICEM, (...?). Manuale tecnico-operativo, "Produzione "on-farm" di compost e tè di compost da residui agricoli.

Zaccardelli, M., Pane, C., Scotti, R., Palese, A.M., Celano, G., (2012). Use of compost-teas as biopesticides and biostimulants in horticulture. *Italus Hortus*, 19: 17-28.

Zaccardelli, M.; Pane, C.; Vилlecco, D.; Palese, AM; Celano, G., (2018). La nebulizzazione di compost tea aumenta la resa del peperone (*Capsicum annuum* L.) coltivato in serra con sistema di agricoltura biologica. *Ital. J. Agron.* 2018, 13, 229–234.

## Sitografia

A.A.V.V., Progetto BIOCOMPOST (CREA e MIPAAF). Produzione aziendale e impiego di tè di compost per la biostimolazione e la difesa in agricoltura. (Finanziamento Misura 124 - PSR 2007-2014 Regione Campania)

Agenzia per la Coesione Territoriale, A.A.V.V. Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. <https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>

Bona S.. Introduzione all'analisi della varianza. ANOVA per statistica applicata (pdf)

Carr R., Rodale Institute, (2020). Tè al composto: una guida pratica. <https://rodaleinstitute.org/it/blog/compost-tea-a-how-to-guide/>

Centro di ricerca e di sviluppo G-Agro, A.A.V.V., Introduzione alla produzione e all'utilizzo dei Tè di compost con il metodo Stimol.

Chimicamo, (2021). Reattivo di Folin-Ciocalteu: determinazione di fenoli e polifenoli. <https://chimicamo.org/chimica-analitica/il-reattivo-di-folin-ciocalteu/>

Dell'Onze F., (2018). Bioponica: quando l'idroponica e il biologico si incontrano. <https://www.aquafarm.show/wp-content/uploads/2018/06/DELLONZE-Francesco.pdf>

Diacono M., Persiani A., Fiore A., Tarricone L., Montemurro F., Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura, (2021). Compost ed estratti per la sostenibilità dei sistemi agricoli.

Fioravanti F., La biolca, (2023). L'impiego del tè di compost in agricoltura. <https://www.labiolca.it/rubriche/agricoltura-biodinamica/limpiego-del-te-di-compost-in-agricoltura/>

Fondazione Idra, A.A.V.V. Più Compost meno Nitrati, manuale per le aziende agricole

Grandi A., Vincent M., Best 4 soil. Compost: Vantaggi e Svantaggi. [https://orgprints.org/id/eprint/43062/12/43062\\_Best4Soil\\_Compost-advantages-disadvantages\\_IT.pdf](https://orgprints.org/id/eprint/43062/12/43062_Best4Soil_Compost-advantages-disadvantages_IT.pdf)

[https://en-m-wikipedia-org.translate.goog/wiki/Dualex?\\_x\\_tr\\_sl=ene\\_x\\_tr\\_tl=ite\\_x\\_tr\\_hl=ite\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://en-m-wikipedia-org.translate.goog/wiki/Dualex?_x_tr_sl=ene_x_tr_tl=ite_x_tr_hl=ite_x_tr_pto=sc)

<https://laboratoriostatistica.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/09/tukey.pdf>

<https://metos.global/it/dualex/>

<https://paolapozzolo.it/deviazione-standard/>

<https://paolapozzolo.it/livello-significativita/>

Metos Global, A.A.V.V. DUALEX – Optical Leafclip Meter

Mori M., (2004). Tecnica della fertilizzazione. (pdf)

Moroni N., Zeolite Italia, (2022). Preparazione, uso e proprietà del Tè di compost: come ottenere un concime biologico a basso prezzo. <https://zeolite-italia.com/preparazione-uso-e-proprietà-del-te-di-compost-come-ottenere-un-concime-biologico-a-basso-prezzo/>

Paziani S., Quantum Design, (2020). Identificazione dei metalli pesanti nella vegetazione con uno spettroradiometro NIR. <https://qd-europe.com/it/it/novita/ultimi-aggiornamenti/newsdetailsit/identificazione-dei-metalli-pesanti-nella-vegetazione-con-uno-spettroradiometro-nir--1630/>

Pozzolo P., (2020). Deviazione standard: definizione e significato.

Pozzolo P., (2021). Livello di significatività statistica: che cos'è?

Redazione Microbiologia Italia, A.A.V.V., (2020). Il “tè di compost” per fornire microrganismi utili alle piante

Veneto agricoltura, A.A.V.V. Il compostaggio: generalità e normativa di riferimento

Wikipedia, A.A.V.V. Il Dualex.

Wordpress, A.A.V.V. Confronti multipli test HSD di Tukey.