

Ricerca di Sistema elettrico



Crescita di piante in serre con copertura fotovoltaica (LA2.10)

Stefano Mazzoleni, Fabrizio Carteni, Nunzio Fiorentino, Maurizio Zotti



MUSA
Reggia di Portici

CRESCITA DI PIANTE IN SERRE CON COPERTURA FOTOVOLTAICA (LA2.10)

S. Mazzoleni, F. Carteni, N. Fiorentino, M. Zotti

Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Centro Museale "Musei delle Scienze Agrarie"

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.1 "Fotovoltaico ad alta efficienza"

Linea di attività: 2.10

Responsabile del Progetto: Paola Delli Veneri, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Stefano Mazzoleni

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di Collaborazione: "Crescita di piante in serre con copertura fotovoltaica"

Responsabile scientifico ENEA: Manuela Ferrare e Alessandra Scognamiglio

Responsabile scientifico Co-beneficiario: Stefano Mazzoleni

Indice

1	Risultati attesi	6
2	Risultati ottenuti.....	7
3	Prodotti attesi	8
4	Prodotti sviluppati	9
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	10
6	Sintesi delle attività svolte	11
7	Dettaglio delle attività svolte.....	12
7.1	Sperimentazione su ortive da foglia	12
	Metodi	12
	Risultati.....	13
	Conclusioni.....	14
7.2	Sperimentazione su specie legnose micorrizzate con funghi del genere <i>Tuber</i>	37
	Metodi	37
	Risultati.....	38
	Conclusioni.....	42
7.3	Simulazione dell'attività fotosintetica di specie ortive	43
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	44
9	Pubblicazioni scientifiche	45
10	Eventi di disseminazione	46

Indice delle figure

- Figura 1 - a) serra di ex-patologia del dipartimento di Agraria di Portici dove sono state effettuate le prove di crescita delle diverse specie vegetali micorrizzate da differenti specie di *Tuber*; b) QR code per il monitoraggio delle condizioni ambientali (PAR, CO₂, temperatura) e del substrato di coltivazione (umidità relativa, contenuto idrico); c) piantine micorrizzate da *Tuber* rappresentanti il controllo del disegno sperimentale; d) misura delle altezze delle piantine con utilizzo di un metro pieghevole. 37
- Figura 2 - a) Pulizia dell'apparato radicale di *Q. pubescens* tramite immersione in acqua; b) osservazione al microscopio stereoscopico degli apici radicali delle porzioni prossimali e distali degli apici radicali di *Q. pubescens*; c) conta degli apici radicali micorrizzati da *Tuber*, da altre specie contaminanti e degli apici radicali nudi; d) Strumento utilizzato per effettuare la conta (contapollini). 38
- Figura 3 - Andamento dell'altezza media (\pm deviazione standard) delle plantule nel corso di nove settimane, suddiviso per specie arborea (*Corylus avellana*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*) e trattamento BIPV. Le linee rosse rappresentano il gruppo trattato con BIPV, mentre le linee nere indicano il gruppo di controllo (senza BIPV). In ciascun pannello è riportato il valore di F e il p-value derivati dal modello lineare con interazione (Settimana \times BIPV), utilizzato per valutare eventuali differenze nelle pendenze delle curve di crescita. 39
- Figura 4 - Curve di crescita media (\pm deviazione standard) delle plantule micorrizzate con *Tuber melanosporum* e *Tuber aestivum*, suddivise per trattamento BIPV. Le linee rosse indicano le plantule sottoposte a BIPV, mentre le linee nere rappresentano le plantule non trattate. Ogni pannello mostra l'interazione tra tempo e trattamento valutata tramite modello lineare (Settimana \times BIPV); i risultati (F e p) indicano l'assenza di effetti statisticamente significativi del trattamento BIPV sulla pendenza delle curve di crescita in entrambi i gruppi. 39
- Figura 5 - Valori biometrici medi (\pm deviazione standard) delle plantule micorrizzate con *Tuber melanosporum* e *Tuber aestivum*, suddivise per trattamento BIPV. I pannelli riportano: (A) peso della parte aerea, (B) peso della radice, (C) peso totale e (D) rapporto tra parte aerea e radice. Le barre rosse indicano il trattamento BIPV, mentre quelle nere indicano il controllo. Le lettere sovrapposte alle barre indicano differenze statisticamente significative (t-test, $p < 0.05$). ... 40
- Figura 6 - Valori biometrici medi (\pm deviazione standard) delle plantule suddivise per specie arborea (*C. avellana*, *Q. ilex*, *Q. pubescens*, *O. carpinifolia*) e per trattamento BIPV. Le variabili considerate includono: (A) parte aerea, (B) radice, (C) peso totale e (D) rapporto parte aerea/radice. Le lettere indicano il risultato del test statistico tra trattamenti (t-test): lettere uguali = differenza non significativa; lettere diverse = differenza significativa ($p < 0.05$). 40
- Figura 7 - Composizione dell'apparato radicale medio delle plantule micorrizzate con *Tuber melanosporum* o *Tuber aestivum*, suddivise per trattamento BIPV (sì/no). Le barre impilate rappresentano, per ciascun gruppo, la media del numero di apici micorrizzati con *Tuber* (rosso), micorrizzati con altri funghi (nero), e apici radicali nudi (grigio). I nomi delle specie sono riportati in corsivo e con abbreviazione del genere. Nessuna delle differenze osservate è risultata statisticamente significativa (ANOVA, $p > 0.05$). 41
- Figura 8 - Composizione media dell'apparato radicale delle plantule suddivise per specie arborea e trattamento BIPV. Le colonne rappresentano il numero medio di apici micorrizzati da *Tuber* (rosso), da altri funghi (nero), e apici non micorrizzati (grigio). I nomi delle specie arboree sono riportati in corsivo con genere abbreviato e sono centrati sotto le coppie di colonne

corrispondenti ai due trattamenti. Le differenze tra trattamenti non sono risultate statisticamente significative (ANOVA, $p > 0.05$).....	41
Figura 9 – Risultati del modello di simulazione della fotosintesi (A) in tre specie ortive.....	43

Indice delle tabelle

Tabella 1. Rucola - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	15
Tabella 2. Rucola - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.....	16
Tabella 3. Rucola - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	17
Tabella 4. Rucola - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.....	18
Tabella 5. Bietola - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	19
Tabella 6. Bietola - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.....	20
Tabella 7. Bietola - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO ₂ (Ci)...	21
Tabella 8. Bietola - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	22
Tabella 9. Bietola - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati nella biomassa.....	23
Tabella 10. Bietola - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO ₂ (Ci)..	24
Tabella 11. Lattuga - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	25
Tabella 12. Lattuga - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.....	26
Tabella 13. Lattuga - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO ₂ (Ci)..	27
Tabella 14. Lattuga - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	28
Tabella 15. Lattuga - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati nella biomassa.....	29
Tabella 16. Lattuga - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO ₂ (Ci)..	30
Tabella 17. Spinacio - primo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	31

Tabella 18. Spinacio - primo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.	32
Tabella 19. Spinacio primo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO ₂ (Ci).	33
Tabella 20. Spinacio - secondo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.	34
Tabella 21. Spinacio - secondo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati nella biomassa.	35
Tabella 22. Spinacio - secondo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO ₂ (Ci).	36
Tabella 23 - Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA a una via) per ciascuna specie di tartufo e per ogni variabile radicale. I valori riportati indicano il valore della statistica F e il corrispondente p-value per l'effetto del trattamento BIPV. Nessuna delle analisi ha evidenziato differenze significative ($p < 0.05$).	42
Tabella 24 - Risultati dell'analisi della varianza (ANOVA a una via) per ciascuna specie arborea e per ogni variabile radicale. I valori di F e p-value si riferiscono all'effetto del trattamento BIPV. Nessuna differenza significativa è stata rilevata ($p > 0.05$).	42

1 Risultati attesi

Risultati attesi di quest'attività riguardano l'avanzamento della conoscenza rispetto all'efficienza combinata fotovoltaico-fotosintesi sulle rese produttive delle piante agrarie in contesti multisettoriali.

Per il settore delle piante ortive sarà valutata la potenzialità delle serre agrivoltaiche di supportare produzioni con caratteristiche quali-quantitative paragonabili rispetto a quelle prodotte in serre classiche sia per piante totalmente eduli che da frutto. Per il settore delle legnose micorrizzate sarà invece valutata la risposta dei simbionti fungini rispetto alle condizioni di crescita in sistemi agrivoltaici. Gli esperimenti verranno condotti nelle due serre sperimentali con copertura di moduli vetrati semitrasparenti, la prima di 18 m² e la seconda di 120 m² localizzate presso UNINA MUSA, e nella serra prototipale di piccola area realizzata nella LA2.9. I dati ottenuti saranno implementati per la calibrazione di modelli di simulazione fenologica sulle specie utilizzate nelle prove sperimentali.

I risultati delle attività saranno discussi in un report tecnico-scientifico.

2 Risultati ottenuti

L'ambiente in serra dotato di copertura agrivoltaica semitrasparente può creare difficoltà in condizioni di temperature elevate e scarsa circolazione dell'aria per la coltivazione di alcune specie orticole. Tra le colture testate, la rucola risulta meno adattabile, accumulando nitrati in quantità elevate, pur rimanendo entro i limiti normativi, mentre lo spinacio registra livelli di nitrati inferiori del 30% rispetto al limite di legge. In presenza di ambienti agrivoltaici e suoli ad alta fertilità, come nei trattamenti N100 e N150, si osserva un rischio maggiore di accumulo eccessivo di nitrati, che potrebbe compromettere la commerciabilità del prodotto. Al contrario, la lattuga si comporta in modo neutrale o leggermente favorevole, mantenendo rese costanti e bassi livelli di nitrati.

Le sperimentazioni su specie legnose micorrizzate con funghi del genere *Tuber* hanno mostrato che l'applicazione di coperture fotovoltaiche semitrasparenti non incide in maniera significativa sulla crescita, sulla biometria o sulla micorrizzazione, confermando la possibilità di integrare la tecnologia agrivoltaica anche nella produzione vivaistica tartufigena senza compromettere le performance vegetative o simbiotiche delle piante.

La calibrazione del modello di simulazione dell'attività fotosintetica, basato sui dati raccolti, ha riprodotto con buona fedeltà i flussi fotosintetici, offrendo uno strumento utile per il monitoraggio dello stato fisiologico delle piante coltivate.

È stato, inoltre, fornito supporto alle attività di ENEA svolte nella LA2.9 per la realizzazione di una serra prototipale di piccola area con copertura di dispositivi FV spettralmente selettivi, svolta presso i laboratori dell'ENEA.

3 Prodotti attesi

Report tecnico-scientifico contenente i risultati delle attività svolte dal titolo "Crescita di piante in serre con copertura fotovoltaica"

4 Prodotti sviluppati

Il presente Report tecnico-scientifico dal titolo "Crescita di piante in serre con copertura fotovoltaica" - RdS_PTR22-24_PR1.1_LA2.10_427

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non sono stati riscontrati scostamenti tecnici significativi rispetto al preventivato. Per quanto riguarda il preventivo economico, è stata rendicontata una cifra leggermente inferiore di costi di esercizio (3,945.69 euro a fronte dei 5,000.00 preventivati), ma è stato necessario impiegare maggiori unità di personale per il completamento delle attività previste (46,068.00 euro di personale a fronte dei 45,000.00 previsti).

6 Sintesi delle attività svolte

Le attività, svolte dal 2023 al 2024, hanno valutato l'effetto della copertura fotovoltaica semitrasparente sulle colture in serra. Nella sperimentazione su ortive da foglia sono stati testati quattro livelli di fertilizzazione azotata e tre condizioni ambientali. I risultati hanno evidenziato, ad esempio, una marcata risposta della rucola alla concimazione azotata con accumulo di nitrati (sebbene entro i limiti normativi), mentre la lattuga ha mostrato rese stabili e bassi accumuli di nitrati. Nella prova su specie legnose micorrizzate con funghi *Tuber*, il trattamento con copertura fotovoltaica non ha prodotto effetti significativi su crescita e micorrizzazione, evidenziando risposte specie-specifiche. Infine, la simulazione dell'attività fotosintetica, ha riprodotto adeguatamente i dati sperimentali, confermandone la potenziale utilità. Questi risultati hanno confermato le attese, evidenziando qualche criticità (accumulo nitrati) e opportunità per applicazioni agrivoltaiche.

7 Dettaglio delle attività svolte

L'attività ha avuto lo scopo di svolgere sperimentazioni per valutare la crescita e lo sviluppo di piante nelle serre dell'Orto Botaniche di Portici provviste di copertura fotovoltaica semitrasparente. La presente LA è la naturale prosecuzione delle attività svolte nel precedente triennio in cui sono state realizzate due serre sperimentali con copertura di moduli vetrati semitrasparenti, la prima di 18 m² e la seconda di 120 m², equipaggiate con sensoristica IoT. In linea generale, le attività svolte si sono incentrate sulla definizione delle possibili applicazioni della metodica su diversi gruppi di specie vegetali, le quali sono caratterizzate da diverse esigenze colturali in termini di radiazioni luminosa e condizioni ambientali.

Le attività descritte di seguito sono state portate avanti tra il 2023 e il 2024 dal personale del Dipartimento di Agraria presso le strutture del Centro Museale "Musei delle Scienze Agrarie" dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

È stato, inoltre, fornito supporto alle attività di ENEA svolte nella LA2.9 per la realizzazione di una serra prototipale di piccola area con copertura di dispositivi FV spettralmente selettivi, svolta presso i laboratori dell'ENEA.

7.1 Sperimentazione su ortive da foglia

Per questa sperimentazione sono state selezionate bietola (*B. vulgaris*), lattuga (*L. sativa*), rucola (*D. tenuifolia*) e spinacio (*S. oleracea*), comuni ortaggi a foglia da taglio nella Piana del Sele (SA). Per semplicità di gestione della prova, ogni coltura è stata interessata da due raccolte consecutive sulle stesse unità sperimentali. L'obiettivo è stato valutare l'effetto combinato di differenti coperture di serra (fotovoltaica semitrasparente e a luce diffusa) e di quattro livelli di fertilizzazione azotata (N0, N50, N100, N150).

Metodi

Il disegno sperimentale adottato è stato a blocchi randomizzati (4 repliche), con blocchi in griglia 4×4. Gli input di azoto, frazionati in due applicazioni di nitrato ammonico (26%), sono stati calcolati sulla base del Piano di concimazione della regione Campania, risultando pari a 78, 50, 64,8 e 68 kg N ha⁻¹ rispettivamente per bietola, lattuga, rucola e spinacio (N100). Gli ambienti di serra (A1, più caldo sotto pannelli, A2, più fresco sotto pannelli, A3, fresco senza pannelli) rappresentano il secondo fattore sperimentale.

Il suolo utilizzato per la prova ha le seguenti caratteristiche: sabbioso franco, pH 7,1, CE 0,2 mS cm⁻¹, 2,6% di sostanza organica, C:N 11,8, P Olsen 36,4 mg kg⁻¹, K₂O 1448 mg kg⁻¹). Le piantine, ottenute in alveoli, sono state trapiantate dopo 7 giorni, con densità finali tra 1040 e 3120 piante m⁻² gestite conformemente alla tecnica colturale delle diverse specie. L'irrigazione è stata gestita in modo da mantenere un'umidità del suolo prossima alla capacità di campo. Prima di ogni raccolta si sono eseguite analisi SPAD e di fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO₂ (Ci) con il LI-6800. La biomassa raccolta (taglio a 3-4 cm) è stata pesata (fresco), essiccata (60°C) e ripesata (secco). Infine, è stata macinata e analizzata per i nitrati, confrontati ai limiti del Reg. EU 915/2023.

L'analisi statistica è stata condotta con ANOVA a due vie (software Minitab). Dopo aver verificato indipendenza, normalità (test di Kolmogorov-Smirnov) e omogeneità delle varianze (test di Levene), i dati non conformi sono stati trasformati (log, Box-Cox) per garantire la validità degli assunti dell'ANOVA.

Risultati

RUCOLA (Tabelle da 1 a 4). Nel primo ciclo, la rucola si è rivelata sensibile alla concimazione azotata. Il peso fresco per pianta è aumentato da 14.2 g (N0) a 20.8 g (N100). Simile l'andamento del peso secco (da 1.38 a 1.81 g), mentre la SS% è calata da 9.89% (N0) a 8.47% (N150). I nitrati su peso fresco sono incrementati significativamente con la concimazione raggiungendo valori analoghi con N100 ed N150 (5754 ppm in media), pur restando entro il limite normativo di 7000 ppm. I valori SPAD sono incrementati in maniera significativa con N150. A1, più caldo e sotto pannelli, ha favorito la resa (20.1 g PF) ma anche i massimi accumuli di nitrati (6073 ppm PF). A3, fresco e senza coperture, ha garantito un profilo più equilibrato: buona produzione (18.4 g PF), SS% elevata (10.2%), SPAD più alti (23.9) e nitrati contenuti (4051 ppm PF).

Nel secondo ciclo, in inverno avanzato, la biomassa è inferiore (4.8–10.4 g PF), ma le SS% più alte (fino a 17.7% con N0), con risposta positiva all'azoto e incremento dei nitrati fino a 5870 ppm (N150), ma sempre sotto soglia. I valori SPAD sono più alti rispetto al primo ciclo, (40.1 in A3).

BIETOLA (Tabelle da 5 a 10). Nel primo ciclo, la bietola ha risposto positivamente alla concimazione. Il peso fresco per pianta è aumentato da 29.8 g (N0) a 36.9 g (N150) e il peso secco è cresciuto da 1.91 a 2.30 g, con SS% stabile (intorno al 6.2%). I nitrati sono passati da 1645 ppm (N0) a 3502 ppm (N150), raggiungendo il limite di 3500 ppm previsto per lo spinacio (la bietola non è menzionata nel EU 915/2023). I valori SPAD sono stati stabili (21.4–21.8), con A3 (fresco, senza pannelli) che ha mostrato SPAD più alti (22.4) e nitrati più bassi (1718 ppm PF), mentre A1 e A2 hanno accumulato più nitrati (3366 ppm in A2). Anche fotosintesi netta ($6.73 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), conduttanza stomatica ($0.24 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentrazione di CO_2 ($341 \mu\text{mol mol}^{-1}$) sono state superiori in A3, con valori più bassi in A1 ed A2.

Nel secondo ciclo, la produzione è calata (PF da 7.3 a 14.2 g/pianta), con SS% più alte (fino a 9.34%) e SPAD generalmente superiori (fino a 31.4 in A3). I nitrati aumentano con la dose superando la soglia dei 3500 ppm con N100 e N150. La combinazione delle coperture A1 ed A2 con N100 e N150 è sempre associata a valori di nitrati sopra soglia.

LATTUGA (Tabelle da 11 a 16). Nel primo ciclo, la lattuga ha risposto moderatamente alla concimazione: il peso fresco per pianta è aumentato da 56.5 g (N0) a circa 63–64 g (N100 e N150, +13%). La SS% è rimasta stabile (media 4.5%). La concimazione ha comportato un incremento dei nitrati da 108 ppm (N0) a oltre 1100 ppm (N150), rimanendo sotto il limite normativo di 5000 ppm. I valori SPAD sono stati stabili (21.1–21.9), con A3 che ha mostrato SPAD più elevati (23.5) e nitrati più bassi (177 ppm), mentre A1 ha presentato accumuli più alti (1180 ppm).

Nel secondo ciclo, la produzione è scesa (15–43 g PF), ma con SS% più elevate (fino a 8.5–9% con N0). L'accumulo di nitrati è rimasto ampiamente sotto i 5000 ppm anche nei trattamenti N150.

SPINACIO (Tabelle da 17 a 22). Nel primo ciclo, lo spinacio ha mostrato una risposta progressiva alla concimazione: il peso fresco per pianta è aumentato del 6% in media con N100 ed N150 e i nitrati hanno raggiunto i 2634 ppm (N150), restando sotto il limite UE di 3500 ppm. I valori SPAD, alti fin da N0 (43.0), sono rimasti stabili con l'azoto (fino a 44.4 con N50). A3 (più fresco) ha garantito maggiore resa (25.3 g PF), SS% più elevata (10.1%) e nitrati minimi (321 ppm PF). A1 e A2, hanno mostrato nitrati oltre 2200 ppm. Anche sul piano fisiologico, A3 ha evidenziato valori più alti di fotosintesi netta, gsw, e traspirazione. L'efficienza fotosintetica si è mantenuta elevata in tutti i trattamenti.

Nel secondo ciclo, la produzione si è ridotta (7.3–20.4 g PF) con SS% fino al 14.8% (N0) e nitrati sempre inferiori a 400 ppm.

Conclusioni

L'ambiente in serra sotto copertura agrivoltaica può rappresentare un problema in condizioni di alta temperatura e scarsa circolazione d'aria. Tra le colture, la rucola mostra scarsa adattabilità, con accumuli elevati di nitrati pur rimanendo entro i limiti normativi, mentre lo spinacio presenta valori inferiori del 30% rispetto al limite di legge. Ambienti agrivoltaici e suoli ad alta fertilità (N100 e N150) potrebbero portare ad accumulo eccessivo di nitrati, rendendo la produzione non commercializzabile. La lattuga, invece, si conferma neutrale o leggermente favorita, mantenendo rese stabili e bassi livelli di nitrati. I prossimi step includono la valutazione dell'interazione tra metodo irriguo e tecnica di concimazione, oltre all'inclusione di ortive da frutto, potenzialmente sensibili alle condizioni di ombreggiamento.

Tabella 1. Rucola - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)		SS (%)	
Conc. (C)	N0	14.2	B	1.38	B	9.89	A
	N50	15.4	B	1.45	B	9.38	A
	N100	20.8	A	1.81	A	8.74	B
	N150	20.4	A	1.72	A	8.47	B
Amb. (A)	A1	20.1	A	1.69	A	8.46	B
	A2	14.6	B	1.24	B	8.68	B
	A3	18.4	A	1.83	A	10.21	A
C x A	N0 – A1	15.3		1.38		9.00	
	N50 – A1	16.1		1.40		8.58	
	N100 – A1	25.6		2.12		8.36	
	N150 – A1	23.5		1.87		7.92	
	N0 – A2	13.6		1.30		9.76	
	N50 – A2	12.2		1.08		9.00	
	N100 – A2	16.3		1.29		7.95	
	N150 – A2	16.2		1.30		8.01	
	N0 – A3	13.7		1.46		10.92	
	N50 – A3	18.0		1.88		10.54	
	N100 – A3	20.4		2.02		9.91	
	N150 – A3	21.4		1.98		9.47	
Sign.	C	**		**		**	
	A	**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 2. Rucola - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.

		NO₃ (PS)		NO₃ (PF)	SPAD	
		ppm		ppm		
Conc. (C)	N0	47139	C	4525	C	22.7
	N50	57121	B	5192	B	22.3
	N100	64216	AB	5483	AB	21.8
	N150	72945	A	6025	A	21.5
Amb. (A)	A1	72702	A	6073	A	21.5 B
	A2	67887	A	5794	A	20.9 B
	A3	40477	B	4051	B	23.9 A
C x A	N0 – A1	62895		5573		22.9 BC
	N50 – A1	63255		5391		20.4 E
	N100 – A1	77918		6473		21.5 CDE
	N150 – A1	86738		6856		21.4 CDE
	N0 – A2	45401		4367		22.7 BCD
	N50 – A2	74277		6662		20.8 CDE
	N100 – A2	71691		5719		19.6 E
	N150 – A2	80179		6426		20.4 DE
	N0 – A3	33120		3634		22.7 BC
	N50 – A3	33831		3523		25.7 A
	N100 – A3	43039		4256		24.5 AB
	N150 – A3	51917		4792		22.9 BC
Sign.	C	**		**		ns
	A	**		**		**
	C x A	ns		ns		*

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 (1 ottobre - 31 marzo): 7000 ppm.

Tabella 3. Rucola - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)		SS (%)	
Conc. (C)	N0	4.8	C	0.84	B	17.7	A
	N50	6.1	BC	1.00	AB	15.9	B
	N100	8.2	AB	1.14	AB	13.9	C
	N150	10.4	AB	1.31	A	12.6	C
Amb. (A)	A1	7.2	AB	0.94	B	14.0	B
	A2	6.0	B	0.82	B	14.0	B
	A3	8.9	A	1.45	A	17.1	A
C x A	N0 – A1	4.4		0.66	C	15.4	
	N50 – A1	5.8		0.80	BC	14.2	
	N100 – A1	7.4		1.00	BC	14.1	
	N150 – A1	11.0		1.33	AB	12.3	
	N0 – A2	6.0		1.04	BC	17.5	
	N50 – A2	3.9		0.57	C	14.3	
	N100 – A2	7.1		0.85	BC	12.0	
	N150 – A2	7.2		0.83	BC	12.1	
	N0 – A3	4.0		0.82	BC	20.3	
	N50 – A3	8.6		1.64	A	19.0	
	N100 – A3	10.2		1.58	A	15.5	
	N150 – A3	13.0		1.76	A	13.5	
Sign.	C	**		*		**	
	A	*		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		*		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 4. Rucola - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.

		NO₃ (PS)		NO₃ (PF)	SPAD		
		ppm		ppm			
Conc. (C)	N0	13859	D	1993	C	36.19	A
	N50	19762	C	3351	B	33.64	AB
	N100	33677	B	4326	B	34.48	A
	N150	47453	A	5870	A	30.62	B
Amb. (A)	A1	37070	A	4887	A	29.91	B
	A2	38807	A	4978	A	31.19	B
	A3	12582	B	1790	B	40.09	A
C x A	N0 – A1	27066		4054	C	30.42	
	N50 – A1	30298		3959	C	28.38	
	N100 – A1	34926		4690	BC	32.01	
	N150 – A1	55992		6845	A	28.85	
	N0 – A2	13856		1793	D	36.08	
	N50 – A2	40497		5346	ABC	28.18	
	N100 – A2	54637		6578	A	32.20	
	N150 – A2	52204		6195	AB	28.31	
	N0 – A3	654		133	D	42.07	
	N50 – A3	4043		749	D	44.36	
	N100 – A3	11468		1709	D	39.22	
	N150 – A3	34162		4570	BC	34.70	
Sign.	C	**		**		*	
	A	**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		*		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 (1 ottobre - 31 marzo): 7000 ppm.

Tabella 5. Bietola – primo ciclo culturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)		SS (%)
Conc. (C)	N0	29.8	B	1.91	B	6.41
	N50	34.3	A	2.19	A	6.41
	N100	35.9	A	2.22	A	6.20
	N150	36.9	A	2.30	A	6.24
Amb. (A)	A1	33.2		2.05		6.18 B
	A2	35.2		2.13		6.07 B
	A3	34.3		2.28		6.69 A
C x A	N0 – A1	29.4		1.79		6.15
	N50 – A1	30.8		1.93		6.25
	N100 – A1	36.6		2.30		6.28
	N150 – A1	36.0		2.19		6.06
	N0 – A2	29.3		1.77		6.06
	N50 – A2	37.5		2.33		6.24
	N100 – A2	35.7		2.10		5.94
	N150 – A2	38.2		2.30		6.03
	N0 – A3	30.8		2.16		7.01
	N50 – A3	34.6		2.32		6.73
	N100 – A3	35.5		2.25		6.40
	N150 – A3	36.5		2.41		6.63
Sign.	C	**		*		ns
	A	ns		ns		*
	C x A	ns		ns		ns

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 6. Bietola – primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.

		NO₃ (PS)		NO₃ (PF)	SPAD	
		ppm		ppm		
Conc. (C)	N0	26460	C	1645	C	21.4
	N50	41174	B	2564	B	21.8
	N100	50254	AB	3054	AB	21.8
	N150	56815	A	3502	A	21.6
Amb. (A)	A1	54758	A	3366	A	21.0 B
	A2	49769	A	2988	A	21.5 B
	A3	26500	B	1718	B	22.4 A
C x A	N0 – A1	40947		2494		20.7
	N50 – A1	49452		3082		20.8
	N100 – A1	57986		3619		21.3
	N150 – A1	70647		4270		21.5
	N0 – A2	24440		1489		21.6
	N50 – A2	53616		3308		22.2
	N100 – A2	61647		3598		21.3
	N150 – A2	59374		3559		21.0
	N0 – A3	13993		952		22.0
	N50 – A3	20455		1300		22.4
	N100 – A3	31128		1945		22.8
	N150 – A3	40423		2677		22.4
Sign.	C	**		**		<i>ns</i>
	A	**		**		**
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 NO₃(PF - ppm): 3500 (bietta assimilata a spinacio, tutto l'anno)

Tabella 7. Bietola – primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO₂ (Ci).

		A μmol m⁻² s⁻¹		E mol m⁻² s⁻¹		gsw mol m⁻² s⁻¹		Ci μmol mol⁻¹	
Conc. (C)	N0	6.19		0.0023		0.15		315	
	N50	6.12		0.0023		0.15		314	
	N100	6.15		0.0024		0.15		306	
	N150	6.14		0.0026		0.16		315	
Amb. (A)	A1	6.29	A	0.0017	B	0.11	B	285	C
	A2	5.43	B	0.0018	B	0.12	B	312	B
	A3	6.73	A	0.0037	A	0.24	A	341	A
C x A	N0 – A1	6.60		0.0015	DEF	0.10	DEF	282	FG
	N50 – A1	6.30		0.0015	DEF	0.10	DEF	290	EFG
	N100 – A1	5.83		0.0011	F	0.07	F	258	G
	N150 – A1	6.41		0.0026	BC	0.16	BC	309	CDE
	N0 – A2	5.60		0.0020	CD	0.14	CD	322	BC
	N50 – A2	5.68		0.0021	CD	0.14	CDE	315	CD
	N100 – A2	5.33		0.0017	CDE	0.11	CDE	314	CDE
	N150 – A2	5.10		0.0014	EF	0.09	EF	299	DEF
	N0 – A3	6.35		0.0034	AB	0.22	A	340	A
	N50 – A3	6.37		0.0033	AB	0.21	AB	338	AB
	N100 – A3	7.28		0.0043	A	0.28	A	347	A
	N150 – A3	6.91		0.0039	A	0.24	A	338	AB
Sign.	C	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	
	A	**		**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		**		**		**	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 8. Bietola – secondo ciclo culturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)		SS (%)	
Conc. (C)	N0	7.3	C	0.68	B	9.34	A
	N50	9.8	BC	0.90	AB	8.85	B
	N100	13.4	AB	1.16	A	8.53	B
	N150	14.2	A	1.28	A	8.84	B
Amb. (A)	A1	10.9		0.99		8.97	B
	A2	10.1		0.86		8.32	C
	A3	12.5		1.17		9.38	A
C x A	N0 – A1	9.5		0.87		9.15	
	N50 – A1	11.6		1.09		9.16	
	N100 – A1	11.9		1.04		8.57	
	N150 – A1	10.5		0.95		8.98	
	N0 – A2	6.4		0.55		8.66	
	N50 – A2	7.0		0.57		7.95	
	N100 – A2	12.7		1.05		8.15	
	N150 – A2	14.5		1.26		8.51	
	N0 – A3	6.0		0.62		10.20	
	N50 – A3	10.9		1.04		9.44	
	N100 – A3	15.5		1.39		8.87	
	N150 – A3	17.8		1.63		9.02	
Sign.	C	**		*		**	
	A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		**	
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 9. Bietola – secondo ciclo culturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati nella biomassa.

		NO₃ (PS)		NO₃ (PF)		SPAD	
		ppm		ppm			
Conc. (C)	N0	8421	D	767	D	28.6	
	N50	32135	C	2789	C	27.6	
	N100	42792	B	3638	B	28.3	
	N150	48493	A	4274	A	27.0	
Amb. (A)	A1	39807	A	3540	A	26.8	C
	A2	34911	B	2875	B	26.9	B
	A3	24162	C	2186	C	29.9	A
C x A	N0 – A1	12796	EF	1168	FG	26.7	
	N50 – A1	40394	CD	3668	CD	26.6	
	N100 – A1	48065	BC	4118	BC	27.6	
	N150 – A1	57975	A	5204	A	26.4	
	N0 – A2	8741	FG	754	GH	27.6	
	N50 – A2	37700	D	2982	E	25.4	
	N100 – A2	41855	CD	3393	DE	27.8	
	N150 – A2	51350	AB	4372	B	26.7	
	N0 – A3	3727	G	380	H	31.4	
	N50 – A3	18311	E	1715	F	30.8	
	N100 – A3	38458	D	3402	DE	29.5	
	N150 – A3	36153	D	3245	DE	28.0	
Sign.	C	**		**		<i>ns</i>	
	A	**		**		**	
	C x A	*		**		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 NO₃(PF - ppm): 3500 (bietta assimilata a spinacio, tutto l'anno)

Tabella 10. Bietola - secondo ciclo culturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO₂ (Ci).

		A μmol m⁻² s⁻¹		E mol m⁻² s⁻¹	gsw mol m⁻² s⁻¹	Ci μmol mol⁻¹
Conc. (C)	N0	4.43		0.0006	0.04	212
	N50	4.73		0.0007	0.04	212
	N100	4.57		0.0007	0.05	222
	N150	4.20		0.0007	0.04	228
Amb. (A)	A1	4.39	AB	0.0007	0.05	226
	A2	3.89	B	0.0006	0.04	222
	A3	5.16	A	0.0007	0.05	207
C x A	N0 – A1	4.23		0.0007	0.05	235
	N50 – A1	4.26		0.0007	0.05	220
	N100 – A1	4.46		0.0007	0.04	223
	N150 – A1	4.62		0.0008	0.05	226
	N0 – A2	4.08		0.0006	0.04	215
	N50 – A2	4.22		0.0006	0.04	214
	N100 – A2	4.05		0.0006	0.04	218
	N150 – A2	3.20		0.0006	0.04	242
	N0 – A3	4.98		0.0006	0.04	187
	N50 – A3	5.70		0.0007	0.05	202
	N100 – A3	5.19		0.0010	0.06	224
N150 – A3	4.79		0.0007	0.04	216	
Sign.	C	<i>ns</i>		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	A	*		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). F = test post-hoc di Fisher, T = test post-hoc di Tukey. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 11. Lattuga - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)	SS (%)		
Conc. (C)	N0	56.5	B	2.65	4.59		
	N50	60.2	AB	2.79	4.64		
	N100	63.6	A	2.76	4.37		
	N150	62.9	A	2.88	4.58		
Amb. (A)	A1	60.1		2.58	B	4.20	B
	A2	63.6		2.82	AB	4.44	B
	A3	58.7		2.92	A	5.00	A
C x A	N0 – A1	53.7		2.26		3.89	
	N50 – A1	61.4		2.44		3.97	
	N100 – A1	63.6		2.85		4.48	
	N150 – A1	61.9		2.78		4.48	
	N0 – A2	59.1		2.69		4.56	
	N50 – A2	62.8		2.95		4.68	
	N100 – A2	66.9		2.68		4.00	
	N150 – A2	65.6		2.95		4.51	
	N0 – A3	56.8		3.00		5.32	
	N50 – A3	56.5		2.98		5.27	
	N100 – A3	60.3		2.77		4.64	
	N150 – A3	61.3		2.92		4.76	
Sign.	C		*		<i>ns</i>		
	A		<i>ns</i>		*		**
	C x A		<i>ns</i>		<i>ns</i>		

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 12. Lattuga - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.

		NO₃ (PS) ppm		NO₃ (PF) ppm		SPAD	
Conc. (C)	N0	2632	C	108	C	21.1	
	N50	12893	B	534	B	21.3	
	N100	24923	A	1049	A	21.9	
	N150	24683	A	1104	A	21.6	
Amb. (A)	A1	27514	A	1180	A	20.5	B
	A2	17480	B	740	B	20.5	B
	A3	3853	C	177	C	23.5	A
C x A	N0 – A1	5733	B	222	B	20.7	
	N50 – A1	32505	A	1302	A	19.7	
	N100 – A1	30137	A	1330	A	21.0	
	N150 – A1	41681	A	1865	A	20.5	
	N0 – A2	1489	BC	67	BC	19.9	
	N50 – A2	4204	B	195	B	20.5	
	N100 – A2	37220	A	1491	A	20.7	
	N150 – A2	27009	A	1205	A	20.9	
	N0 – A3	675	C	35	C	22.8	
	N50 – A3	1969	BC	104	BC	23.8	
	N100 – A3	7411	B	327	B	24.0	
	N150 – A3	5359	B	243	B	23.3	
Sign.	C	**		<i>ns</i>		<i>ns</i>	
	A	**		*		**	
	C x A	*		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 NO₃(PF - ppm): 5000 (lattuga da serra, 1° ottobre - 31 marzo)

Tabella 13. Lattuga - primo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO₂ (Ci).

		A μmol m⁻² s⁻¹		E mol m⁻² s⁻¹		gsw mol m⁻² s⁻¹		Ci μmol mol⁻¹	
Conc. (C)	N0	4.09		0.0016	B	0.105	B	305	
	N50	4.31		0.0021	A	0.138	A	317	
	N100	4.79		0.0019	A	0.125	A	308	
	N150	4.57		0.0021	A	0.136	A	322	
Amb. (A)	A1	5.77	A	0.0024	A	0.16	A	322	A
	A2	3.40	C	0.0012	B	0.08	B	282	B
	A3	4.14	B	0.0023	A	0.14	A	335	A
C x A	N0 – A1	5.99		0.0025	AB	0.17	A	333	AB
	N50 – A1	5.58		0.0024	ABC	0.16	AB	334	AB
	N100 – A1	5.98		0.0023	ABC	0.15	ABC	324	AB
	N150 – A1	5.52		0.0024	ABC	0.16	ABC	299	ABC
	N0 – A2	2.52		0.0005	E	0.03	E	254	D
	N50 – A2	3.33		0.0012	D	0.08	D	267	CD
	N100 – A2	3.70		0.0013	D	0.08	D	272	CD
	N150 – A2	4.07		0.0017	CD	0.11	BCD	333	AB
	N0 – A3	3.77		0.0019	BCD	0.11	CD	327	AB
	N50 – A3	4.01		0.0027	A	0.17	A	349	A
	N100 – A3	4.68		0.0023	ABC	0.14	ABC	328	AB
	N150 – A3	4.11		0.0023	ABC	0.14	ABC	334	AB
Sign.	C	<i>ns</i>		*		*		<i>ns</i>	
	A	**		**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		*		*		*	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 14. Lattuga - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)		SS (%)	
Conc. (C)	N0	15.1	D	1.28	D	8.52	A
	N50	26.3	C	1.91	C	7.26	B
	N100	35.9	B	2.49	B	6.92	B
	N150	43.4	A	2.79	A	6.47	C
Amb. (A)	A1	31.8	A	2.03	B	0.23	C
	A2	28.3	B	1.98	B	0.15	B
	A3	30.5	A	2.34	A	0.30	A
C x A	N0 – A1	17.4		1.37		7.90	B
	N50 – A1	28.4		1.91		6.74	EF
	N100 – A1	35.2		2.18		6.19	FG
	N150 – A1	46.2		2.65		5.74	G
	N0 – A2	14.5		1.12		7.73	BC
	N50 – A2	23.9		1.71		7.15	CDE
	N100 – A2	35.0		2.46		7.01	DE
	N150 – A2	39.6		2.63		6.66	EF
	N0 – A3	13.6		1.35		9.93	A
	N50 – A3	26.7		2.11		7.90	B
	N100 – A3	37.4		2.82		7.57	BCD
	N150 – A3	44.3		3.09		7.01	DE
Sign.	C	**		**		**	
	A	**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		**	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 15. Lattuga - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati nella biomassa.

		NO₃ (PS) ppm		NO₃ (PF) ppm		SPAD	
Conc. (C)	N0	226	C	18	C	19.1	B
	N50	967	B	66	B	20.3	AB
	N100	1988	A	130	A	21.5	A
	N150	1987	A	120	A	21.4	A
Amb. (A)	A1	2169	A	133	A	20.1	B
	A2	1472	B	99	B	19.4	B
	A3	235	C	18	C	22.2	A
C x A	N0 – A1	459		36		18.7	
	N50 – A1	1613		109		21.2	
	N100 – A1	3141		192		20.5	
	N150 – A1	3462		196		20.2	
	N0 – A2	152		12		18.4	
	N50 – A2	1141		78		19.4	
	N100 – A2	2456		169		20.7	
	N150 – A2	2138		137		19.2	
	N0 – A3	67		7		20.4	
	N50 – A3	147		12		20.3	
	N100 – A3	366		27		23.2	
	N150 – A3	361		26		24.7	
Sign.	C	**		**		*	
	A	**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 NO₃(PF - ppm): 5000 (lattuga da serra, 1° ottobre - 31 marzo)

Tabella 16. Lattuga - secondo ciclo colturale: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO₂ (Ci).

		A μmol m⁻² s⁻¹		E mol m⁻² s⁻¹		gsw mol m⁻² s⁻¹		Ci μmol mol⁻¹	
Conc. (C)	N0	3.56	A	0.00056	A	0.04	A	253	A
	N50	2.54	C	0.00036	B	0.02	B	208	B
	N100	2.68	C	0.00038	B	0.02	B	233	A B
	N150	3.12	B	0.00050	A	0.03	A	214	B
Amb. (A)	A1	2.62	B	0.00039	B	0.03	B	232	
	A2	2.49	B	0.00038	B	0.02	B	220	
	A3	3.83	A	0.00058	A	0.04	A	229	
C x A	N0 – A1	3.60		0.00068	A	0.05	A	279	
	N50 – A1	2.16		0.00024	DE	0.02	DE	175	
	N100 – A1	2.03		0.00018	E	0.01	E	249	
	N150 – A1	2.67		0.00047	BC	0.03	BC	224	
	N0 – A2	3.16		0.00045	BC	0.03	BC	221	
	N50 – A2	2.18		0.00038	CD	0.03	CD	237	
	N100 – A2	2.27		0.00035	CD	0.02	CDE	212	
	N150 – A2	2.35		0.00032	CDE	0.02	CDE	211	
	N0 – A3	3.91		0.00056	AB	0.04	AB	259	
	N50 – A3	3.29		0.00046	BC	0.03	BC	213	
	N100 – A3	3.75		0.00061	AB	0.04	AB	237	
N150 – A3	4.35		0.00071	A	0.05	A	207		
Sign.	C	**		**		**		*	
	A	**		**		**		ns	
	C x A	ns		**		**		ns	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 17. Spinacio - primo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)		SS (%)	
Conc. (C)	N0	19.0	C	1.83	C	9.65	A
	N50	23.5	B	2.23	B	9.48	AB
	N100	24.5	AB	2.22	B	9.03	B
	N150	26.1	A	2.42	A	9.22	AB
Amb. (A)	A1	23.1	B	2.03	B	8.79	B
	A2	21.5	C	1.95	B	9.13	B
	A3	25.3	A	2.55	A	10.12	A
C x A	N0 – A1	20.8		1.86		8.95	
	N50 – A1	22.8		2.00		8.77	
	N100 – A1	24.4		2.14		8.77	
	N150 – A1	24.5		2.11		8.65	
	N0 – A2	17.4		1.60		9.33	
	N50 – A2	21.8		2.04		9.38	
	N100 – A2	22.0		1.99		9.02	
	N150 – A2	24.8		2.18		8.77	
	N0 – A3	18.9		2.02		10.69	
	N50 – A3	25.9		2.67		10.28	
	N100 – A3	27.1		2.52		9.29	
	N150 – A3	29.1		2.98		10.23	
Sign.	C	**		**		*	
	A	**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 18. Spinacio - primo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati e SPAD nella biomassa.

		NO₃ (PS)		NO₃ (PF)		SPAD	
		ppm		ppm			
Conc. (C)	N0	11834	B	1050	B	43.0	
	N50	20297	B	1787	AB	44.4	
	N100	17340	AB	1537	AB	43.4	
	N150	30221	A	2634	A	43.4	
Amb. (A)	A1	31337	A	2725	A	42.3	B
	A2	25112	A	2210	A	42.2	B
	A3	3320	B	321	B	46.2	A
C x A	N0 – A1	15935		1420		42.6	
	N50 – A1	33959		2951		41.2	
	N100 – A1	29346		2544		43.0	
	N150 – A1	46107		3985		42.4	
	N0 – A2	19053		1673		41.5	
	N50 – A2	25238		2239		44.4	
	N100 – A2	15532		1401		40.4	
	N150 – A2	40625		3526		42.6	
	N0 – A3	513		56		44.9	
	N50 – A3	1692		170		47.7	
	N100 – A3	7142		666		46.9	
	N150 – A3	3932		392		45.2	
Sign.	C	**		**		<i>ns</i>	
	A	**		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 NO₃ (PF - ppm): 3500 (spinacio, tutto l'anno).

Tabella 19. Spinacio primo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO₂ (Ci).

		A μmol m⁻² s⁻¹		E mol m⁻² s⁻¹		gsw mol m⁻² s⁻¹		Ci μmol mol⁻¹
Conc. (C)	N0	6.92	A	0.0038		0.27		349
	N50	6.61	AB	0.0044		0.32		354
	N100	6.41	B	0.0043		0.31		354
	N150	6.81	A	0.0047		0.34		355
Amb. (A)	A1	6.42	B	0.0036	B	0.28	B	353
	A2	5.84	C	0.0039	B	0.27	B	351
	A3	7.81	A	0.0055	A	0.38	A	354
C x A	N0 – A1	6.83	B	0.0037		0.28		350
	N50 – A1	6.67	B	0.0037		0.30		354
	N100 – A1	5.74	DE	0.0030		0.25		353
	N150 – A1	6.45	BC	0.0037		0.31		356
	N0 – A2	6.29	BCD	0.0037		0.25		348
	N50 – A2	5.31	E	0.0039		0.27		354
	N100 – A2	5.94	CDE	0.0042		0.28		354
	N150 – A2	5.82	CDE	0.0038		0.26		350
	N0 – A3	7.66	A	0.0042		0.27		349
	N50 – A3	7.85	A	0.0056		0.38		354
	N100 – A3	7.55	A	0.0057		0.39		355
	N150 – A3	8.17	A	0.0066		0.46		360
Sign.	C	*		<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>
	A	**		**		**		<i>ns</i>
	C x A	*		<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 20. Spinacio - secondo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sulla produzione di biomassa.

		Peso fresco (g)		Peso secco (g)		SS (%)	
Conc. (C)	N0	7.29	D	1.08	D	14.85	A
	N50	12.17	C	1.68	C	13.84	B
	N100	15.68	B	2.05	B	13.01	C
	N150	20.38	A	2.45	A	12.09	D
Amb. (A)	A1	14.33		1.74	B	12.46	C
	A2	13.61		1.73	B	13.14	B
	A3	13.70		1.98	A	14.74	A
C x A	N0 – A1	7.44		1.02		13.67	
	N50 – A1	12.80		1.65		12.86	
	N100 – A1	15.53		1.92		12.38	
	N150 – A1	21.57		2.36		10.93	
	N0 – A2	7.43		1.09		14.80	
	N50 – A2	12.01		1.64		13.75	
	N100 – A2	15.10		1.88		12.46	
	N150 – A2	19.90		2.30		11.56	
	N0 – A3	7.00		1.13		16.07	
	N50 – A3	11.70		1.74		14.92	
	N100 – A3	16.42		2.33		14.20	
	N150 – A3	19.67		2.71		13.77	
Sign.	C	**		**		**	
	A	<i>ns</i>		**		**	
	C x A	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

Tabella 21. Spinacio - secondo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti sul contenuto di nitrati nella biomassa.

		NO ₃ (PS)		NO ₃ (PF)		SPAD	
		ppm		ppm			
Conc. (C)	N0	332	C	48	C	46.8	C
	N50	813	BC	105	BC	52.4	B
	N100	940	B	116	B	56.7	A
	N150	3478	A	391	A	56.4	A
Amb. (A)	A1	1964	A	229	A	54.3	A
	A2	2099	A	250	A	54.1	A
	A3	110	B	16	B	50.8	B
C x A	N0 – A1	379	EFG	51	EF	49.5	
	N50 – A1	1717	BC	218	BC	54.1	
	N100 – A1	1995	BCD	240	BCD	57.3	
	N150 – A1	3764	AB	407	AB	56.3	
	N0 – A2	574	CDEF	85	CDE	47.0	
	N50 – A2	626	DEF	84	DE	54.7	
	N100 – A2	621	CDE	78	CDE	55.8	
	N150 – A2	6575	A	753	A	58.8	
	N0 – A3	44	H	7	G	44.0	
	N50 – A3	97	H	15	FG	48.2	
	N100 – A3	205	FGH	29	EFG	57.0	
	N150 – A3	96	GH	13	FG	54.0	
Sign.	C	**		**		**	
	A	**		**		**	
	C x A	**		**		ns	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo. Limiti Reg. EU 915/2023 NO₃ (PF - ppm): 3500 (spinacio, tutto l'anno).

Tabella 22. Spinacio - secondo ciclo: effetto delle concimazioni e degli ambienti su fotosintesi (A), traspirazione (E), conduttanza stomatica (gsw) e concentrazione di CO₂ (Ci).

		A μmol m⁻² s⁻¹		E mol m⁻² s⁻¹		gsw mol m⁻² s⁻¹		Ci μmol mol⁻¹	
Conc. (C)	N0	4.28	C	0.0013	A	0.08	A	298	A
	N50	5.05	B	0.0010	B	0.06	B	257	B
	N100	5.03	B	0.0010	B	0.06	B	251	B
	N150	6.45	A	0.0012	A	0.08	A	265	B
Amb. (A)	A1	4.87	B	0.0010	B	0.06	C	257	B
	A2	5.12	AB	0.0011	A	0.07	B	272	A
	A3	5.61	A	0.0013	A	0.08	A	274	A
C x A	N0 – A1	3.97	F	0.0011	BCD	0.08	BCD	294	B
	N50 – A1	5.27	BCDE	0.0010	DEF	0.06	DEF	250	DE
	N100 – A1	4.00	F	0.0007	F	0.04	F	236	DE
	N150 – A1	6.26	AB	0.0011	CDE	0.07	CDE	250	DE
	N0 – A2	4.10	EF	0.0012	ABC	0.08	ABC	291	A
	N50 – A2	4.39	DEF	0.0008	EF	0.05	EF	245	DE
	N100 – A2	6.22	AB	0.0015	AB	0.10	AB	288	B
	N150 – A2	5.76	BC	0.0010	CDEF	0.07	CDE	265	CD
	N0 – A3	4.76	CDEF	0.0014	AB	0.10	AB	311	A
	N50 – A3	5.48	BCD	0.0012	BCD	0.08	BCD	278	BC
	N100 – A3	4.85	CDEF	0.0008	EF	0.05	EF	228	E
	N150 – A3	7.33	A	0.0016	A	0.11	A	279	BC
Sign.	C	**		**		**		**	
	A	*		**		**		**	
	C x A	**		**		**		**	

Concimazione azotata (C) in relazione ai fabbisogni: 0 N, 50% dei fabbisogni, 100% dei fabbisogni, 150% dei fabbisogni. Ambienti di coltivazione sotto serra (A): A1 (area più calda sotto pannelli solari), A2 (area più fresca sotto pannelli solari), A3 (area fresca senza pannelli solari). Lettere diverse indicano trattamenti significativamente differenti secondo il test post hoc delle DMS. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns = non significativo.

7.2 Sperimentazione su specie legnose micorrizate con funghi del genere *Tuber*

L'attività ha valutato lo sviluppo di piante micorrizate con l'obiettivo di trovare una condizione di crescita che sia un compromesso valido per più specie micorriziche e che possa produrre un valore aggiunto sulla produzione vivaistica. Per questo è stato valutato l'effetto della copertura fotovoltaica semitrasparente su piante micorrizate con specie di funghi eduli del genere *Tuber*, che attualmente costituiscono un'applicazione ad alto reddito del settore agro-forestale italiano. Lo studio ha valutato la crescita, la biometria e la micorrizzazione radicale di plantule appartenenti a quattro specie arboree (*Corylus avellana*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*), micorrizate con due differenti specie di tartufo: *Tuber melanosporum* e *Tuber aestivum*. Le piante sono state suddivise in due gruppi sperimentali in base alla presenza o assenza di copertura fotovoltaica (BIPV).

Metodi

A partire dalla quarta settimana di acclimatazione sono state effettuate settimanalmente, misure dell'altezza (Figura 1) su ogni replica di ciascun gruppo campionario. La misura è stata registrata per cercare di verificare se la copertura BIPV ha effetto sugli andamenti di crescita delle piantine micorrizate.

Le altezze delle plantule sono state monitorate settimanalmente per nove settimane. I dati raccolti settimanalmente per ciascuna pianta sono stati aggregati per specie arborea e per specie di tartufo. Sono stati calcolati media e deviazione standard per ciascun gruppo (BIPV: sì / no). La significatività dell'interazione tra trattamento e tempo è stata valutata tramite modelli lineari con interazione (altezza ~ settimana BIPV).



Figura 1 - a) serra di ex-patologia del dipartimento di Agraria di Portici dove sono state effettuate le prove di crescita delle diverse specie vegetali micorrizate da differenti specie di *Tuber*; b) QR code per il monitoraggio delle condizioni ambientali (PAR, CO2, temperatura) e del substrato di coltivazione (umidità relativa, contenuto idrico); c) piantine micorrizate da *Tuber* rappresentanti il controllo del disegno sperimentale; d) misura delle altezze delle piantine con utilizzo di un metro pieghevole.

Alla fine della sperimentazione in vaso è stato misurato il peso dell'apparato radicale e della parte epigea di tutti gli individui. Le misure dei pesi sono state effettuate attraverso

campionamento distruttivo. A valle delle misure biometriche che ha incluso: peso della parte aerea, peso radicale, peso totale e rapporto parte aerea/radice. I dati sono stati analizzati per ciascuna specie arborea e per ciascuna specie di tartufo. Le differenze tra i gruppi BIPV sono state valutate tramite t-test a due campioni indipendenti e rappresentate nei grafici con lettere indicanti la significatività statistica (lettere diverse = $p < 0.05$).

Parallelamente alle misure biometriche si è valutata la percentuale di micorrizzazione su base morfologica delle micorrize. Nel dettaglio, l'apparato radicale è stato separato dalla porzione ipogea delle piantine. Si è proceduto ad una valutazione quali-quantitativa su ogni replica dei gruppi campionari. Sono stati individuati nell'apparato radicale, considerato nel suo insieme, due settori di uguale lunghezza: uno prossimale e l'altro distale. Sono state prelevate in modo casuale e in punti distanti tra loro 5 porzioni di radici nella metà prossimale e 5 porzioni nella metà distale.

Ogni porzione di radice prossimale e distale è stata analizzata al microscopio stereoscopico (Figura 2) e la micorrizzazione è stata analizzata tramite conteggio diretto del numero di apici micorrizzati con *Tuber* (ECM *Tuber*), apici micorrizzati da altre specie fungine (ECM di altre specie), e apici radicali non micorrizzati (Apici radicali nudi). L'effetto del trattamento BIPV è stato valutato separatamente per ogni specie (di tartufo e arborea) tramite ANOVA a una via.



Figura 2 - a) Pulizia dell'apparato radicale di *Q. pubescens* tramite immersione in acqua; b) osservazione al microscopio stereoscopico degli apici radicali delle porzioni prossimali e distali degli apici radicali di *Q. pubescens*; c) conta degli apici radicali micorrizzati da *Tuber*, da altre specie contaminanti e degli apici radicali nudi; d) Strumento utilizzato per effettuare la conta (contapollini).

Risultati

L'analisi per specie arborea ha mostrato una crescita regolare delle plantule nel tempo, con lievi differenze tra i gruppi BIPV. Tuttavia, i modelli lineari con interazione non hanno evidenziato differenze significative nelle pendenze delle curve di crescita tra i gruppi trattati e non trattati ($F < 0.05$; $p > 0.8$ per tutte le specie). Anche nel confronto tra *T. melanosporum* e *T. aestivum*, le curve di crescita risultavano sovrapponibili tra i due trattamenti. I modelli lineari hanno confermato l'assenza di effetti significativi del trattamento BIPV sulla crescita in altezza (*T. melanosporum*: $F = 0.0022$, $p = 0.963$; *T. aestivum*: $F = 0.00001$, $p = 0.998$) (Figura 3 e Figura 4).

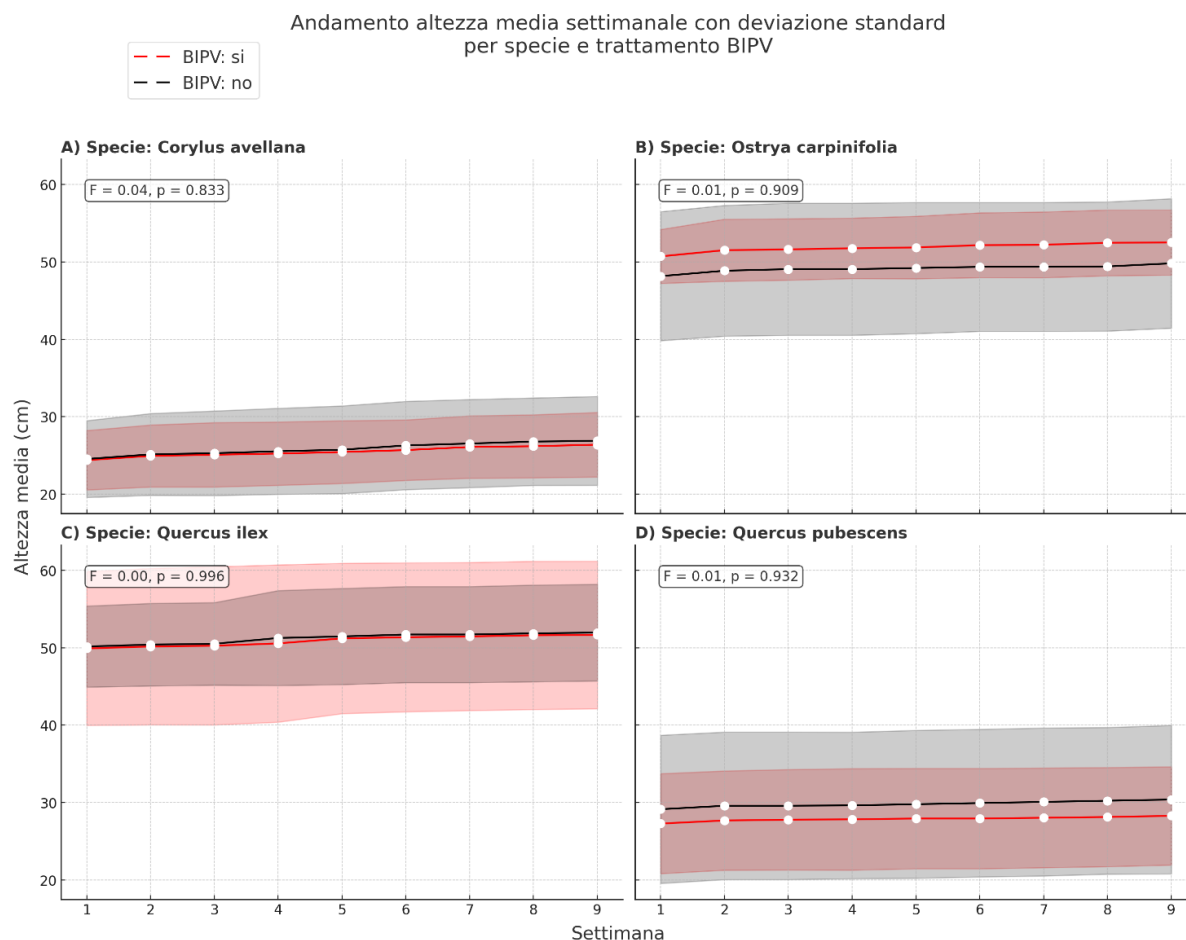


Figura 3 – Andamento dell'altezza media (\pm deviazione standard) delle plantule nel corso di nove settimane, suddiviso per specie arborea (*Corylus avellana*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens*, *Ostrya carpinifolia*) e trattamento BIPV. Le linee rosse rappresentano il gruppo trattato con BIPV, mentre le linee nere indicano il gruppo di controllo (senza BIPV). In ciascun pannello è riportato il valore di F e il p-value derivati dal modello lineare con interazione (Settimana \times BIPV), utilizzato per valutare eventuali differenze nelle pendenze delle curve di crescita.

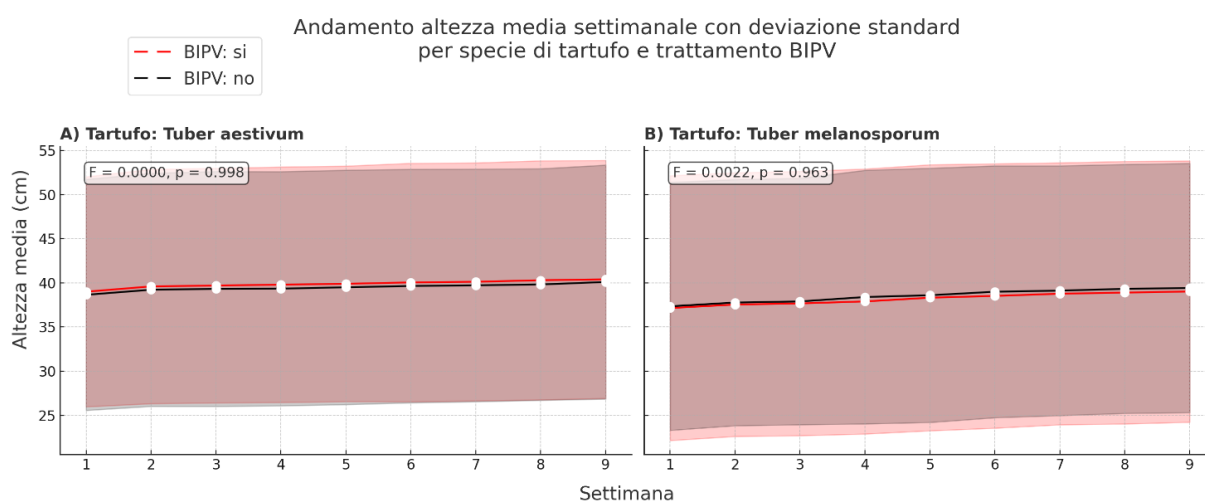


Figura 4 – Curve di crescita media (\pm deviazione standard) delle plantule micorrizzate con *Tuber melanosporum* e *Tuber aestivum*, suddivise per trattamento BIPV. Le linee rosse indicano le plantule sottoposte a BIPV, mentre le linee nere rappresentano le plantule non trattate. Ogni pannello mostra l'interazione tra tempo e trattamento valutata tramite modello lineare (Settimana \times BIPV); i risultati (F e p) indicano l'assenza di effetti statisticamente significativi del trattamento BIPV sulla pendenza delle curve di crescita in entrambi i gruppi.

L'analisi biometrica non ha evidenziato effetti consistenti del trattamento BIPV. Le differenze osservate tra BIPV:sì e BIPV:no erano in gran parte non significative, sia per specie di tartufo sia per specie arborea. In alcune specie arboree, sono emerse differenze significative in singole variabili biometriche, suggerendo una possibile risposta specie-specifica, ma non uniforme né sistematica (Figura 5 e Figura 6).

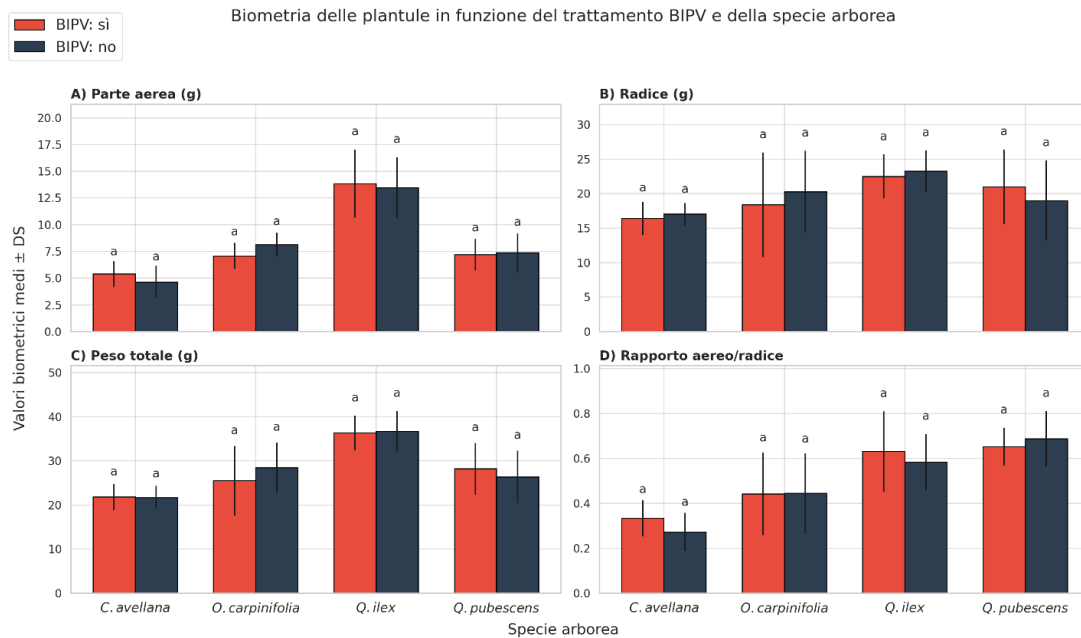


Figura 5 - Valori biometrici medi (\pm deviazione standard) delle plantule micorrizate con *Tuber melanosporum* e *Tuber aestivum*, suddivise per trattamento BIPV. I pannelli riportano: (A) peso della parte aerea, (B) peso della radice, (C) peso totale e (D) rapporto tra parte aerea e radice. Le barre rosse indicano il trattamento BIPV, mentre quelle nere indicano il controllo. Le lettere sovrapposte alle barre indicano differenze statisticamente significative (t-test, $p < 0.05$).

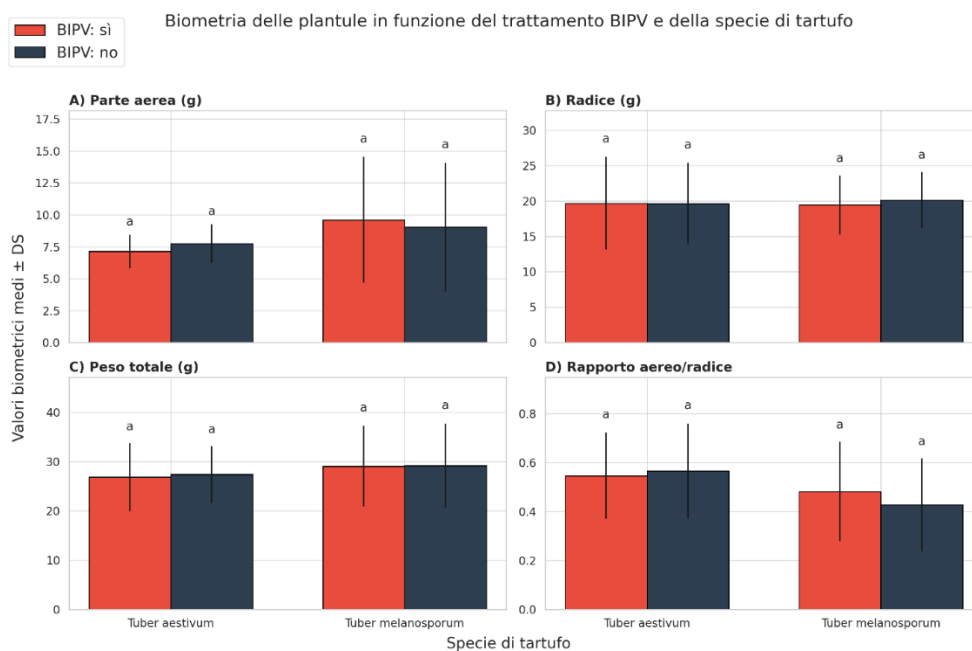


Figura 6 - Valori biometrici medi (\pm deviazione standard) delle plantule suddivise per specie arborea (*C. avellana*, *Q. ilex*, *Q. pubescens*, *O. carpinifolia*) e per trattamento BIPV. Le variabili considerate includono: (A) parte aerea, (B) radice, (C) peso totale e (D) rapporto parte aerea/radice. Le lettere indicano il risultato del test statistico tra trattamenti (t-test): lettere uguali = differenza non significativa; lettere diverse = differenza significativa ($p < 0.05$).

Per quanto riguarda la micorrizzazione, i grafici mostrano composizioni diverse dell'apparato radicale tra le specie. Le ANOVA effettuate per ciascuna specie di tartufo non hanno rilevato differenze significative tra i gruppi BIPV per nessuna delle tre variabili considerate (ECM Tuber, ECM di altre specie, Apici radicali nudi; $p > 0.05$ in tutti i casi). Lo stesso risultato è stato osservato per le specie arboree, confermando l'assenza di effetti sistematici del trattamento BIPV sulla colonizzazione radicale (Figure 7 e 8 e Tabelle 1 e 2).

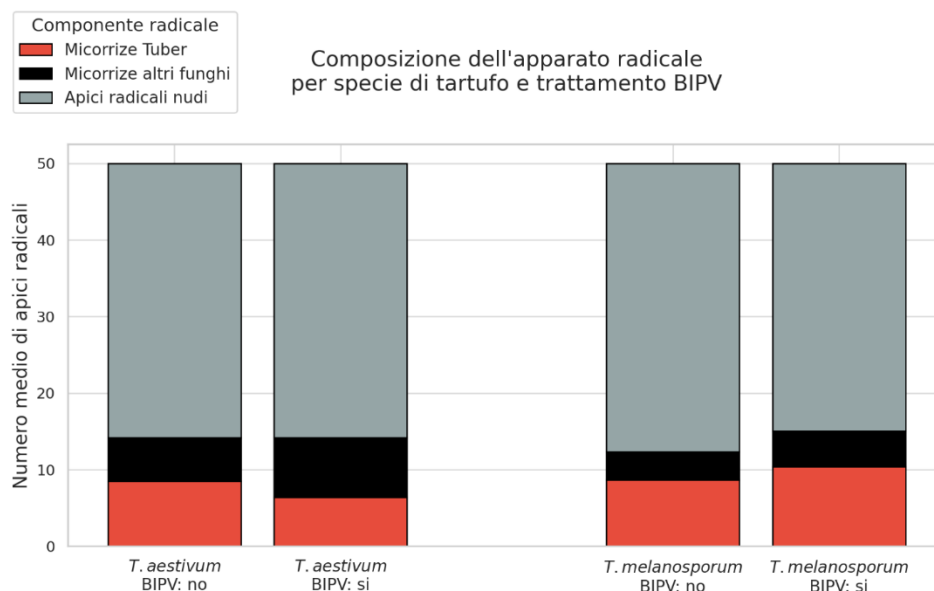


Figura 7 - Composizione dell'apparato radicale medio delle plantule micorrizzate con *Tuber melanosporum* o *Tuber aestivum*, suddivise per trattamento BIPV (si/no). Le barre impilate rappresentano, per ciascun gruppo, la media del numero di apici micorrizzati con Tuber (rosso), micorrizzati con altri funghi (nero), e apici radicali nudi (grigio). I nomi delle specie sono riportati in corsivo e con abbreviazione del genere. Nessuna delle differenze osservate è risultata statisticamente significativa (ANOVA, $p > 0.05$).

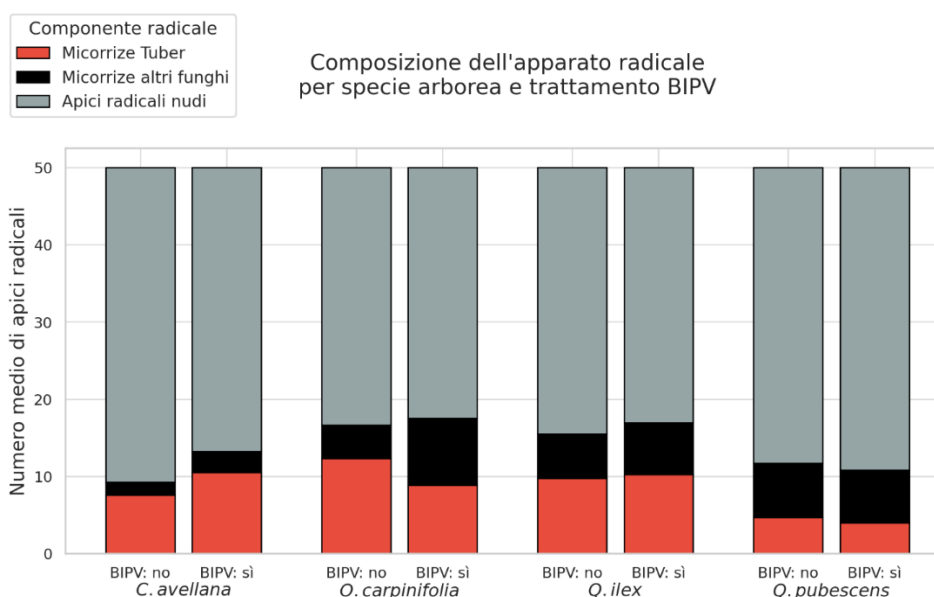


Figura 8 - Composizione media dell'apparato radicale delle plantule suddivise per specie arborea e trattamento BIPV. Le colonne rappresentano il numero medio di apici micorrizzati da Tuber (rosso), da altri funghi (nero), e apici non micorrizzati (grigio). I nomi delle specie arboree sono riportati in corsivo con genere abbreviato e sono centrati sotto le coppie di colonne corrispondenti ai due trattamenti. Le differenze tra trattamenti non sono risultate statisticamente significative (ANOVA, $p > 0.05$).

Tabella 23 – Risultati dell’analisi della varianza (ANOVA a una via) per ciascuna specie di tartufo e per ogni variabile radicale. I valori riportati indicano il valore della statistica F e il corrispondente p-value per l’effetto del trattamento BIPV. Nessuna delle analisi ha evidenziato differenze significative ($p < 0.05$).

Specie di tartufo	Variabile	F	p-value
<i>T. melanosporum</i>	ECM_Tuber	0.849	0.3586
	ECM_other	0.526	0.4699
	Naked_root_tips	1.433	0.2337
<i>T. aestivum</i>	ECM_Tuber	2.224	0.1385
	ECM_other	1.097	0.2971
	Naked_root_tips	0.0	0.9938

Tabella 24 – Risultati dell’analisi della varianza (ANOVA a una via) per ciascuna specie arborea e per ogni variabile radicale. I valori di F e p-value si riferiscono all’effetto del trattamento BIPV. Nessuna differenza significativa è stata rilevata ($p > 0.05$).

Specie arborea	Variabile	F	p-value
<i>Quercus ilex</i>	ECM_Tuber	0.032	0.8576
	ECM_other	0.148	0.7023
	Naked_root_tips	0.185	0.6683
<i>Quercus pubescens</i>	ECM_Tuber	0.253	0.6168
	ECM_other	0.002	0.9664
	Naked_root_tips	0.072	0.7891
<i>Ostrya carpinifolia</i>	ECM_Tuber	2.61	0.1116
	ECM_other	3.02	0.0875
	Naked_root_tips	0.096	0.7578
<i>Corylus avellana</i>	ECM_Tuber	1.387	0.2438
	ECM_other	1.041	0.3119
	Naked_root_tips	1.865	0.1773

Conclusioni

I risultati ottenuti indicano che l’impiego di coperture BIPV non generano effetti significativi né sulla crescita in altezza, né sulle caratteristiche biometriche o sulla colonizzazione micorrizica delle plantule. Le variazioni osservate si sono rivelate specie-specifiche e prive di un pattern sistematico. Tali evidenze suggeriscono che l’integrazione di impianti fotovoltaici semitrasparenti in ambienti di coltivazione micorrizica può rappresentare una strategia sostenibile e compatibile con la produzione vivaistica tartufigena, senza compromettere le performance vegetative o simbiotiche delle piante.

7.3 Simulazione dell'attività fotosintetica di specie ortive

Basandosi su lavoro pregresso effettuato dal gruppo di ricerca nel precedente triennio (PTR2021), è stato ulteriormente calibrato un modello di fotosintesi dinamica sviluppato per riprodurre la risposta di piante a condizioni di luce variabile nel tempo. Utilizzando i dati di fotosintesi ottenuti dalla sperimentazione su specie ortive e i relativi dati ambientali, i parametri specie-specifici del modello sono stati calibrati per tre delle quattro specie selezionate (lattuga, bietola e spinacio). La performance del modello è buona nel riprodurre i flussi fotosintetici, mostrando la sua potenziale utilità nello stimare tale grandezza a partire da parametri ambientali quali temperatura dell'aria e PAR (radiazione fotosinteticamente attiva).

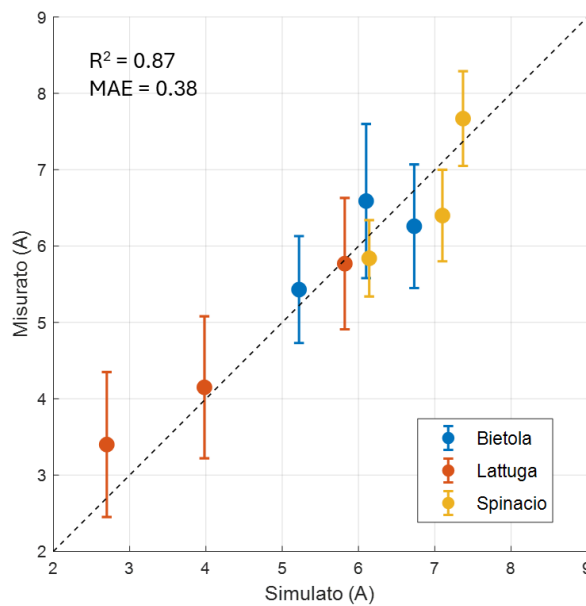


Figura 9 – Risultati del modello di simulazione della fotosintesi (A) in tre specie ortive.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state utilizzate consulenze all'interno della LA.

9 Pubblicazioni scientifiche

In relazione alle attività condotte, sono in preparazione due pubblicazioni scientifiche.

10 Eventi di disseminazione

Non sono stati effettuati eventi di disseminazione scaturiti dall'attività svolta.