



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**EFFETTO DELLA BIOSTIMOLAZIONE SU  
*CRITHMUM MARITIMUM L.* COLTIVATO  
IN DIVERSI AMBIENTI DI CRESCITA**

**Biostimulation effect on *Crithmum maritimum L.*  
cultivated in different growth locations**

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:  
Leonardo Pasqualini

Relatore:  
DOTT. ROBERTO ORSINI

Correlatori:  
DOTT. STEFANO ZENOBI  
DOTT. BIAGIO DI TELLA

ANNO ACCADEMICO 2023-2024



A coloro che credono nella bellezza  
dei propri sogni.

# INDICE

INDICE .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
ELENCO DELLE TABELLE.....	7
ELENCO DELLE FIGURE .....	8
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI .....	10
I Biostimolanti .....	10
Le Alofite.....	11
<i>Crithmum maritimum L.</i> .....	12
Descrizione Morfologica .....	13
Utilizzi nel passato.....	13
Possibili utilizzi.....	14
Medicina .....	14
Industria .....	14
Gastronomia.....	14
Green Roofs .....	15
Agronomia .....	15
Zootecnia .....	16
Progetto "Seafennel4Med" .....	17
Scopo della Tesi.....	17
CAPITOLO 1 MATERIALI E METODI.....	18
1.1 Ambiente controllato .....	18
1.1.1 Raccolta dei semi .....	18
1.1.2 Batterizzazione.....	18
1.1.3 Incubatore .....	19
1.1.4 Serra.....	19
1.2 Pieno campo.....	20
1.2.1 Lavorazioni per la preparazione del terreno .....	20
1.2.2 Pacciamatura.....	20
1.2.3 Trapianto.....	21

1.2.4	Campionamenti.....	21
1.2.5	Apporti idrici.....	21
1.3	Strumenti utilizzati.....	22
1.3.1	Ambiente controllato .....	22
1.3.1.1	Piastra Petri .....	23
1.3.1.2	Incubatore .....	23
1.3.1.3	Spettrofotometro .....	23
1.3.1.4	Scanner per gli apparati radicali .....	23
1.3.1	Pieno campo.....	23
1.3.1.1	Misuratore di clorofilla SPAD-502.....	23
1.3.1.1	Bilancia di precisione.....	24
1.3.1.1	Stufa ventilata .....	24
CAPITOLO 2	DESCRIZIONE DEL SITO .....	25
2.1	Serra .....	25
2.2	Azienda didattico-sperimentale “Pasquale Rosati” .....	25
2.2.1	Descrizione delle parcelle della sperimentazione in pieno campo.....	26
2.2.2	Impianto di irrigazione.....	26
CAPITOLO 3	VARIABILI MISURATE.....	28
3.1	Ambiente controllato .....	28
3.1.1	Biomassa radicale secca.....	28
3.1.2	Lunghezza delle radici .....	28
3.1.3	Diametro delle radici .....	28
3.1.4	Numero delle estremità radicali .....	28
3.2	Pieno campo.....	28
3.2.1	Biomassa epigea secca.....	28
3.2.2	Unità SPAD .....	29
CAPITOLO 4:	ANALISI STATISTICA DELLE VARIABILI.....	30
4.1	Ambiente controllato .....	30
4.2	Pieno campo.....	30
CAPITOLO 5:	RISULTATI.....	31
5.1	Ambiente controllato .....	31
5.1.1	Biomassa radicale secca.....	31
5.1.2	Lunghezza radicale .....	33
5.1.3	Diametro radicale.....	34

5.1.4 Estremità radicali .....	35
5.2 Pieno campo.....	36
5.2.1 Biomassa epigea secca.....	37
5.2.2 Misuratore di clorofilla SPAD .....	38
DISCUSSIONE DEI RISULTATI .....	40
6.1 Ambiente controllato .....	40
6.2 Pieno campo.....	40
CONCLUSIONI .....	41
BIBLIOGRAFIA .....	42

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Popolazioni microbiche delle soluzioni biostimolanti BS1 e BS2 e loro rapporti.....	18
Tabella 4-1: Analisi dei test contenenti varianza degli effetti per le popolazioni e per i biostimolanti sotto ambiente controllato nello stadio fenologico BBCH 15: "cinque foglie vere differenziate".....	30
Tabella 4-2: Analisi dei test contenenti varianza degli effetti per le popolazioni e per i biostimolanti in pieno campo nello stadio fenologico di "abbozzi fiorali visibili".....	30

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Esempio di <i>Crithmum maritimum</i> L.....	13
Figura 1-2-3: Esempio del trapianto di una piantina di <i>Crithmum maritimum</i> L.....	21
Figura 1-2-5: Precipitazioni registrate dal 07/05 al 14/09 2024 nella stazione meteorologica di Agugliano.....	22
Figura 1-3-2-1: Misurazione della clorofilla con SPAD-502.....	24
Figura 2-2-1: Planimetria di <i>Crithmum maritimum</i> L. in pieno campo.....	26
Figura 2-2-2: Impianto di irrigazione presso azienda agraria "Pasquale Rosati".....	27
Figura 5-1-1-1: Grafico dell'unità di biomassa radicale secca delle due popolazioni allo stadio fenologico di "allungamento radicale".....	31
Figura 5-1-1-2: Grafico dell'unità di biomassa radicale secca delle due popolazioni allo stadio fenologico di "tre foglie vere differenziate".....	32
Figura 5-1-1-3: Grafico dell'unità di biomassa radicale secca delle due popolazioni allo stadio fenologico di "cinque foglie vere differenziate".....	32
Figura 5-1-2-1: Grafico della lunghezza radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di "allungamento radicale".....	33
Figura 5-1-2-2: Grafico della lunghezza radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di "cinque foglie vere differenziate".....	33
Figura 5-1-3-1: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di "allungamento radicale".....	34
Figura 5-1-3-2: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di "tre foglie vere differenziate".....	34
Figura 5-1-3-3: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di "cinque foglie vere differenziate".....	35
Figura 5-1-4-1: Grafico delle estremità radicali delle due popolazioni allo stadio fenologico di "tre foglie vere differenziate".....	35
Figura 5-1-4-2: Grafico delle estremità radicali delle due popolazioni allo stadio fenologico di "cinque foglie vere differenziate".....	36

Figura 5-2-1-1: Grafico dell'unità di biomassa epigea secca allo stadio fenologico di "formazione dei nuovi germogli" .....	37
Figura 5-2-1-2: Grafico dell'unità di biomassa epigea secca allo stadio fenologico di "sviluppo della parte vegetativa" .....	37
Figura 5-2-1-3: Grafico dell'unità di biomassa epigea secca allo stadio fenologico di "abbozzi floreali visibili" .....	38
Figura 5-2-2-1: Grafico della misurazione di clorofilla SPAD allo stadio fenologico di "formazione dei nuovi germogli" .....	38
Figura 5-2-2-2: Grafico della misurazione di clorofilla SPAD allo stadio fenologico di "sviluppo della parte vegetativa" .....	39
Figura 5-2-2-3: Grafico della misurazione di clorofilla SPAD allo stadio fenologico di "abbozzi floreali visibili" .....	39

## INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Agricoltura significa letteralmente “coltivare il campo” (dal latino *ager*, *agri*, cioè “campo” e *cultura*, ossia “coltivazione”). Tuttavia, l’agricoltura non si limita a questo. Agricoltura significa arte, precisione, dedizione, passione, intelligenza, coscienza, tradizione e molto altro ancora.

L’agricoltura ha dato modo all’uomo di dominare la natura e lasciarlo libero di esprimersi per creare i paesaggi che danno vita al mondo come oggi lo conosciamo. Il primo passo verso il mondo odierno, infatti, è stato fatto da nomadi che si stazionarono per produrre da sé il loro cibo.

Da quel momento molto è cambiato, ma la connessione tra uomo e natura rimane tutt’ora, così come l’agricoltura. Anche questa, come il mondo, ha subito grandi cambiamenti nel corso del tempo. Doveva tenere il passo dell’evoluzione della tecnologia e dell’uomo. Attualmente ha a disposizione le più innovative macchine operatrici per svolgere qualsiasi tipologia di mansione in poco tempo, dispone di connessioni satellitari, droni e sensori che addirittura possono essere usati da remoto. Il semplice e puro concetto di agricoltura come azione di coltivare il campo è svanito, per dare vita ad una sua nuova visione, decisamente più innovativa.

### - *I Biostimolanti*

Rimanendo su quest’ottica, una delle innovazioni che si sta facendo spazio per entrare a far parte del mondo agronomico è l’uso di biostimolanti. È da circa tre decenni che si sta sensibilizzando il campo agronomico affinché venga ridotto il suo impatto ambientale. La FAO ha dichiarato che la filiera alimentare, dalla produzione della materia prima alla sua trasformazione, incide per 1/3 dell’inquinamento totale prodotto dalle attività antropiche (FAO, 2023). Per ottenere un’agricoltura effettivamente più sostenibile bisognerebbe diminuire in maniera consistente l’utilizzo di prodotti sintetici, che causano inquinamento dei suoli, delle falde e dei fiumi. Spingere su soluzioni alternative, funzionanti ed idonee porterà effettivamente ad un minor impatto sull’ambiente. Utilizzare biostimolanti può essere la risposta concreta o una delle giuste vie da percorrere perlomeno. Dal 2009 al 2019 sono stati pubblicati ben più di 700 articoli che dimostrano che i biostimolanti microbici sono capaci di

interagire positivamente con la morfologia, l'anatomia, la biochimica, la fisiologia e persino le risposte molecolari delle piante (Haplern et al., 2015; Nardi et al., 2016; De Pascale et al., 2017)

Approfondendo, sono molti i campi che vengono influenzati dalla loro attività. Tra questi, l'aumento della fioritura, dello sviluppo delle piante, della produttività, della tolleranza agli stress abiotici e l'efficienza d'uso dei nutrienti (NUE -> nutrient use efficiency) (Colla e Rouphael, 2017; Mandal et al., 2022; Basu et al., 2021).

I biostimolanti sono microrganismi che esistono già in natura, ma in questo caso vengono coltivati in laboratorio per essere aggiunti come agenti ausiliari in particolari periodi del ciclo biologico delle colture (V. Maignan et al., 2020).

La sostituzione dei prodotti chimici con agenti microbici biostimolanti ha il doppio vantaggio di diminuire l'impatto ambientale e migliorare le caratteristiche dei suoli. Diffondendo l'uso dei biostimolanti si aumenterà indirettamente la popolazione microbica del terreno, che quindi conterrà ad una maggiore biodiversità del suolo, con conseguente aumento della sostanza organica disponibile. Questa migliora le caratteristiche fisiche del suolo e l'assorbimento di nutrienti da parte delle piante. Ciò, ovviamente, comporta che siano seguite tecniche agronomiche adeguate alla sua conservazione e i risultati si avranno solamente nel lungo periodo (Scavo et al., 2022).

#### - *Le Alofite*

Tuttavia, le buone pratiche agronomiche vengono eseguite da pochi tecnici aggiornati poiché dagli anni 50 del secolo scorso fino ad ora, in realtà, l'agricoltura ha riscontrato una perdita esponenziale della biodiversità. Ne deriva un'enorme semplificazione del suolo, il cui peggior effetto è probabilmente la salinizzazione. Si tratta di un'avversità che si riscontra globalmente, tant'è che più di un terzo delle terre irrigate nel mondo sono soggette da questo fenomeno (FAO, 2011) e i restanti due terzi sono comunque considerati come possibili zone a rischio a causa del clima arido-semiarido presente e crescente, ma anche a causa di suoli poco drenanti e poco profondi, risultato, appunto, di tecniche agronomiche sbagliate (A. Hassani et al., 2021).

La maggior parte delle colture che forniscono un apporto calorico nell'alimentazione umana (grano, riso, mais, ecc) sono dette glicofite (da "*glykys*" ossia dolce e "*phyta*" ossia pianta), ossia non riescono a completare il proprio ciclo vitale in presenza di sale (NaCl) pari o superiore a 200 mM (Chunzhao et al., 2020). Questo perché la salinizzazione, pur essendo un processo naturale di deposizione e accumulo del sale nel suolo, provoca una riduzione della produttività delle piante.

Proprio perché le alofite riescono a tollerare una concentrazione maggiore in NaCl rispetto alle altre, il mondo agronomico è interessato alla loro coltivazione. Già dall'etimologia della parola alofita (“*halo*”= sale e “*phyta*”= pianta) scopriamo che si tratta di piante che possono dare una concreta risposta al problema. Le alofite non sono solo tolleranti, ma hanno proprio necessità del sale per riuscire a completare il loro ciclo biologico: necessitano, in particolare, di concentrazioni superiori all'1,2% di NaCl nel suolo per sostentare. Inutile dire che tutte le altre piante soffrirebbero tale presenza e concentrazione.

Sostanzialmente le alofite sono piante che hanno adattato i propri caratteri morfo-fisiologici per riuscire a vivere e svilupparsi in ambienti alcalini, salini e persino aridi. Hanno un potenziale di ritenzione dell'acqua molto basso, ciò significa che riescono ad assorbirla nonostante la ridotta concentrazione. Questo le rende perfette per una colonizzazione di ambienti in via di desertificazione.

Le alofite si relazionano al cloruro di sodio in maniera differente. Ci sono alcuni gruppi che riescono a vivere nonostante la sua presenza, ma non lo assorbono perché bloccano ogni tentativo di entrata vascolare (genere *Artemisia*). Altri gruppi che accumulano il sale nei propri vacuoli cellulari (alcune specie dei generi *Crithmum* e *Chenopodiaceae*). Altri espellono il sale da particolari ghiandole secretrici (generi *Limonium* e *Mangrovie*).

- *Crithmum maritimum* L.

La seguente tesi riguarda proprio il genere *Crithmum*, in particolare la specie *Crithmum maritimum* L.. Questa specie, anche conosciuta come “finocchio marino”, si trova diffusa ampiamente nel bacino del Mediterraneo, in dettaglio nelle zone costiere di Italia, Spagna, Croazia, Portogallo, Grecia e Turchia, ma è stato anche riscontrato nella Britannia francese, in Irlanda, Galles ed Inghilterra (Renna et al., 2020).

La classificazione tassonomica della specie risulta la seguente:

Regno: *Plantae*

Sottoregno: *Tracheobionta*

Supervisione: *Spermatophyta*

Divisione: *Magnoliophyta*

Classe: *Magnoliopsida*

Sottoclasse: *Rosidea*

Ordine: *Apiales*

Famiglia: *Apiaceae*

Genere: *Crithmum*

Specie: *Crithmum maritimum*



**Figura 1-1: Esempio di *Crithmum maritimum* L.**

“*Crithmum maritimum*” significa letteralmente “orzo di mare”, data la somiglianza dei suoi semi con quelli dell’orzo (*Hordeum vulgare*). Attualmente invece il nome italiano è finocchio marino per via della somiglianza della sua infiorescenza con il finocchio (*Foeniculum vulgare*).

- *Descrizione morfologica*

Si tratta di una pianta alofita, erbacea e perenne. Può arrivare a circa 50 cm di altezza, è fortemente ramificata e con radici robuste. Le foglie sono composte (apice con tre foglioline), lanceolate e succulente, dotate di cuticola esterna. La lunghezza delle foglioline è di circa 2-5 cm, mentre la larghezza è di circa 5-6 mm. La fioritura avviene tra giugno e settembre ed è fortemente condizionata dal clima. Sboccia verso l’alto grazie ad uno stelo che può raggiungere i 30 cm e terminalmente presenta un’infiorescenza ad ombrello. I fiori sono di colore bianco o giallo e producono frutti indeiscenti ovali molto piccoli. La loro lunghezza è di circa 5-6 mm e la loro larghezza è di circa 1,5-2,5 mm (Franke, 1982).

- *Utilizzi nel passato*

La specie è conosciuta da secoli: sono stati trovati nei diari di viaggio di marinai inglesi in cui è riportato che venivano consumati sia freschi sia sotto aceto, in modo da mantenerne lo stato conservativo durante le lunghe traversate dei mari, e venivano usati come anti-scorbutico (Cunsolo et al., 1993). Il suo raggio di azione si muoveva soprattutto nel campo medico, poiché nella penisola italiana veniva, invece, usato per guarire infiammazioni, problematiche renali,

urinarie, alla prostata e coliche se usati i germogli freschi. Se, invece, era utilizzato come infuso contrastava le malattie all'apparato digerente (Franke, 1982; Cunsolo, 1993).

- *Possibili utilizzi*

• *Medicina*

Le foglioline contengono numerose sostanze aromatiche, tra le quali carotenoidi e flavonoidi, ma anche grandi quantità di vitamina C, potenti antiossidanti e sostanze antimicrobiche. Il finocchio marino è molto duttile e le sue proprietà possono essere sfruttate in numerosi campi d'azione. Non vanno trascurati gli oli essenziali estraibili: questi, infatti, contengono i gruppi Omega-3 ed Omega-6, sostanze vasodilatatori che ostacolano lo sviluppo di malattie cardiovascolari. Tra gli oli essenziali troviamo anche sostanze capaci di inibire l'enzima acetilcolinesterasi (AChE), enzima attivo negli stadi di sviluppo dell'Alzheimer (Mekinic et al., 2016).

• *Industria*

*Crithmum maritimum* L. ha trovato spazio anche in ambito industriale, seppur marginalmente. Tutt'ora l'effettivo utilizzo dell'alofita in tale campo è molto limitato; probabilmente per via di una carenza di informazioni a riguardo, soprattutto dal punto di vista agronomico.

Tuttavia, possono venire utilizzati i suoi oli essenziali in campo cosmetico-farmaceutico. I principali estratti degli oli sono il Sabinene, l'Y-Terpiene, il Metil Timolo, il Terpinene 4-ol ed il Limonene. Corrispondono ad un'alternativa naturale dei prodotti sintetici anti-invecchiamento cellulare ed antirughe (Ben Amor et al., 2005; Grigoriadou et al., 2008).

L'industria vede questa specie protagonista persino nella gastronomia: in particolare, è in grado di neutralizzare i radicali liberi, perciò funge da conservante naturale. Questo perché contiene molte molecole antiossidanti, la cui principale, assieme ad altri composti fenolici, è l'acido clorogenico (Ramos et al., 2023).

• *Gastronomia*

Il finocchio marino è stato definito dal Ministero Italiano per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali un prodotto agroalimentare tradizionale (Renna, 2018). Al palato assume sapidità e un retrogusto pungente, con note di finocchio, sedano e bucce di agrumi verdi (Renna et al., 2020). Può essere consumato come prodotto fresco, simile ad una verdura commestibile, come sottaceto e potrebbe anche essere utilizzato come spezia se essiccato (Renna et al., 2020). Il piatto più rappresentativo è certamente il condimento di insalate, piatti

di carne e di pesce, ma è valido persino per infusi, ottenuti da foglie e fiori o come alternativa al basilico per il pesto.

- *Green roofs*

*Crithmum maritimum* L. ha persino uno scopo urbano: la bioedilizia. Recenti studi sulla sostenibilità ambientale hanno garantito un miglioramento dei centri urbani quando questi presentavano degli spazi verdi. Bisogna ammettere, però, che giardini privati e parchi comunali non bastano per azzerare il grande inquinamento delle città. Dunque, un piccolo ma utile contributo può essere fornito dai tetti verdi (o green roofs) (A. N. Martini et al., 2022).

Alcuni esperimenti hanno condotto a risultati promettenti: le piante di finocchio marino hanno accumulato nei loro tessuti fogliari metalli pesanti quali rame (Cu), nichel (Ni) e ferro (Fe), mentre le radici hanno accumulato il piombo (Pb) (A. N. Martini et al., 2022).

Dal momento che la gestione dei tetti verdi prevede l'irrigazione ripetuta e, in base al clima arido, anche cospicua, la progettazione dei tetti verdi nelle zone urbane ha ricevuto molte critiche. In questo senso, però, il finocchio marino riesce ad adattarsi e operare nel verso giusto, in quanto già in natura sostiene in luoghi aridi e ad elevata radiazione solare, con poca sostanza organica, in suoli poco profondi e, dunque, limitata disponibilità di acqua (Azeñas et al., 2019).

Oltre che funzionali, i tetti verdi presentano svariati vantaggi: possono migliorare la gestione dell'acqua meteorica, aumentano il risparmio energetico, la longevità delle membrane dei tetti, la biodiversità urbana, sequestrano il carbonio, svolgono fioriture che richiamano la fauna entomofila e riducono l'inquinamento sonoro e atmosferico (Fioretti et al., 2010; Sailor et al., 2008; Santamouris et al., 2007; Takebayashi et al., 2007; Kosareo et al., 2007; Clark et al., 2008; Veisten et al., 2012; Whittinghill et al., 2014).

Sotto questi punti di vista, *Crithmum maritimum* L. si trova ad essere uno dei migliori candidati per i tetti verdi nelle città dell'ambiente Mediterraneo.

- *Agronomia*

Come detto precedentemente, il finocchio di mare è un'alofita, per cui presente in maniera selvatica nelle zone costiere del Mediterraneo, perciò in ambienti con aerosol marino, suoli ricchi di sale e poveri sia di acqua sia di nutrienti. Inserirlo in un contesto agronomico può sembrare difficoltoso dal momento che necessita di condizioni di crescita specifiche.

Considerando le potenzialità e le proprietà della specie sta aumentando notevolmente l'interesse per una sua possibile coltivazione in campo. Attualmente la letteratura non fornisce le informazioni adeguate ad un protocollo di coltivazione idoneo, dettagliato, funzionale e produttivo per la messa in pieno campo del finocchio marino. Al momento le ricerche si

concentrano, perlopiù, sulle proprietà e i suoi possibili utilizzi, la tolleranza a stress idrici e stress salini.

Con queste attitudini naturali, *Crithmum maritimum* L. è una potenziale specie che può lottare contro la desertificazione e salinizzazione dei suoli sia nei luoghi marginali sia in luoghi a rischio. Le alofite riescono ad assorbire i nutrienti nonostante la presenza di NaCl nel terreno. L'assorbimento del sale da parte della pianta è selettivo, dunque le fasi di sviluppo o le fasi del ciclo biologico non sono condizionate in maniera eccessivamente negativa grazie alla presenza di particolari enzimi radicali (superossido dismutasi, catalasi e perossidasi) che limitano i processi stress-ossidativi. L'efficienza di questi enzimi si riduce con l'aumentare della concentrazione salina, ma, nel complesso, la pianta è ancora attiva e funzionante (L. Gil et al., 2018).

Il finocchio marino, così come molte alofite, riesce a sostenere ed ottenere acqua dal terreno nonostante questa sia poco presente nel suolo e nonostante l'acqua si trovi in soluzione con molto sale. Lo studio del 2019 condotto da Azeñas dimostra l'incredibile tolleranza di *Crithmum maritimum* L. agli stress idrici. Ciò riporta alla morfologia e alla fisiologia della specie: si tratta di una pianta dalle foglie piccole, succulente e contornate da uno spesso strato di cuticola. Queste caratteristiche fanno diminuire notevolmente l'evapotraspirazione, la quale è già naturalmente ridotta per via dell'alta concentrazione di soluti all'interno dei vacuoli delle foglie (Azeñas et al., 2019; Benvenuti, 2010; Blanusa et al., 2013).

Le capacità di adattamento del finocchio marino sono notevoli anche in suoli inquinati e con metalli pesanti. La fisiologia, la fisionomia e la biochimica dell'alofta contribuiscono e collaborano al suo funzionamento e al suo adattamento in ambienti limitanti ed estremi, in cui molte altre piante non riuscirebbero a sostenere.

Tutto considerato, il finocchio marino è una specie incredibilmente interessante dal punto di vista agronomico. Può ripopolare luoghi che hanno perso la coltivabilità a causa di salinizzazione, desertificazione, inquinamento, erosione idrica o eolica.

#### • Zootecnia

L'adattamento in ambienti marginali apre un'opportunità al finocchio marino persino ai pascoli, in cui può essere sfruttato come mangime da foraggio per la consumazione zootecnica. Molte delle colture che vengono solitamente fornite agli animali da allevamento non sono in grado di crescere e vivere in ambienti montani. Questo perché si tratta di un habitat in cui solitamente avviene erosione, sia idrica sia eolica, per cui i suoli sono poveri e poco sviluppati. Anche ambienti come questi sono colonizzabili dalle alofite e, quindi, anche da *Crithmum*

*maritimum L.*, seppure siano luoghi completamente diversi e distanti da quello in cui si trovano naturalmente.

A livello di funzionalità nel campo foraggero, il finocchio marino ha sicuramente valore nutrizionale ed integra la tradizionale dieta dei pascoli. Ciononostante, a lungo andare e con quantità ingenti di foraggio di origine alofita, il bestiame potrebbe avere problemi di salute poiché la quantità di sale all'interno del foraggio diventa nociva. Il sale in eccesso si accumula soprattutto nei reni, che devono, quindi, lavorare di più per smaltire ed espellere il sale. È richiesto, per cui, maggiore energia ed acqua per il regolare funzionamento dell'apparato renario, che non possono essere fornite dal foraggio derivato dalle alofite (Norman et al., 2013).

- *Progetto europeo “Seafennel4Med”*

Visto l'aumentare delle ricerche e dell'interesse verso l'utilizzo di *Crithmum maritimum L.* nei campi sopra citati, l'Unione Europea ha approvato un progetto che funge da guida per l'integrazione del finocchio marino nelle aziende agricole. Tuttavia, non si occupa solo di questo: il progetto riguarda anche la biodiversità di materie prime producibili. Ciò significa che il finocchio di mare potrà essere una coltura, principale o di rinnovo, affinché le aziende possano agire su più fronti del mercato agricolo.

Il progetto “Seafennel4Med” coinvolge molte istituzioni, tra cui l'Università Politecnica delle Marche ed altre università di diverse nazioni (Francia, Grecia, Croazia e Turchia), che metteranno a disposizione i dati ottenuti per analizzare quale popolazione della specie è quello che si adatta meglio, dunque quello che sarà utilizzato di più in commercio.

- *Scopo della tesi*

La seguente tesi tratta dell'effetto della specie *Crithmum maritimum L.* quando coltivato in diversi ambienti di crescita. È stata svolta una prima sperimentazione nel 2023 in ambiente controllato ed un anno dopo si è ripetuta in pieno campo. Verranno, quindi, analizzati i dati dell'una e della seconda sperimentazione per stimare quale sia la miglior popolazione della specie adattata all'ambiente italiano e la miglior tecnica di coltivazione.

# Capitolo 1

## MATERIALI E METODI

### 1.1 Ambiente controllato

#### 1.1.1 Raccolta dei semi

La raccolta dei semi è avvenuta nell'autunno del 2022, in piena maturazione. Sono state raccolte due popolazioni: l'Atlantica e la Mediterranea. La popolazione atlantica fa riferimento al punto di raccolta di Pointe du Toulinguet, nel versante ovest della Britannia francese; mentre la popolazione mediterranea è stata raccolta nelle coste del Parco Naturale Regionale del Conero, uno dei siti della Rete Natura 2000 situato nella Regione Marche, nell'est del centro Italia (Zenobi et al., 2024).

#### 1.1.2 Batterizzazione

La sperimentazione ha voluto testare *Crithmum maritimum* L. con due tipologie di biostimolanti (BS1 e BS2), date dall'insieme delle popolazioni microbiche alla tabella 1-1.

**Tabella 1-1-2: Popolazioni microbiche delle soluzioni biostimolanti BS1 e BS2 e loro rapporti**

	<b>BS1</b>	<b>Rapporti popolazioni</b>	<b>BS2</b>	<b>Rapporti popolazioni</b>
<i>Riga 1</i>	<i>Azospirillum brasilense</i>	(50%)	<i>Azospirillum brasilense</i>	(25%)
<i>Riga 2</i>	<i>Priestia megaterium</i>	(25%)	<i>Priestia megaterium</i>	(25%)
<i>Riga 3</i>	<i>Niallia circulans</i>	(25%)	<i>Niallia circulans</i>	(25%)
			<i>Azotobacter chroococcum</i>	(25%)

Entrambe le tipologie appena citate (BS1 e BS2) sono state applicate su entrambe le popolazioni di *Crithmum maritimum* L.. Tutte le colonie sono state fatte crescere in un terreno di coltura per 48 ore a 30°C all'interno di un incubatore centrifugo a 150 rpm. Il secondo stadio prevedeva una centrifuga a 4000 rpm per 5 minuti.

Eliminato il materiale in sospensione, le cellule sono state sospese nuovamente in 10 mL di acqua sterilizzata e deionizzata. Tramite spettrofotometro si è potuto registrare la concentrazione delle colonie batteriche, tarandolo a 600 nm. La sopravvivenza delle cellule si è registrata tramite metodo di diffusione su piastra contenente agar e nutrienti.

Infine, sono state create le tipologie di biostimolanti BS1 e BS2, rispettando i rapporti tra le colonie. I semi sono stati posti in piastre Petri pretrattate con 10 mL di etanolo e temperatura ambiente, in modo da aumentare la germinazione dei semi (Corona et al., 2023). Dopo 24 ore, i semi di entrambe le popolazioni (atlantica e mediterranea) sono stati risciacquati con acqua deionizzata sterile e divisi in 3 gruppi. Due di questi furono trattati con entrambe le tipologie di biostimolanti (BS1 e BS2), mentre uno è rimasto da controllo (Abdallah et al., 2021). Il trattamento prevedeva 10 mL di ogni biostimolante e rilascio a temperatura ambiente per 3 ore sotto centrifuga a 100 rpm. Gran parte dell'inoculo è stato rimosso tramite siringa sterile affinché i semi potessero asciugarsi liberamente durante la notte alla temperatura di 30°C. Il giorno seguente i semi sono stati seminati (Zenobi et al., 2024).

#### 1.1.3 Incubatore

È stata prevista poi la semina di 20 semi in piastre Petri. Ogni piastra Petri è stata replicata tre volte per trattamento. Solo una volta avvenuta la germinazione e l'allungamento delle radici, i semi sono stati piantati in serra.

La sperimentazione, per cui, includeva 6 prove, date dalla combinazione tra le due popolazioni (atlantica e mediterranea) di *Crithmum maritimum L.* con le tre tipologie di biostimolazione (controllo, BS1 e BS2) (Zenobi et al., 2024).

#### 1.1.4 Serra

I semi di *Crithmum maritimum L.* sono stati seminati alla terza settimana di gennaio 2023 e posizionati in serra. Questa rendeva possibile mantenere la temperatura media di 20°C durante l'intera stagione invernale.

I semi sono stati posti in una cassetta che ne poteva contenere sessantotto. Le cavità avevano il diametro di 49 mm, l'altezza di 55 mm e lo spessore di 65 mm. Ogni cavità conteneva un substrato di terriccio e torba in rapporto 1:1, con conducibilità elettrica pari a  $0,3 \frac{dS}{m}$ , densità a terreno secco di  $500 \frac{kg}{m^3}$ , pH pari a 6,5 e porosità all'85%  $\frac{V}{V}$ . Utilizzando uno spray manuale, si è distribuito ogni settimana il biostimolante (BS1 e BS2), avente concentrazione di  $8 \times 10^8 \frac{cellule}{mL}$ .

Alla terza settimana di marzo, quando le piante avevano differenziato due foglie vere, sono state trasferite in vasetti biodegradabili dal diametro di 110 mm e dal volume di  $8 \times 10^5 \text{ mm}^3$  (Zenobi et al., 2024).

## 1.2 Pieno campo

### 1.2.1 Lavorazioni per la preparazione del terreno

L'azienda agraria "Pasquale Rosati" ha effettuato una serie di lavorazioni per preparare il terreno al trapianto delle piantine. Il primo passaggio consisteva nell'interramento dei residui colturali e delle erbe infestanti tramite un erpice a dischi. Successivamente è stata svolta una ripuntatura affinché detriti e residui vegetali superficiali potessero essere allontanati; trattandosi di una lavorazione pesante, la ripuntatura ha anche frammentato il terreno più compatto. Infine, l'ultimo passaggio è stato eseguito con una fresatura, che ha reso le parcelle del terreno più minute e rimescolato i primi centimetri del suolo.

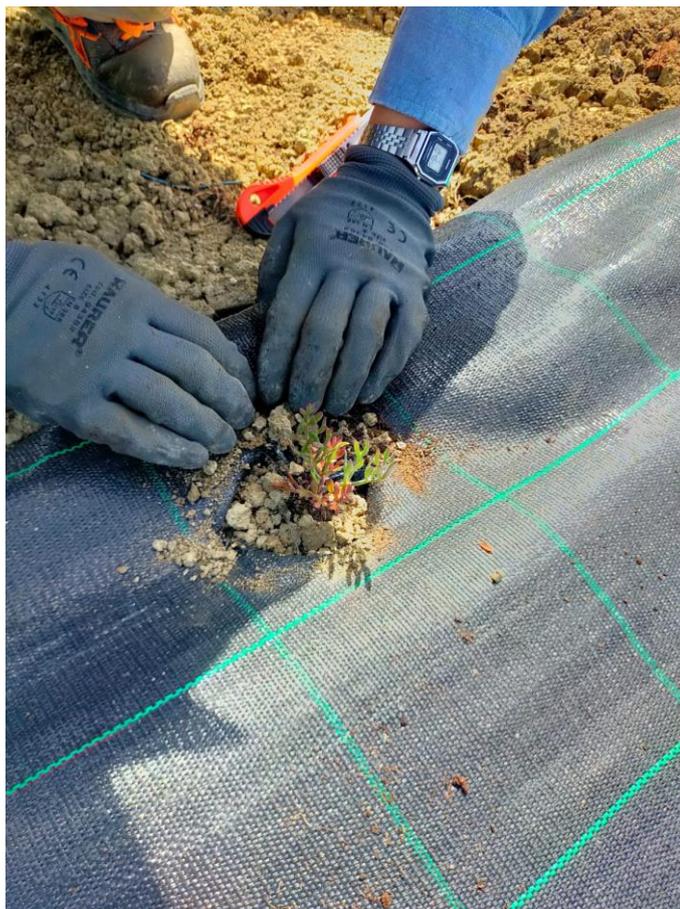
### 1.2.2 Pacciamatura

L'azienda ha provveduto anche alla stesura e sistemazione del telo pacciamante. Questo risultava necessario in quanto il finocchio marino è una pianta di dimensioni ridotte, per cui può soffrire la competizione delle infestanti quando inserita in un ambiente a pieno campo, soprattutto nei primi stadi di sviluppo. La lunghezza del telo era pari a 12 m, mentre la larghezza era pari a 1 m. Ogni telo è stato forato con taglierino, per avere spazi vuoti dal diametro di 11 cm per il successivo trapianto delle piantine.

### 1.2.3 Trapianto

Il trapianto è avvenuto nei primi giorni di maggio ed è stato svolto manualmente. Le piantine sono state poste interamente nei fori creati sul telo pacciamante, lasciando il vaso integro, poiché biodegradabile. Le piantine sono state disposte a quinconce, in modo da avere più spazio possibile per l'espansione sia radicale sia epigea. La densità d'impianto era pari a ( $0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$ ), con 55 piante per parcella (circa 27 per fila). La prova si estendeva in larghezza per 10 m e in lunghezza per 48 m.

Si sono formate così 4 parcelle per blocco, con 3 blocchi e una coppia di file per ogni parcella. Gli ecotipi atlantico e mediterraneo sono stati disposti casualmente tra le parcelle, ma la singola parcella presentava omogeneità di popolazione.



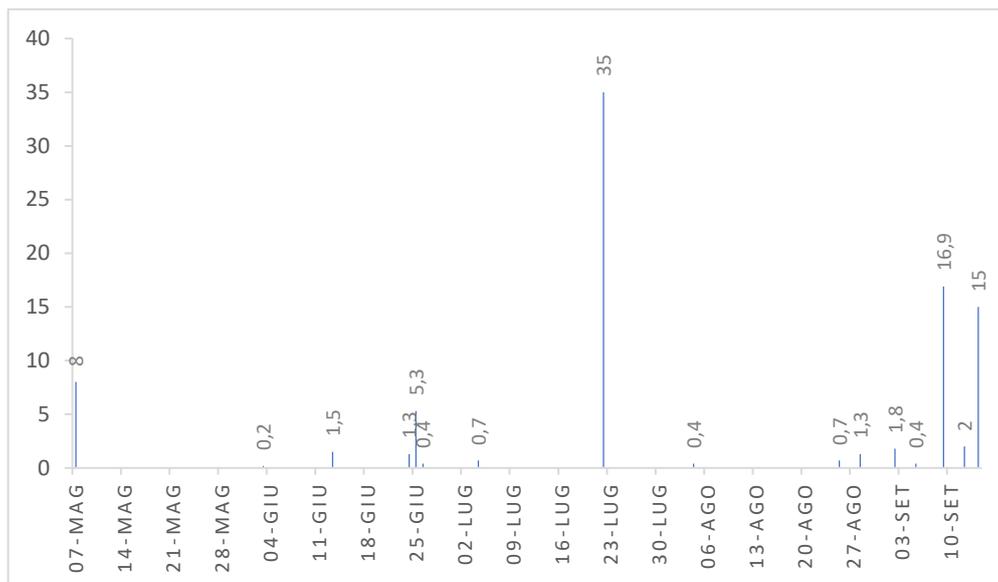
***Figura 1-2-3: Esempio del trapianto di una piantina di *Crithmum maritimum* L.***

#### 1.2.4 Campionamenti

I campionamenti sono stati 3: il primo il 3 giugno (T0), il secondo l'11 luglio (T2) ed il terzo il 31 luglio (T2). Questi prevedevano un test SPAD ripetuto a monte e a valle di ogni parcella sulle piante più rappresentative. Le stesse sono state poi raccolte per essere pesate subito (biomassa epigea fresca) e in post-essiccazione in stufa ventilata (biomassa epigea secca). In corrispondenza dei trattamenti si effettuava anche la fertirrigazione con i biostimolanti.

#### 1.2.5 Apporti idrici

La stazione meteorologica di Agugliano ha registrato livelli di precipitazioni come alla figura 1-2-5.



**Figura 1-2-5: Precipitazioni registrate dal 07/05 al 14/09 2024 nella stazione meteorologica di Agugliano**

A parte poche eccezioni, nel corso di questi 4 mesi le precipitazioni sono state alquanto scarse, con solamente 90,2 mm di pioggia in totale dal 7 maggio al 14 settembre, di cui 66,9 mm in 3 giorni, due dei quali a settembre. Ciò fa intendere quanta poca acqua abbia avuto a disposizione la coltura nel corso della stagione estiva. Si è, per cui, provveduto a numerose irrigazioni di soccorso, da apportare sia alle parcelle in controllo, sia alle parcelle in irriguo.

In dettaglio, venivano forniti ulteriori 10 L di acqua a parcella irrigua e 5 L di acqua a parcella in controllo. In linea, sono state eseguite irrigazioni di soccorso due volte a settimana insieme all'irrigazione delle parcelle in irriguo, a cui sono stati apportati 2 L di acqua dall'impianto di irrigazione.

### 1.3 Strumenti utilizzati

#### 1.3.1 Ambiente controllato

##### 1.3.1.1 Piastra Petri

È un recipiente in vetro o in plastica dalla forma cilindrico usato in laboratorio per osservare, far riprodurre ed eseguire la conta di colonie batteriche. Viene sempre sterilizzata ancor prima di essere riempita con l'agar e il terreno di coltura ed è sempre provvista di un coperchio per impedire la contaminazione di altri batteri, ma permette il passaggio e il ricambio dell'aria. Vengono solitamente messe in stufa, in frigorifero o in un incubatore.

#### 1.3.1.2 *Incubatore*

È una stanza con temperatura ed umidità controllate che crea un ambiente favorevole ed ottimale per la crescita di molti organismi. Viene utilizzato principalmente in ambito microbiologico per la riproduzione e lo sviluppo in condizioni ideali di organismi.

#### 1.3.1.3 *Spettrofotometro*

È in grado di misurare quantitativamente l'assorbanza della luce solare da parte di una sostanza o un oggetto. Il suo funzionamento consiste nell'emettere un'onda luminosa con lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) preimpostata, per poi misurare quanta luce viene assorbita dalla materia in oggetto.

#### 1.3.1.4 *Scanner per apparati radicali*

Catturando immagini scannerizzando il substrato fornitogli. Accompagnato da un elaboratore dei dati, fornisce informazioni in merito agli apparati radicali.

### 1.3.2 *Pieno campo*

#### 1.3.2.1 *Misuratore di clorofilla SPAD-502*

È uno strumento che misura istantaneamente la concentrazione della clorofilla delle foglie o delle parti verdi delle piante. È ritenuta una delle analisi non distruttive per l'ottenimento dei dati sulla salute delle piante. (Soil Plant Analysis Development)

È molto semplice da usare: basta poggiare la foglia su un lembo ed avvicinare l'altro lembo alla foglia. Il secondo lembo ha un sensore che misura indirettamente la concentrazione della clorofilla e si ottiene il valore nello schermo. La lettura è indicizzata e i valori hanno un minimo di 0 ed un massimo di 99,9. Viene usato perché fornisce indirettamente il valore sullo stato nutrizionale della coltura: maggiore è il valore, migliore è lo stato nutrizionale della pianta. Sostanzialmente viene usato per monitorare la quantità di azoto (N) nel terreno e per effettuare decisioni gestionali che evitino il rischio di sottofertilizzazione o elevati costi di superfertilizzazione.



**Figura 1-3-2-1: Misurazione della clorofilla con SPAD-502**

#### 1.3.2.2 Bilancia di precisione

È stata impiegata per ottenere la massa delle porzioni epigee fresche e secche di *Crithmum maritimum L.* La sua sensibilità è al centigrammo ( $\alpha= 0,01$  g) e ciò è risultato essenziale per monitorare il peso durante le prime fasi di sviluppo e per la biomassa epigea secca, avendo valori molto simili tra loro.

Essendo i campioni all'interno di buste di carta, si è provveduto primariamente a pesare le buste da vuote con tre misurazioni; solo successivamente si sono pesate le buste con il campione. Si sono ottenuti, così, pesi lordi e tara, con valori sia freschi sia secchi.

#### 1.3.2.3 Stufa ventilata

Una volta pesata la biomassa epigea fresca, i campioni sono stati posti in stufa a 90°C per 72 ore, sempre all'interno delle buste in carta. Il calore all'interno della stufa ha fatto perdere tutta l'umidità e l'acqua all'interno della biomassa epigea, che quindi ha perso peso.

## Capitolo 2

### DESCRIZIONE DEL SITO

#### 2.1 Serra

Messa a disposizione dall'Università Politecnica delle Marche, la serra presenta un tetto convertibile, il quale ha permesso di mantenere una temperatura stabile di 15°C nel corso di tutta la stagione invernale. Allo stesso tempo ha fornito alle piante la giusta irradiazione solare evitando eventuali scottature nel periodo primaverile/estivo.

#### 2.2 Azienda didattico-sperimentale “Pasquale Rosati”

Il sito sperimentale della prova del 2024 è localizzato nell'azienda universitaria “Pasquale Rosati”, associata all'Università Politecnica delle Marche e situata ad Agugliano (43°32' N, 13°22' E), all'interno della provincia di Ancona.

Si trova ad un'altitudine di 100 m sul livello del mare. Presenta una pendenza del 10% e suolo classificato come vertisol perché limoso-argilloso, con presenza di calcare e profondo circa 1,1 m. È soggetta al clima mediterraneo e raccoglie, in media, 838 mm annui di acqua piovana. Novembre risulta il mese col picco di precipitazioni (media di 93 mm) e luglio il mese più secco (media di 36 mm). La temperatura media è pari a 15,3°C, con agosto il mese più caldo (temperatura media di 25°C) e gennaio il mese più freddo (media di 6,2°C).

L'azienda in questione è sempre stata coinvolta come campo sperimentale dall'università e dal 1994 continua la coltivazione della cosiddetta “Prova Lavorazioni” con cui è partita. Si tratta della rotazione di frumento duro (*Triticum turgidum L.*) con mais (*Zea mays L.*), entrambi sottoposti a diversificata gestione del suolo (lavorato, minima lavorazione e non lavorazione) e di concimazione ( $0 \frac{Kg N}{ha}$ ,  $90 \frac{Kg N}{ha}$  e  $180 \frac{Kg N}{ha}$ ) (Orsini et al., 2019).

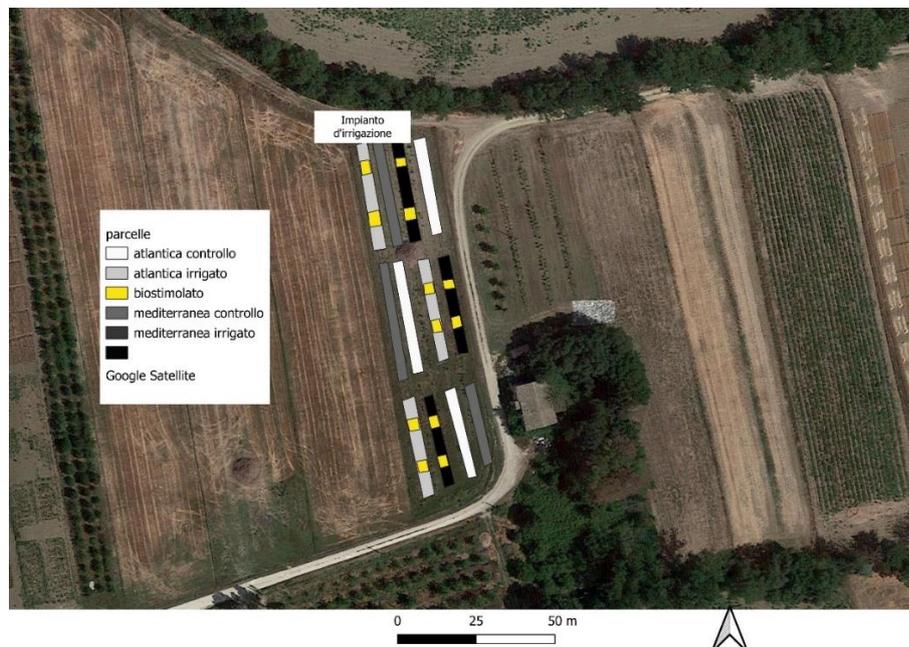
L'azienda agraria universitaria è comprensiva dell'Orto Botanico “Selva di Gallignano” e opera tra colture arboree (vite, olivo, melo, pero, pesco, susino, albicocco, ciliegio, mandorlo, fico, noce e pioppo) e colture erbacee (fragola, frumento duro, frumento tenero, orzo, farro, girasole, mais, sorgo, favino, cece, fagiolo, finocchio marino, erba medica e trifoglio).

Fornisce un centro di conservazione e valutazione del germoplasma marchigiano e partecipa a circa 40-50 progetti di ricerca ogni anno.

### 2.2.1 Descrizione delle parcelle della sperimentazione in pieno campo

Il trapianto delle piante di *Crithmum maritimum* L. presso l'azienda agraria universitaria "Pasquale Rosati" prevedeva la disposizione delle parcelle in tre blocchi: monte (1), centro (2) e valle (3). Ogni blocco era composto da una coppia di entrambi gli ecotipi, disposti in maniera casuale. Per ogni blocco si sono combinate le popolazioni del finocchio marino con i tre trattamenti (controllo, irrigato e biostimolato). La parcella in controllo non subiva alcun trattamento, mentre quella in irriguo è stata irrigata due volte a settimana e disponeva di 8 piante (4 a monte e 4 a valle) rappresentative dei trattamenti con biostimolanti. Ogni parcella era composta da 55 piante posizionate a quinconce all'interno di un telo pacciamante.

Grazie alle funzioni dell'applicazione QGIS, la figura 1-1 ne descrive la planimetria.



**Figura 2-2-1: Planimetria *Crithmum maritimum* L. in pieno campo**

### 2.2.2 Impianto di irrigazione

L'impianto di irrigazione e fertirrigazione fornito dall'azienda agraria universitaria per la sperimentazione del finocchio marino era composto da un'unità di pompaggio ed una di filtrazione, un controller e tubi installati a terra, al di sotto del telo pacciamante. L'acqua veniva diffusa tramite spruzzi a bassa pressione e direttamente accanto agli apparati radicali delle piante (Zenobi et al., 2022).

Tutto il sistema di irrigazione era collegato ad una centralina di programmazione, rendendo le operazioni automatizzabili. Il controller disponeva di sensori che misuravano l'umidità del terreno ad una certa profondità.

Il contenuto di acqua da apportare si è stato calcolato in rapporto al regime pluviometrico monitorato tramite la stazione meteo dell'azienda e all'umidità del terreno, analizzato dai sensori del controller. I tubi presentavano 5 ugelli per metro, con una portata di  $2\frac{L}{h}$  (Zenobi et al., 2022).

Il trattamento con biostimolanti veniva fornito unendo le soluzioni in un innaffiatoio da 12 L e distribuito equamente alle porzioni dedicate. Il biostimolante è stato applicato in tre date: il primo il 3 giugno (T0), il secondo l'11 luglio (T1) ed il terzo il 31 luglio (T2) del 2024.



***Figura 2-2-2: Impianto di irrigazione presso azienda agraria "Pasquale Rosati"***

## Capitolo 3

### VARIABILI MISURATE

#### 3.1 Ambiente controllato

##### 3.1.1 *Biomassa radicale secca*

Si indica il peso (g) della biomassa radicale sottoposta ad essiccazione forzata. Si esegue per notare le differenze tra le popolazioni e le risposte delle popolazioni ai diversi trattamenti.

##### 3.1.2 *Lunghezza delle radici*

Si registra la lunghezza delle radici (cm): si analizza la differenza tra la lunghezza delle radici tra i vari campionamenti e tra le popolazioni.

##### 3.1.3 *Diametro delle radici*

Si registra il diametro delle radici (mm): viene monitorato lo sviluppo radicale, dunque, rilevato un riscontro dell'effettivo beneficio dei biostimolanti.

##### 3.1.4 *Numero delle estremità radicali*

Si fa riferimento agli apici meristematici radicali. In dettaglio vengono contati dallo scanner per verificare la differenza di sviluppo tra i trattamenti e tra le popolazioni.

#### 3.2 Pieno campo

##### 3.2.1 *Biomassa epigea secca*

I tre trattamenti eseguiti prevedevano insieme alla somministrazione di agenti biostimolanti, anche il prelievo di alcune piante, rappresentative della parcella. Queste venivano pesate quando ancora fresche e nuovamente quando essiccate forzatamente.

Analizzare la biomassa epigea secca (g) fa evincere quanto sia performante la popolazione del finocchio marino con il trattamento.

### 3.2.2 *Unità SPAD*

Lo SPAD (Soil Plant Analysis Development) riesce a fornire istantaneamente un valore che indica implicitamente la concentrazione di clorofilla nella foglia della pianta campionata. È usato come metodo non invasivo per monitorare lo stato nutrizionale della pianta. L'obiettivo è ottenere valori maggiori per le piante trattate da biostimolanti, secondariamente quelle irrigate e, infine, quelle non trattate (controllo). Devono essere poi confrontati i risultati tra i due ecotipi delle piante per comprendere quale è più performante.

## CAPITOLO 4

### ANALISI STATISTICA DELLE VARIABILI

#### 4.1 Ambiente controllato

*Tabella 4-1: Analisi dei test contenenti varianza degli effetti per le popolazioni e per i biostimolanti sotto ambiente controllato nella fase fenologica BBCH 15: stadio “cinque foglie vere differenziate”*

	Unità della biomassa radicale secca (g)				Lunghezza radicale (cm)			Diametro radicale (mm)			Estremità radicali (n°)		
	Df	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
<i>P</i>	1	3,72e-07	27,78	***	226,26	55,84	***	0,0012	8,44	**	4,63	1,68	n.s.
<i>BS</i>	2	5,92e-07	44,22	***	94,60	23,35	***	0,0065	44,72	***	58,92	21,43	***
<i>P x BS</i>	2	2,91e-07	21,77	***	2,48	0,61	n.s.	0,0057	39,75	***	28,56	10,38	***
<i>Residui</i>	174	1,33e-08			4,051			0,00014			2,74		

\*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.001, n.s.: non significativo. Lettere diverse nella colonna della media indicano differenza significativa a p<0,05. Le medie sono seguite da valori di deviazione standard.

#### 4.2 Pieno campo

*Tabella 4-2: Analisi dei test contenenti varianza degli effetti per le popolazioni e per i biostimolanti in pieno campo nella fase fenologica di “abbozzi fiorali visibili”*

	Df	Sum Sq	Media Sq	Value	Pr (>F)
<i>Popolazione</i>	1	12,658	12,6577	3,2621	0,7647
<i>Trattamento</i>	2	29,045	14,5226	3,7427	0,03005 *
<i>Popolazione: Trattamento</i>	2	4,201	2,1005	0,54510	0,58510
<i>Residui</i>	54	209,532	3,8802		

Codici di significatività: 0 ‘\*\*\*\*’ 0,001 ‘\*\*\*’ 0,01 ‘\*\*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘.’ 1

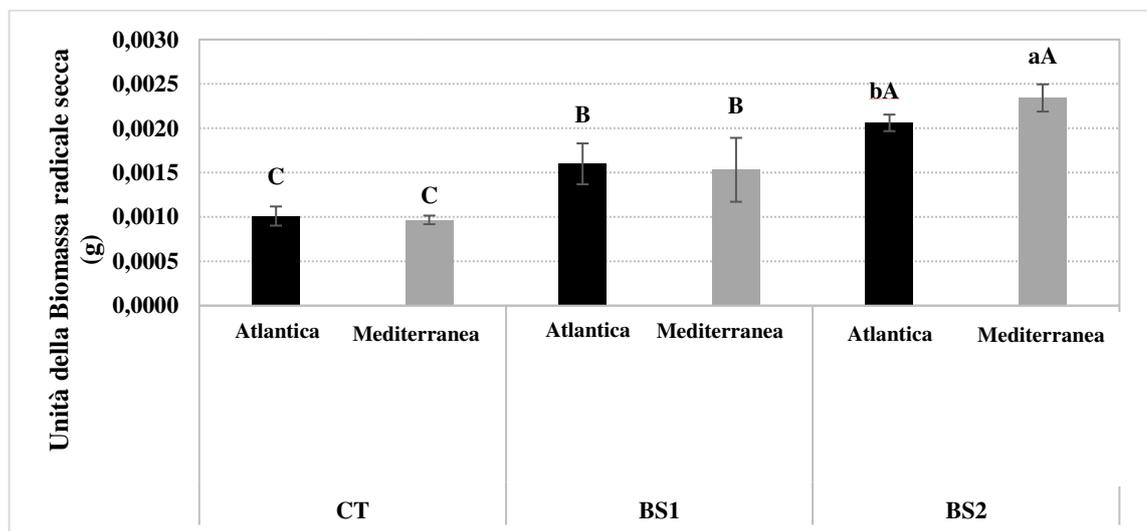
## CAPITOLO 5 RISULTATI

Di seguito verranno mostrati i risultati della sperimentazione tramite grafici derivanti dalle funzioni e dai dati registrati sulla piattaforma Office Excel. I grafici sono istogrammi, in cui vengono mostrate lettere di significatività: se omogenee tra le popolazioni (lettera maiuscola) o tra i trattamenti (lettera minuscola) significa che le differenze sono trascurabili; viceversa, se disomogenee c'è una differenza significativa. Le barre all'estremità dell'istogramma rappresentano la deviazione standard della media.

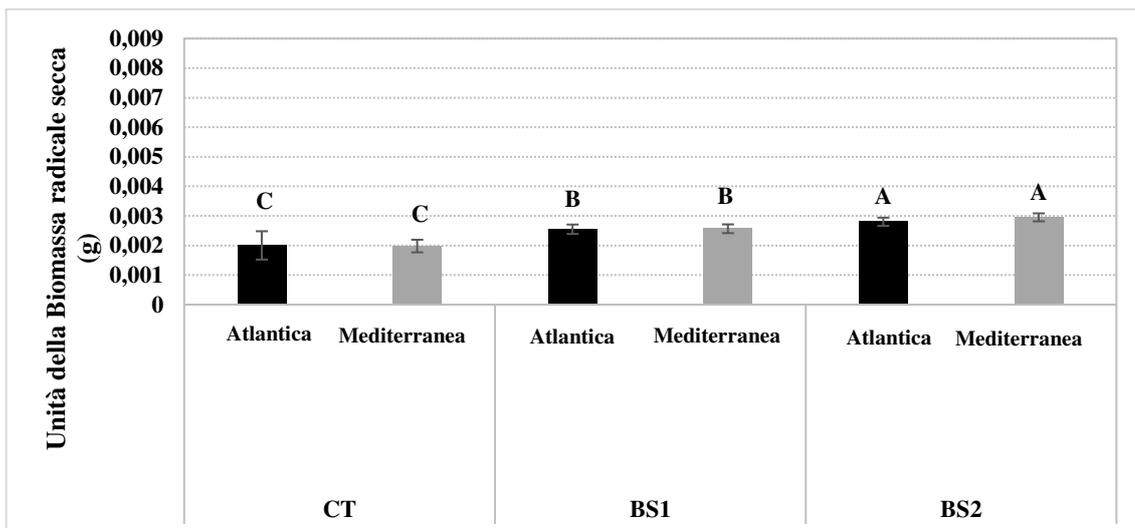
### 5.1 Ambiente controllato

I campionamenti sono stati eseguiti in particolari stadi fenologici del ciclo colturale della pianta. In dettaglio, il T0 è rappresentato dallo stadio di "allungamento radicale", il T1 è rappresentato dallo stadio di "tre foglie vere differenziate" ed il T2 è rappresentato dallo stadio di "cinque foglie vere differenziate".

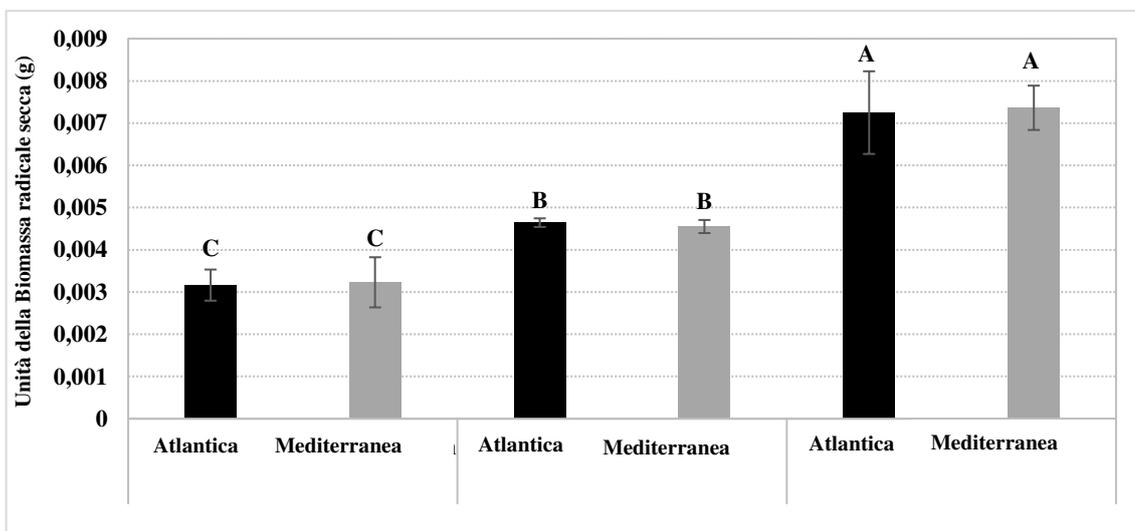
#### 5.1.1 Biomassa radicale secca



**Figura 5-1-1-1: Grafico dell'unità di biomassa radicale secca delle due popolazioni allo stadio fenologico di "allungamento radicale"**



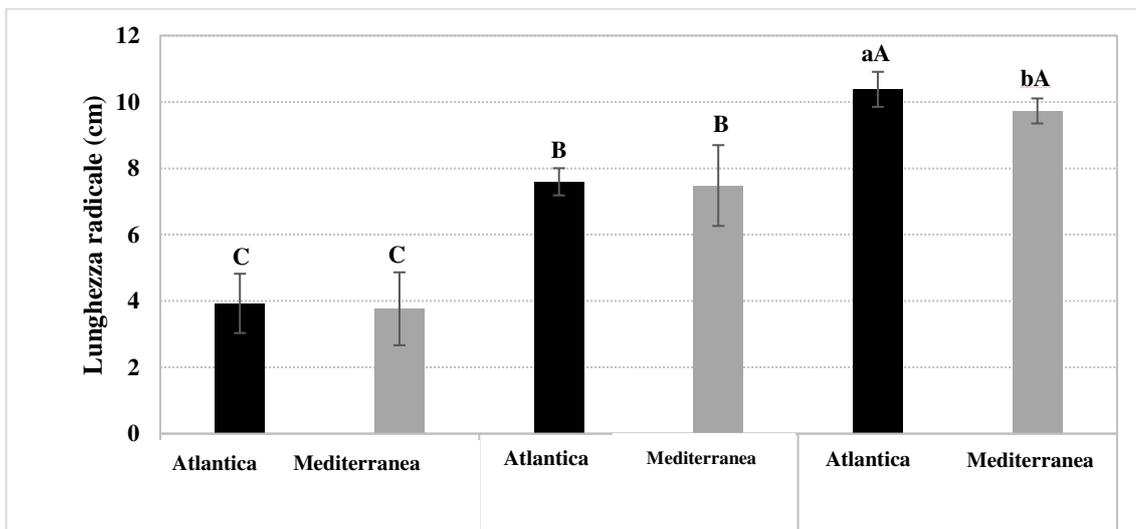
**Figura 5-2-1-2: Grafico dell'unità di biomassa radicale secca delle due popolazioni allo stadio fenologico di "tre foglie vere differenziate"**



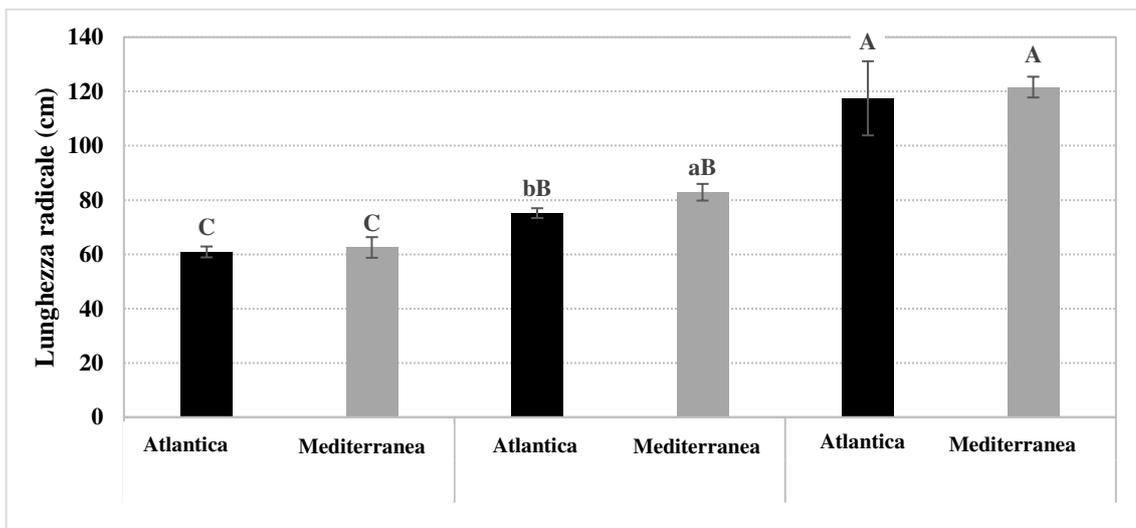
**Figura 5-3-1-3: Grafico dell'unità di biomassa radicale secca delle due popolazioni allo stadio fenologico di "cinque foglie vere differenziate"**

Si notano differenze significative nei campioni trattati da BS2 nel primo stadio fenologico analizzato. In dettaglio, il trattamento con la tipologia di biostimolante BS2 ha prodotto maggiore biomassa nella popolazione mediterranea rispetto a quella atlantica (bA ≠ aA).

### 5.1.2 Lunghezza radicale



**Figura 5-1-2-1: Grafico della lunghezza radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di “allungamento radicale”**



**Figura 5-1-2-2: Grafico della lunghezza radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di “cinque foglie vere differenziate”**

Si notano differenze significative allo stadio fenologico di allungamento radicale, in cui l’atlantica supera la mediterranea con trattamento BS2 (aA ≠ bA); altra differenza significativa è presente allo stadio fenologico cinque foglie vere differenziate, in cui la mediterranea supera l’atlantica con trattamento BS1 (bB ≠ aB).

5.1.3 Diametro radicale

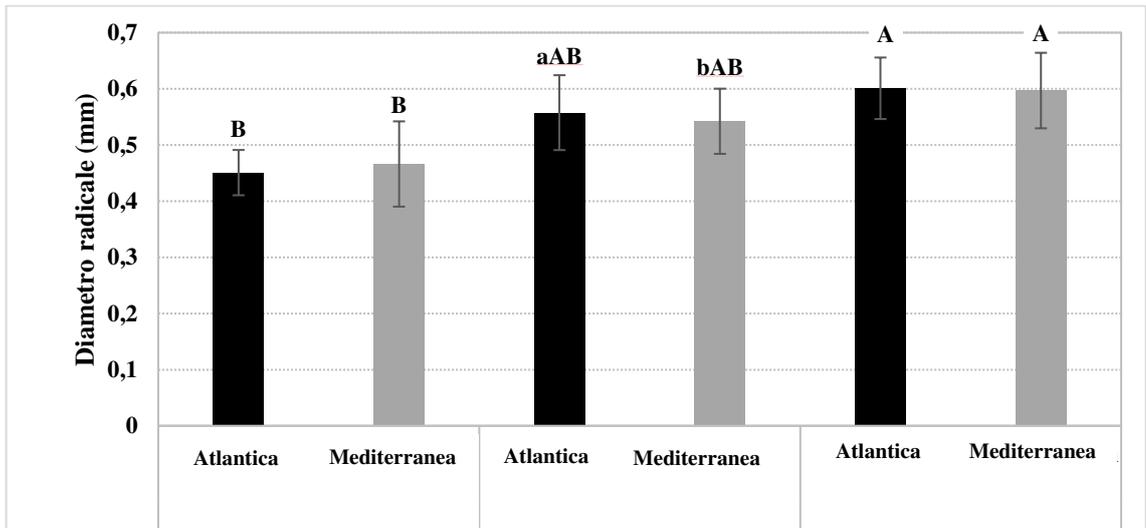


Figura 5-1-3-4: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di "allungamento radicale"

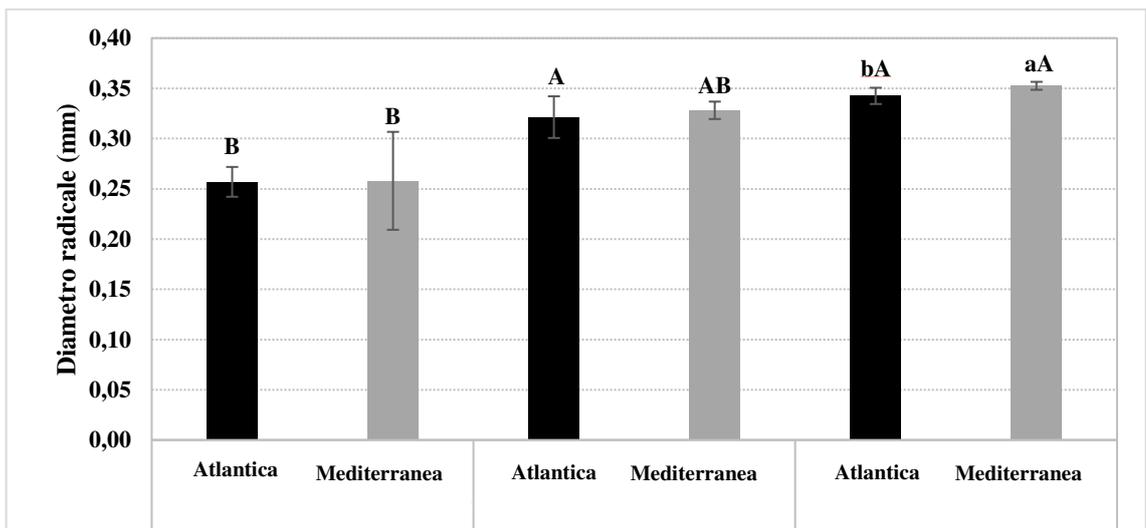
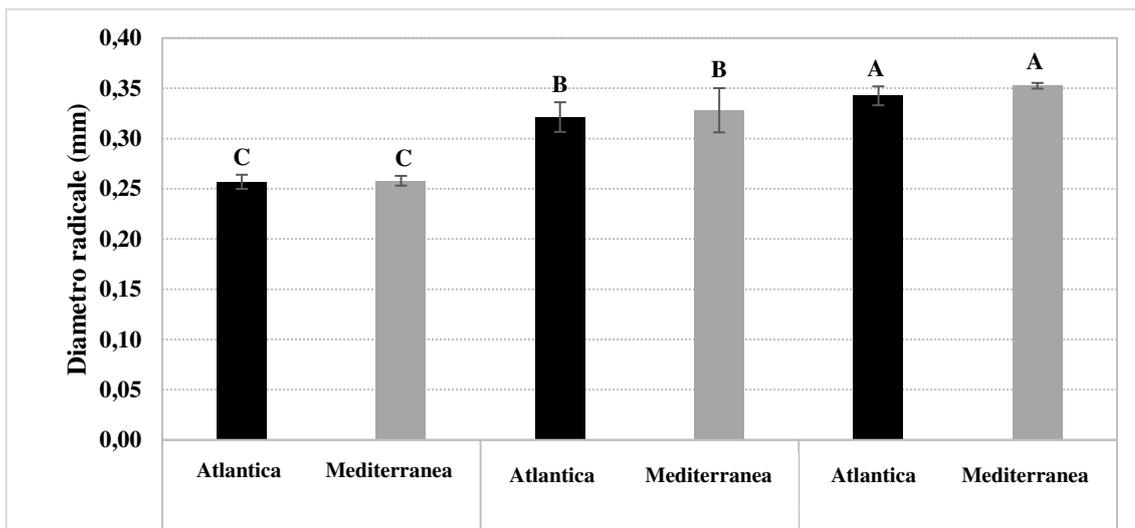


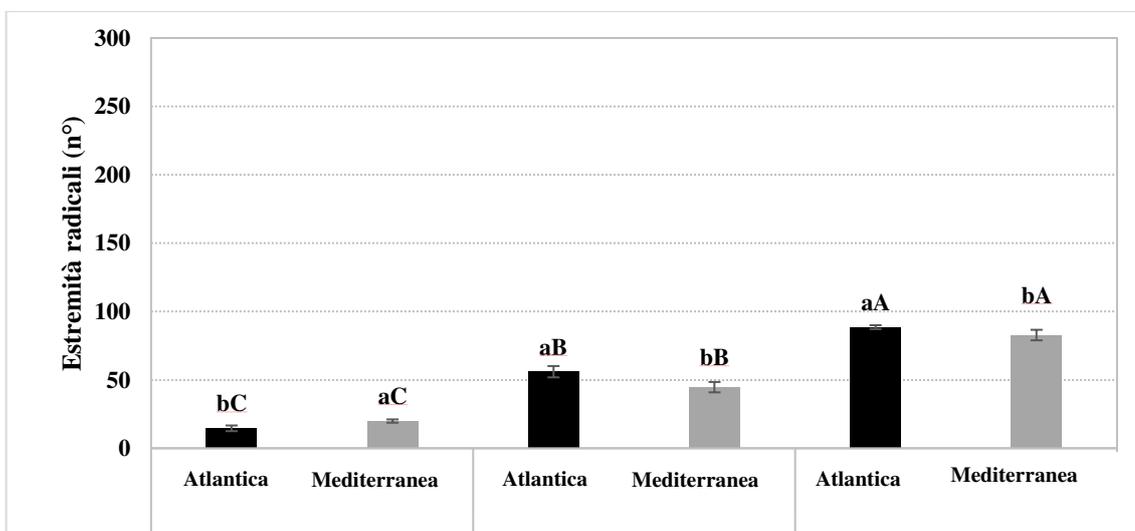
Figura 5-1-3-2: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di "tre foglie vere differenziate"



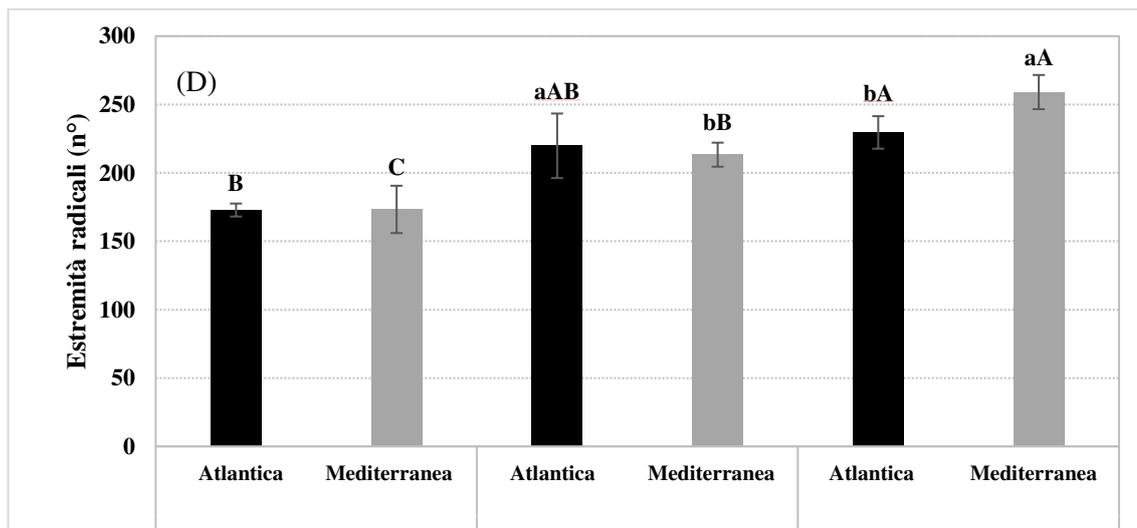
**Figura 5-5-3-3: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di “cinque foglie vere differenziate”**

Si evince una differenza significativa allo stadio di allungamento radicale, in cui l’atlantica risulta maggiore della mediterranea con trattamento BS1 ( $aAB \neq bAB$ ).

#### 5.1.4 Estremità radicali



**Figura 5-1-4-6: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di “tre foglie differenziate”**



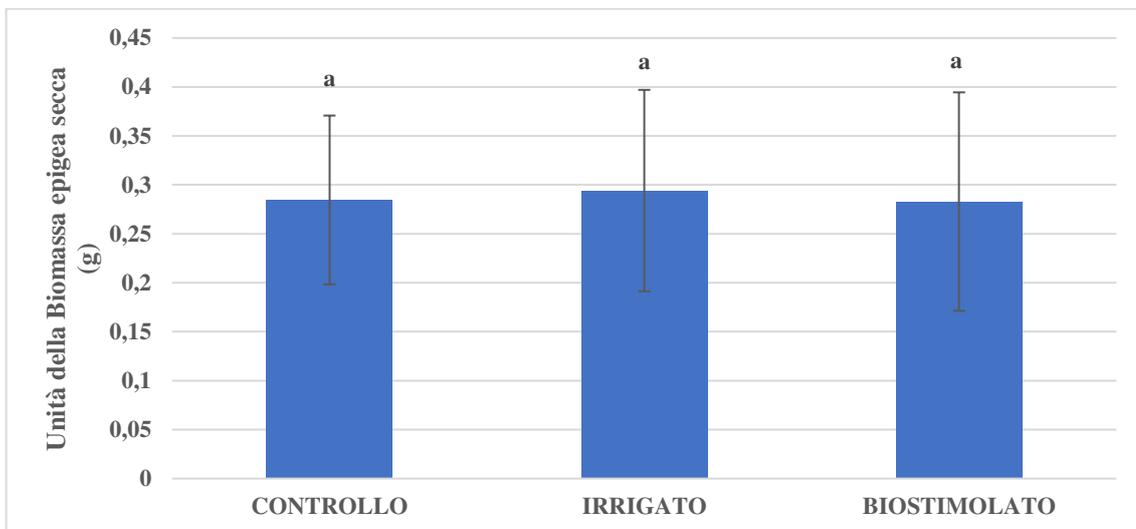
**Figura 5-7-4-2: Grafico del diametro radicale delle due popolazioni allo stadio fenologico di “cinque foglie differenziate”**

Si registrano differenze significative numerose: l’atlantica supera la mediterranea con trattamento BS1 sia allo stadio fenologico di tre foglie vere differenziate ( $aB \neq bB$ ), sia allo stadio fenologico di cinque foglie vere differenziate ( $aAB \neq bB$ ). Inoltre, si ha una differenza significativa tra la mediterranea e l’atlantica in corrispondenza dello stadio fenologico cinque foglie vere ( $bA \neq aA$ ).

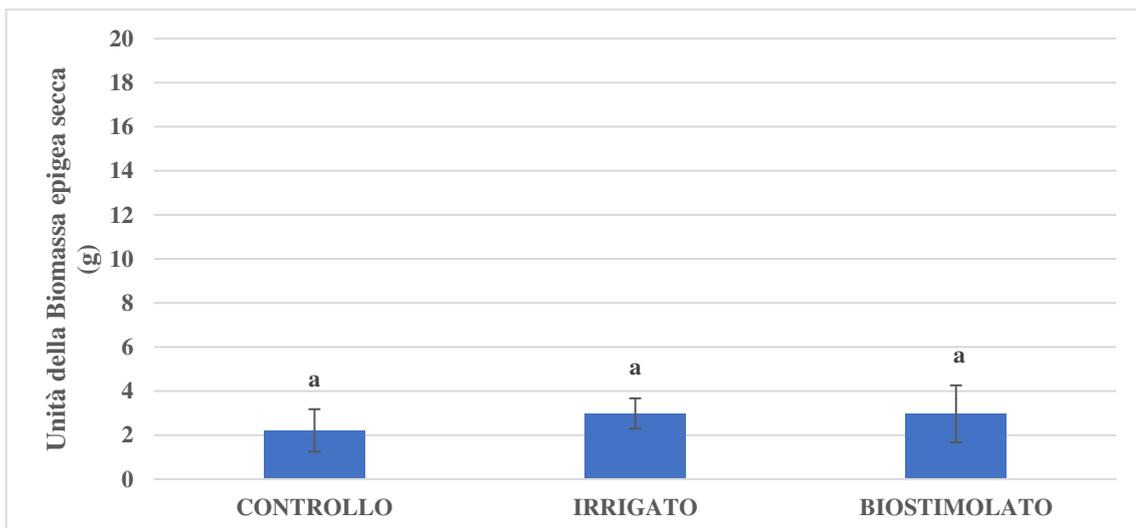
## 5.2 Pieno campo

I campionamenti sono stati eseguiti in particolari stadi fenologici del ciclo colturale della pianta. In dettaglio, il T0 è rappresentato dallo stadio di “formazione dei nuovi germogli laterali”, il T1 è rappresentato dallo stadio di “sviluppo della parte vegetativa” ed il T2 è rappresentato dallo stadio di “abbozzi fiorali visibili”.

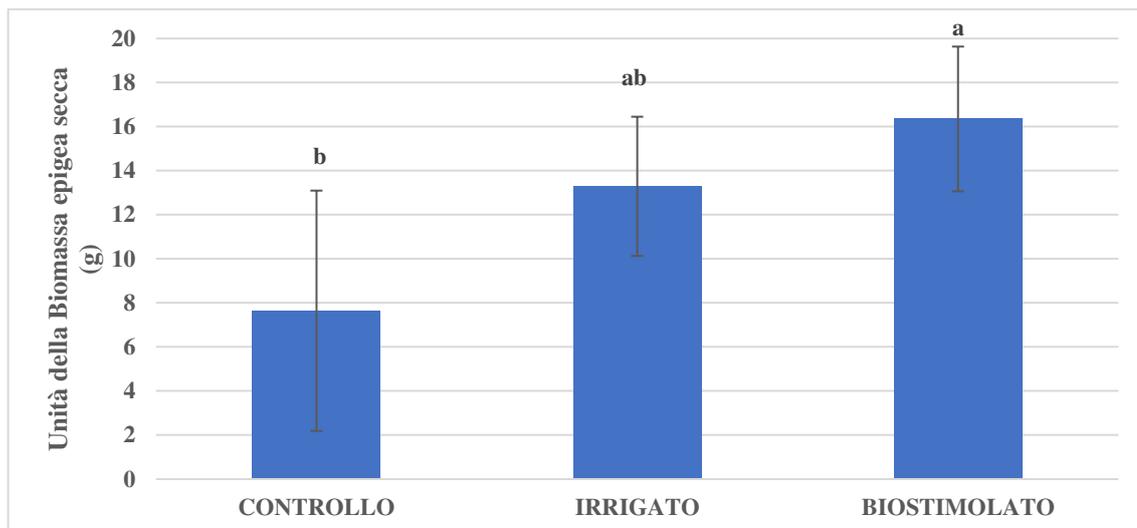
### 5.2.1 Biomassa epigea secca



**Figura 5-2-1-1: Grafico dell'unità della biomassa epigea secca allo stadio fenologico di "formazione dei nuovi germogli laterali"**



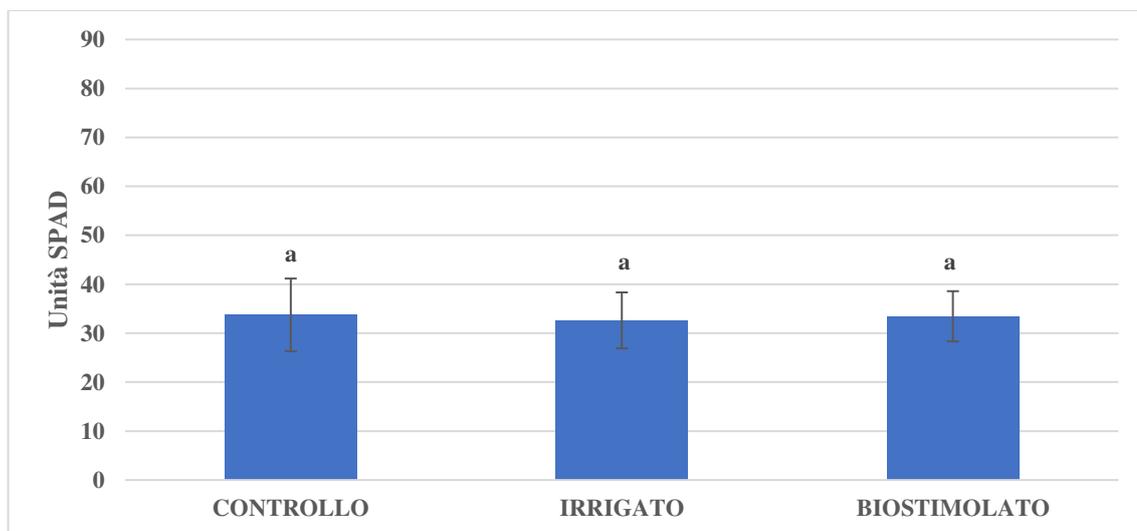
**Figura 5-2-1-2: Grafico dell'unità della biomassa epigea secca allo stadio fenologico dello "sviluppo della parte vegetativa"**



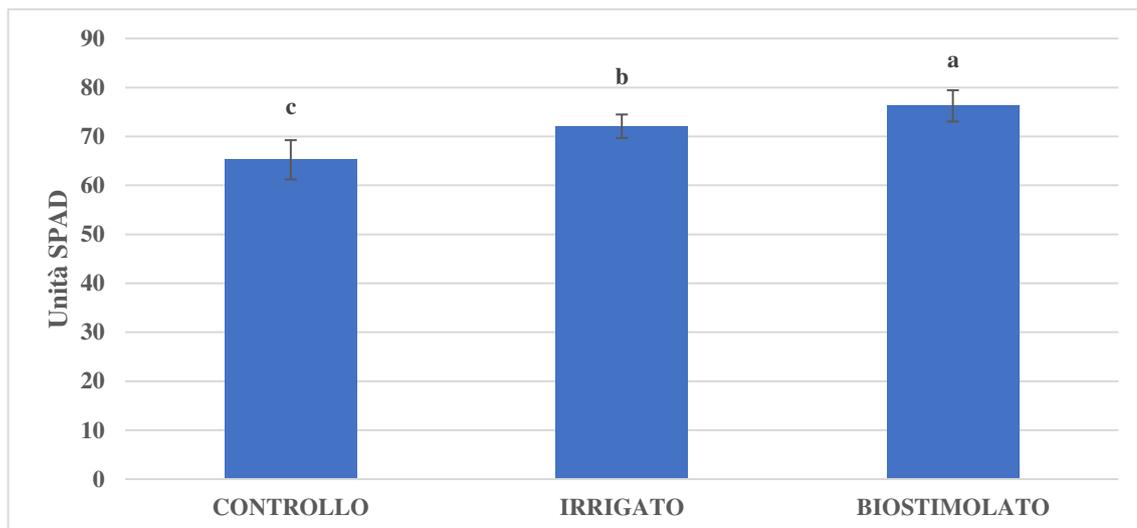
**Figura 5-2-1-3: Grafico dell'unità della biomassa epigea secca allo stadio fenologico degli "abbozzi fiorali visibili"**

Si notano differenze significative solamente allo stadio fenologico di abbozzi fiorali visibili, in cui prevale il trattamento biostimolato sia sull'irrigato sia sul controllo ( $a \neq ab \neq b$ ).

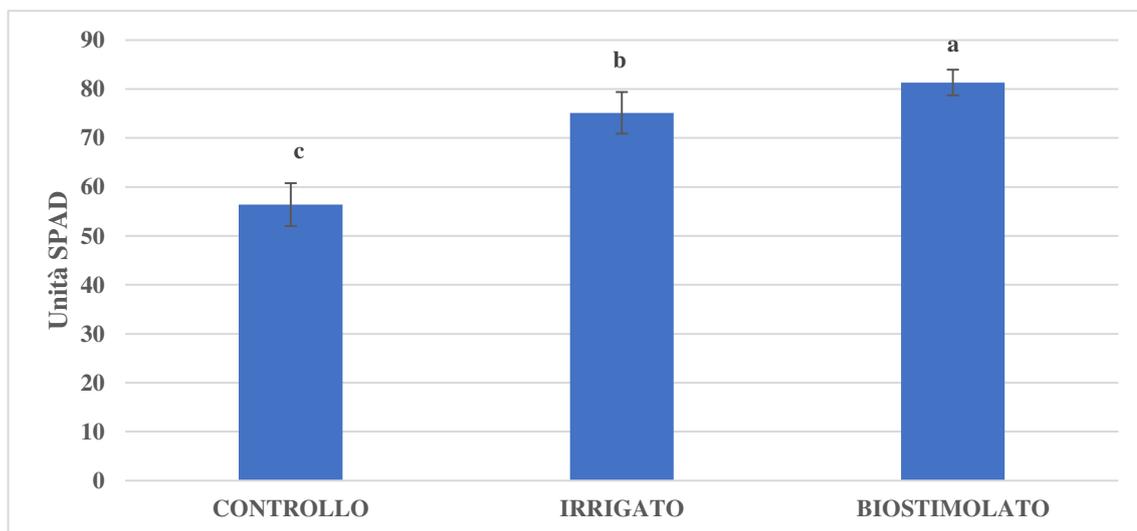
#### 5.2.2 Misuratore di clorofilla SPAD



**Figura 5-2-2-8: Grafico della misurazione di clorofilla SPAD allo stadio fenologico di "formazione dei nuovi germogli laterali"**



**Figura 5-2-2-2: Grafico della misurazione di clorofilla SPAD allo stadio fenologico di “sviluppo della parte vegetativa”**



**Figura 5-2-2-3: Grafico della misurazione di clorofilla SPAD allo stadio fenologico di “abbozzi fiorali visibili”**

Si nota una differenza significativa allo stadio fenologico di sviluppo della parte vegetativa, in cui prevale tra tutti il trattamento biostimolato. La diversità si intensifica nello stadio fenologico successivo ( $a \neq b \neq c$ ).

## CAPITOLO 6

### DISCUSSIONE DEI RISULTATI

#### 6.1 Ambiente Controllato

I dati ottenuti dai campionamenti sono alquanto chiari: con il trattamento biostimolato la coltura evidenzia una produzione ed uno sviluppo radicale maggiore rispetto a colture non trattate. In dettaglio, la tipologia di biostimolante BS2 risulta più performante nelle variabili di lunghezza radicale, numero di estremità radicali e diametro radicale.

Tra le popolazioni, invece, non ci sono differenze significative in nessuno dei tre trattamenti. Ciò indica che i biostimolanti BS1 e BS2 hanno interagito con le popolazioni analogamente, portando sia la popolazione atlantica sia quella mediterranea ad avere risultati approssimabili allo stesso valore per le variabili osservate e, per questo le differenze non sono significative.

#### 6.2 Pieno campo

Dai campionamenti si ottengono dati che non hanno fornito differenze particolari tra i trattamenti con biostimolanti e, ancor meno, tra le popolazioni di *Crithmum maritimum* L.. In quest'ultimo caso, infatti, i valori si sono rivelati molto simili, per cui entrambi si sono adattati all'ambiente pedoclimatico marchigiano, senza prevalere l'uno sull'altro.

Considerando la biomassa epigea secca, l'unica differenza emergente si ha a stadi fenologici avanzati, in cui è stata rilevata maggiore biomassa nei trattamenti biostimolato ed irrigato rispetto al controllo. Lo stesso accade per il misuratore di clorofilla SPAD: anche in questo caso i valori sono molto simili e solamente allo stadio fenologico di “abbozzi fiorali” si sono ottenute differenze significative.

Tuttavia, bisogna notare che i campioni biostimolati in entrambe le variabili non prendono distanza da quelli irrigati. Ciò significa che gli agenti biostimolanti favoriscono l'approvvigionamento nutrizionale ed il benessere del finocchio marino, ma non inducono un aumento in biomassa.

## CONCLUSIONI

Per concludere, *Crithmum maritimum L.* è una specie dalle prospettive decisamente interessanti. Non solo riesce a sostenere in ambienti degradati e poveri, ma può persino diventare una strategia di gestione colturale quando i terreni agrari soffrono di salinizzazione o desertificazione. Essendo una alofita, tali condizioni del suolo non risultano un problema e può cercare di mantenere una capacità produttiva come coltura principale in zone che altrimenti sarebbero abbandonate perché incoltivabili. L'area del Mediterraneo, ambiente in cui cresce soprattutto spontaneo lungo la costa, rappresenta uno dei molti siti in cui i suoli agrari sono a rischio desertificazione.

Inoltre, grazie alle sostanze contenute nelle foglie o derivanti dai suoi oli essenziali, il finocchio marino ha svariate opportunità di utilizzo. Può diventare una coltura che spazia nei campi cosmetico, medico, industriale, gastronomico, bioedilizio e zootecnico.

Le sperimentazioni dell'Università Politecnica delle Marche hanno fornito la prova che *Crithmum maritimum L.* ha l'opportunità di diventare una coltura agraria a basso impatto ambientale, sia perché non richiede di particolari interventi sia perché può sostenere anche in carenza di acqua e di nutrienti. Per aumentare la sostenibilità della coltivazione, l'Università ha voluto utilizzare i biostimolanti, agenti microbici coltivati in laboratorio e integrati nel suolo per dare beneficio ed ausilio al finocchio marino.

Pur avendo dati preliminari, in quanto si è effettuata una sola prova in ambiente controllato ed una singola prova annuale in pieno campo, si può affermare che non c'è una stretta relazione tra gli agenti biostimolanti e le popolazioni di *Crithmum maritimum L.* Entrambe le popolazioni hanno risposto in maniera analoga ai trattamenti effettuati, con piccole differenze che non sono considerabili rappresentative. Tuttavia, si può dichiarare che gli agenti biostimolanti hanno avuto un riscontro positivo sia nei parametri nutrizionali in campo sia nei parametri a livello radicale in ambiente controllato.

La prova eseguita nell'azienda agraria "Pasquale Rosati" ha ottenuto solamente valori e dati preliminari, per cui otterrà maggior senso statistico e potrà essere presa in considerazione dalla letteratura per la ricerca solamente col passare del tempo. Fornisce, ciononostante, una tecnica di coltivazione di *Crithmum maritimum L.* funzionale ed a basso impatto ambientale.

## BIBLIOGRAFIA

- Azeñas V., Janner I., Medrano H., Gulias J. (2019). Evaluating the establishment performance of six native perennial Mediterranean species for use in extensive green roofs under water-liting conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41. 158-169.
- Basu A., Prasad P., Narayan Das S., Kalam S., Sayyed R. Z., Reddy M. S., El Enshasy H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) as green bioinoculants: recent developments, constraints and prospects. *Sustainability*, 13 (3). 1140.
- Ben Amor N., Ben Hamed K., Debez A., Grignon C., Abdelly C. (2005). Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science*, 168. 889-899.
- Benvenuti S., Bacci D. (2010). Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban Ecosystems*, 13. 349-363.
- Blanusa T., Monteiro M. M. V., Fantozzi F., Vysini E., Li Y., Cameron R. W. F. (2013). Alternatives to *Sedum* on green roofs: can broad leaf perennial plants offer better ‘cooling service’?. *Building and Environment*, 59. 99-106.
- Chunzhao Z., Zhang H., Song C., Zhu J.-K. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 1 (1).
- Clark C., Adriaens P., Talbot B. (2008). Green roof valuation: a probabilistic economic analysis of environmental benefits. *Environmental Science & Technology*, 42 (6). 2155-2161.
- Cunsolo F., Ruberto G., Amico V., Piattelli M. (1993). Bioactive metabolites from Sicilian marine fennel, *Crithmum maritimum*. *Journal of natural products*, 56 (9). 1598-1600.
- De Pascale S., Roupael Y., Colla G. (2017). Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *Journal of horticulture science*, 82 (6). 277-285.
- Fioretti R., Palla A., Lanza L. G., Principi P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45 (8). 1890-1904.

- Franke W. (1982). Vitamin C in sea fennel (*Crithmum maritimum*), an edible wild plant. *Economic Botany*, 36. 163-165.
- Gil L., Pinya S., Tejada S., Capò X., Sureda A. (2018). Antioxidant defenses in wild growing halophyte *Crithmum maritimum* from inland and coastline populations.
- Grigoriadou K., Maloupa E. (2008). Micropropagation and salt tolerance of in vitro grown *Crithmum maritimum* L.. *Plant cell*, 98. 209-217.
- Haplern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T., Yermiyahu (2015) U.. The use of Biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Advances in Agronomy*, 130. 141-174.
- Hassani A., Azapagic A., Shokri N. (2021). Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21<sup>st</sup> century. *Nature Communications*, 12.
- Kosareo L., Ries R. (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment*, 42 (8). 2606-2613.
- Maignan V., Bernay B., Géliot P., Avice J.-C. (2020). Biostimulants effects of glutacetine and its derived formulations mixed with N fertilizer on post-heading N uptake and remobilization, seed yield and grain quality in winter wheat. *Crop and Product Physiology*, 11.
- Mandal A., Chaudhary M., Muduli S., Deepasree A. (2022). Agronomic biofortification of food crops: a sustainable way to boost nutritional security.
- Martini A. N., Papafotiou M., Massas I., Choriantopoulou N. (2022). Using the halophyte *Crithmum maritimum* in green roofs for sustainable urban horticulture: effect of substrate and nutrient content analysis including potentially toxic elements.
- Mekinic I. G., Blazevic I., Mudnic I., Brucul F., Grga M., Skroza D., Jercic I., Ljubenkovic I., Boban M., Milos M., Katalinic V. (2016). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) phytochemical profile, antioxidative, cholinesterase inhibitory and vasodilatory activity. *Journal of Food, Science and Technology*, 53 (7). 3104-3112.
- Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. (2016). Plant Biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73 (1). 18-23.
- Norman H. C., Masters D. G., Barrett-Lenard E. G. (2013). Halophytes as forages in saline landscapes: interactions between plant genotype and environment change their feeding value to ruminants. *Environmental and Experimental Botany*, 92. 96-109.
- Orsini R., Zenobi S., Fiorentini M. (2019). Testing vegetation index categories as influenced by soil management and nitrogen fertilization in cereal based cropping systems.

- Ramos F., Salgueiro L., Donato M. M., Cardoso O., Cavaleiro C., Figueirinha A., Pedreiro S. (2023). Exploiting the *Crithmum maritimum* L. aqueous extracts and essential oils as potential preservatives in food, feed, pharmaceutical and cosmetic industries. *Antioxidants*, 12 (2). 252.
- Renna M. (2018). Reviewing the prospects of sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) as emerging vegetable crop. *Plants*, 7 (4). 92.
- Renna M., Gonnella M. (2020). Ethnobotany, nutritional traits and healthy properties of some halophytes used as greens in the Mediterranean basin. *Handbook of Halophytes*. 2537-2555.
- Sailor D. J. (2008). A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 40 (8). 1466-1478.
- Santamouris M., Pavlou C., Doukas P., Mihalakakou G., Synnefa A., Hatzibiros A., Patargias P. (2007). Investigating and analysing the energy and environmental of an experimental green roof system installed in a nursery schoolbuilding in Athens, Greece. *Energy*, 32 (9). 1781-1788.
- Scavo A., Fontanazza S., Restuccia A., Pesce G. R., Abbate C., Mauromicale G. (2022). The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. *Agronomy for Sustainable Development*, 42 (93).
- Takebayashi H., Moriyama M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42 (8). 2971-2979.
- Veisten K., Smyrnova Y., Klæboe R., Hornikx M., Mosslemi M., Kang J. (2012). Valuation of green walls and green roofs as soundscapes measures: including amenity values together with noise-attenuation values in a cost-benefit analysis of a green wall affecting courtyards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9 (11). 3770-3788.
- Whittinghill L. J., Rowe D. B., Schutzki R., Cregg B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and urban Planning*, 123. 41-48.
- Zenobi S., Fiorentini M., Di Tella B., Milanovic V., Marcelli A. (2024). Biostimulation effect on *Crithmum maritimum* L. root development in controlled environment. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 48 (4). Article 10.
- Zenobi S., Fiorentini M., Ledda L., Deligios P., Aquilanti L., Orsini R. (2022). *Crithmum maritimum* L. biomass production in Mediterranean environment. *Agronomy*, 12 (4). 926.

## RINGRAZIAMENTI

Conclusa la tesi, è ora di concludere anche il mio percorso universitario. Ho passato tre anni particolari, in cui ci sono stati sia bei momenti sia momenti tosti. Con questo percorso ho veramente potuto affacciarmi al mondo agronomico e ho fatto davvero delle bellissime esperienze. La parte migliore è stata avere l'opportunità di fare uscite didattiche e prove pratiche in campo perché penso che siano un grandissimo valore aggiunto e dalle quali ho imparato tantissimo.

Ringrazio poi la mia famiglia: mia madre, mio padre e anche le mie sorelle perché mi hanno sempre incitato e, non so come, riuscivano a darmi la soluzione e la spensieratezza per affrontare le rognose mansioni universitarie, ma tra una pastarella e l'altra abbiamo anche saputo festeggiare i miei piccoli traguardi. Un particolare grazie a mamma per avermi ispirato all'inizio a fare questa scelta improbabile ed per avermi poi spronato per tutto il percorso.

Ringrazio poi Ari. Hai risposto sempre presente sia quando mi volevo sfogare sia quando volevo raccontarti come era andata una giornata qualsiasi. So che non capisci e guardi con occhi di diffidenza questo mondo, ma prima o poi ti convincerò che non è affatto male!

Ora arrivano gli amici di una vita: TTiccio, Fla, Quaqua, Samu e Lorenz. Con voi è sempre bello parlare ed è divertente che facciamo tutti facoltà diverse quindi quando ci confrontiamo ne vengono di ogni (così poi Quack ci fa i meme). Grazie raga per aver qualsiasi cosa abbiate fatto: sappiate che mi ha reso felice. Ma soprattutto per riso ad ogni nome dei miei corsi di laurea.

Ringrazio poi chi non fa parte di queste "categorie", ma ha comunque assaporato, chi per più e chi per meno, un po' di Scienze e Tecnologie Agrarie.

Un ringraziamento anche a Paola e Giacomo con cui ho svolto il tirocinio: ho passato delle bellissime giornate nell'azienda mozzafiato che avete.

Un ultimo ringraziamento al prof Roberto Orsini, Stefano e Biagio, non pensavo ne sarebbe uscito un lavoro del genere e sono contento di aver lavorato con voi.

Significa tanto per me aver condiviso questo percorso con voi tutti e spero di avervi trasmesso un po' del mio interesse verso questo mondo.

Leonardo