



VFARM

Vertical Farming Sostenibile

D2.2 Microgreens: test su substrati, nutrizione minerale e bio-fortificazione



Acronimo:	VFARM
Titolo completo:	Vertical Farming sostenibile
Codice progetto:	2020ELWM82
Finanziamento	PRIN
Coordinatore:	Università di Bologna
Inizio del progetto:	8 Maggio, 2022
Durata del progetto:	36 mesi

	Caratteristiche documento
Titolo:	D2.2 MICROGREENS: TEST SU SUBSTRATI, NUTRIZIONE MINERALE E BIO-FORTIFICAZIONE
Work Package:	WP2
Partner responsabile:	University of Turin and University of Naples
Autori principali:	Cosimo Matteo Profico, Fabiana Marino, Silvana Nicola
Altri autori:	Christophe El-Nakhel, Giuseppe Carlo Modarelli, Chiara Cirillo, Stefania De Pascale
Numero di pagine:	53



Indice dei contenuti

1. Introduzione	6
1.1 Obiettivi Progetto	6
1.2 Obiettivi del deliverable	7
1.3 <i>Microgreens</i> : una nuova classe di colture	8
1. Coltivazione di 14 specie di <i>microgreens</i> coltivati con diversa gestione di soluzione nutritiva con due combinazioni di spettro luminoso - UNITO	10
2.1 Materiali e metodi	10
2.2 Risultati	12
2.2.1 Tempi di crescita e consumo di risorse idrico-nutrizionali	12
2.2.2 Valutazione della resa e delle proprietà nutrizionali	16
2. Prove di coltivazione con due spettri di luce in <i>microgreens</i> di <i>Daucus carota</i> e <i>Ocimum basilicum</i> - UNITO	25
3. Test di coltivazione con tre tipologie di substrato in <i>microgreens</i> di <i>Apiaceae</i> e <i>Lamiaceae</i> irrigati con due soluzioni nutritive - UNITO	25
4. Valutazione quanti-qualitativa di 16 genotipi di basilico per la produzione di <i>microgreen</i> - UNINA	26
5.1 Introduzione	26
5.2 Materiali e Metodi	26
5.3 Risultati	27
5. Effetto di biostimolanti radicali su <i>microgreen</i> di basilico Limoncello in floating system - UNINA	30
6.1 Introduzione	30
6.2 Materiali e metodi	31
<hr/>	
	3



6.3 Risultati	32
6. Effetto del trattamento con <i>Bacillus subtilis</i> su crescita e qualità di microgreen di mibuna e pak choi allevati in floating system - UNINA	34
7.1 Materiali e metodi	34
7.2 Risultati	35
7. Confronto di due sistemi di coltivazione (terriccio e floating) in microgreen di due specie di <i>Brassicaceae</i> (mibuna e pak choi) - UNINA	38
8.1 Introduzione	38
8.2 Materiali e metodi	38
8.3 Risultati	39
8. Effetto del tipo di soluzione nutritiva (idroponica o acquaponica) e di due diversi substrati per la produzione di microgreen di canapa - UNINA.....	42
9.1 Introduzione	42
9.2 Materiali e metodi	43
9.3 Risultati	44
9. Gestione della soluzione nutritiva combinata con due diversi substrati per la produzione di microgreens di canapa – UNINA	47
10.1 Materiali e metodi	47
10.2 Risultati	48
10. Biofortificazione di microgreen di canapa con selenato di sodio - UNINA	49
11.1 Introduzione.....	49
11.2 Materiali e metodi	49
11.3 Risultati	50
11. Bibliografia	51





1. Introduzione

1. Obiettivi Progetto

Il progetto VFarm – Vertical Farming sostenibile (CUP: J33C20002350001) è un progetto PRIN (progetti di ricerca di rilevante interesse nazionale) finanziato nell’ambito della call 2020. Il progetto mira all’identificazione di strategie innovative per il vertical farming, implementando un approccio interdisciplinare che integra orticoltura e fisiologia vegetale con applicazioni negli ambiti dell’ingegneria e delle scienze economiche ed ambientali. Il progetto mira a definire le caratteristiche ottimali di sistemi di coltivazione e controllo climatico, adattando le tecnologie alle diverse specie coltivate e consentendo di progettare unità di coltivazione modulari ed adattabili a diversi contesti in città italiane. Inoltre, promuove collaborazioni tra le università partner e aziende operanti nel settore per consentire un rapido trasferimento delle conoscenze generate, permettendo infine l’identificazione e la validazione delle soluzioni tecnologiche ottimali per l’implementazione del vertical farming in Italia. VFarm è coordinato dall’Università di Bologna Alma Mater Studiorum, e ha come partner l’Università di Napoli Federico II, l’Università degli Studi di Torino e l’Università degli Studi di Padova.

Gli obiettivi specifici del progetto sono:

- Studiare l’adattabilità di 7 tipologie di prodotti al vertical farming (WP2)
- Progettare soluzioni tecnologiche ottimali in termini di sistemi di coltivazione, gestione della luce e controllo del clima (WP3)
- Valutare la sostenibilità, sociale, ambientale ed economica delle vertical farm (VF) tramite analisi del ciclo di vita (LCA, eLCC e S-LCA) e con riferimento all’uso delle risorse (energia, acqua e nutrienti) (WP4)



- Definire le tecnologie ottimali, integrandole sia a VF di piccola scala realizzate all'interno di container sia a quelle a grande scala realizzate all'interno di magazzini industriali (WP5).

1.2 Obiettivi del deliverable

Il WP2 ha lo scopo di studiare l'adattabilità di 7 tipologie di prodotti al *vertical farming*, focalizzandosi in particolare su:

1. Orticole e aromatiche;
2. Microgreens;
3. Fiori edibili;
4. Spezie;
5. Piccoli frutti;
6. Funghi;
7. Produzione acquaponica.

L'obiettivo di questo deliverable (2.2) è quello di identificare le specie e i substrati più adatti, valutare la possibilità di coltivare i microgreens utilizzando solo acqua e identificare l'apporto ottimale di selenio e iodio per ottenere prodotti fortificati. I casi studio presentati si riferiscono a prove sperimentali condotte all'interno della MicroPFALs del Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestale e Alimentari (DISAFA) dell'Università di Torino e nella camera di crescita all'interno del Dipartimento di Agraria dell'Università degli studi di Napoli Federico II. Presso l'Università di Torino sono state effettuate delle prove di coltivazione di microgreens appartenenti alla famiglia delle *Apiaceae* e delle *Lamiaceae*, mentre presso l'Università di Napoli Federico II le prove sono state condotte coltivando microgreen appartenenti alle famiglie delle *Lamiaceae*, delle *Brassicaceae* e delle *Cannabaceae*.

Nello specifico, gli obiettivi analizzati in questo deliverable sono:



1. Valutazione della resa e della componente nutraceutica utilizzando uno spettro rosso:blu (R:B) con due diversi rapporti in *microgreens* di 14 specie di piante di diverse famiglie (*Amaryllidaceae*, ***Apiaceae***, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Cucurbitaceae*, *Fabaceae* e ***Lamiaceae***).
2. Valutazione quanti-qualitativa di 16 genotipi di basilico per la produzione di *microgreens*.
3. Effetto di biostimolanti radicali su *microgreens* di basilico Limoncello (*Ocimum × citriodorum*) in floating system utilizzando diverse soluzioni nutritive.
4. Effetto del trattamento con *Bacillus subtilis* su crescita e qualità di *microgreen* di mibuna (*Brassica rapa* L. subsp. nipposinica) e pak choi (*Brassica rapa* L. subsp. chinensis) in floating system.
5. Confronto di due sistemi di coltivazione (terriccio e floating) in *microgreen* di due specie di *Brassicaceae* (mibuna e pak choi).
6. Effetto del tipo di soluzione nutritiva (idroponica o acquaponica) e di due diversi substrati per la produzione di *microgreens* di canapa (*Cannabis sativa* L.).
7. Gestione della soluzione nutritiva combinata con due diversi substrati per la produzione di *microgreens* di canapa.
8. Biofortificazione di *microgreen* di canapa con selenato di sodio.

1.3 *Microgreens*: una nuova classe di colture.

Negli ultimi anni, i *microgreens* hanno guadagnato una crescente popolarità come nuovi ingredienti culinari grazie alla vasta gamma di sapori che caratterizza le diverse specie e grazie al loro gradevole aspetto estetico che valorizza le preparazioni gastronomiche (Pinto, 2015). I *microgreens* sono prodotti da seme e la loro dimensione è solitamente compresa tra 3 e 10 cm di altezza a seconda della specie e delle condizioni di crescita. Le giovani piantine vengono generalmente raccolte senza radici alla base degli ipocotili (Kyriacou, 2016). La raccolta viene effettuata quando i cotiledoni sono completamente espansi, con o senza l'emergenza del primo paio di foglie vere, solitamente entro 7 o 21 giorni



dalla germinazione del seme a seconda della specie (Kyriacou, 2016; Puccinelli, 2019). Oltre ad essere una novità gastronomica, i *microgreens* costituiscono una classe emergente di *functional food* da consumare fresco con un elevato contenuto in metaboliti secondari benefici per la salute (Kyriacou, 2019).

Questo nuovo *super food* è infatti ricco in macro e microelementi minerali (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se e Mo), carotenoidi (β -carotene, luteina/zeaxantina, neoxantina, violaxantina), acido ascorbico (vitamina C), α e γ -tocoferoli (gruppo vitamina E), fillochinone (vitamina K1), composti fenolici e presenta un basso contenuto di nitrati (Pinto, 2015; Kyriacou, 2016).

Grazie alle piccole dimensioni e al breve ciclo di coltivazione, i *microgreens* si adattano perfettamente alle *vertical farms*. Essendo una nuova classe di coltura, i *microgreens* sono ancora in una fase relativamente iniziale di studio e le informazioni sulle migliori condizioni di coltivazione e di gestione in fase pre e post-raccolta sono ancora limitate (Kyriacou, 2016).

In questo lavoro sono state valutate quali specie tra *Brassicaceae*, *Asteraceae*, *Amaranthaceae*, *Cucurbitaceae*, *Lamiaceae* ed *Apiaceae* meglio si adattano all'ottenimento di *microgreens*, quali substrati sono i più indicati e la variabilità nella resa e nel contenuto in metaboliti bioattivi utilizzando diversi spettri di luce e diversa gestione delle soluzioni nutritive.



1. Coltivazione di 14 specie di *microgreens* coltivati con diversa gestione di soluzione nutritiva con due combinazioni di spettro luminoso - UNITO

2.1 Materiali e metodi

Per comprendere come la luce influenzi la coltivazione di *microgreens* ed il loro sviluppo è stata eseguita una sperimentazione che ha riguardato 14 specie di piante di diverse famiglie (*Amaryllidaceae*, ***Apiaceae***, *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Cucurbitaceae*, *Fabaceae* e ***Lamiaceae***). Le piante sono state coltivate in un modulo di Micro-Vertical Farm (*MitTech*) in un sistema di coltivazione con tappetino capillare a base di juta. Durante la coltivazione è stata utilizzata la soluzione nutritiva “Summer” (SN) a mezza forza per tutti i macro e micro elementi, composta da un rapporto 60/40 N-NO₃⁻/N-NH₄⁺ costituito da 6 N mM, 2 P mM, 6 K mM, 2 Mg mM e 2.5 Ca mM (Fontana e Nicola, 2008; Nicola et al., 2004, Nicola et al., 2007) e la formulazione di microelementi (Oligogreen®, Greenhas S.p.A., Canale, Cuneo Italia) è stata aggiunta alla SN alla dose di 0.15 g L⁻¹. Il pH e la conducibilità elettrica della soluzione nutritiva sono stati mantenuti nell’intervallo di 5.5-6.5 e di 1.2-1.4 dS cm⁻¹, rispettivamente. Lo spettro luminoso utilizzato era composto dalle stesse lunghezze d’onda, in percentuale, nella regione del verde (G, 15%), rosso (R, 61%) e rosso lontano (FR, far-red, 11%), e da due diverse percentuali di blu (B) per ottenere i diversi rapporti rosso:blu (R:B), pari a 12% e 24%, rispettivamente, il rapporto R:B= 5.08 e R:B=2.33. Il PPFD è stato mantenuto costante a 255 μmol m⁻² s⁻¹ e il fotoperiodo pari a 14 h day⁻¹. Durante le fasi di germinazione la temperatura e l’umidità relativa di coltivazione



sono state mantenute a 24°C e 95%, rispettivamente, e successivamente, per la fase vegetativa, sono state mantenute costanti a 24°C e 70%.

Le specie coltivate sono state le seguenti, con seme proveniente da RB Sementi:

- *Allium cepa* “Borettana” (Cipolla)
- *Allium porrum* “Porro lungo della riviera” (Porro)
- *Brassica oleracea* “Palla di neve” (Cavolfiore)
- *Brassica oleracea* “Mercato copenhagen” (Cavolo cappuccio)
- *Brassica rapa* “50 giorni” (Brassica Rapa)
- *Cichorium endivia* “Pancalieri” (Pancalieri)
- *Cichorium scarola* “Gigante degli ortolani” (Scarola)
- *Cucumis melo* “Cantalupo de Charentais” (Melone)
- *Daucus carota* “Amsterdam 2” (Carota)
- *Lactuca sativa* “Gentilina” (Lattuga)
- *Ocimum basilicum* “Fine verde” (Basilico verde)
- *Ocimum basilicum* “Red rubin” (Basilico rosso)
- *Pisum sativum* “Maestro” (Pisello)
- *Raphanus sativus* “Multicolor” (Ravanello)

Lo schema sperimentale impiegato è stato la randomizzazione completa tra le 14 specie con 2 repliche per ogni specie.

Durante la prova sono stati valutati i seguenti parametri:

- I giorni necessari per l'emissione della radice e dei cotiledoni;
- I giorni per l'espansione dei cotiledoni;
- I giorni di emissione della prima foglia vera
- I volumi di acqua e soluzione nutritiva impiegata



Infine, al termine della raccolta finale, sono stati valutati i seguenti parametri per una valutazione di crescita, resa e contenuto di metaboliti:

- Resa, espressa in g di peso fresco (Fresh Weight, FW), g FW m⁻²;
- Clorofille totali, espresse come mg g⁻¹ FW;
- Fenoli totali, espressi come nmol mg⁻¹ FW;
- Nitrati totali, mg kg⁻¹ FW.

2.2 Risultati

2.2.1 Tempi di crescita e consumo di risorse idrico-nutrizionali

Le diverse piante saggiate durante la prova hanno raggiunto i vari stadi vegetativi e la maturazione commerciale (prima foglia vera) con tempistiche diverse. Le 14 specie di piante coltivate sono state raggruppate in tre gruppi in base ai giorni necessari per raggiungere la fase della prima foglia vera, che ne determina la raccolta:

- 1° gruppo: include 6 specie (specie con seme di ridotte dimensioni).
- 2° gruppo: include 4 specie (tutte *Brassicaceae*).
- 3° gruppo: include 4 specie (specie caratterizzate da seme più vigoroso).

La Tabella 1 riassume i giorni necessari per la distensione cotiledonare, l'emissione della prima foglia vera e il tempo di raccolta dalla semina per ciascuna varietà.



Tabella 1. Tempi di sviluppo delle piante raggruppate in base ai giorni necessari per raggiungere lo sviluppo della prima foglia vera. Sono indicate le varietà testate per ciascuna specie e i giorni dopo la semina necessari per la distensione cotiledonare, l'emissione della prima foglia vera e il tempo di raccolta.

Gruppi di piante	Specie		Varietà	Giorni dopo la semina		
				Distensione cotiledonare	Prima foglia vera	Raccolta
1° gruppo	<i>Lactuca</i>	<i>sativa</i>	Gentilina	5	12	17
	<i>Cichorium</i>	<i>endivia</i>	Pancalieri	5	14	17
	<i>Cichorium</i>	<i>scarola</i>	Gigante degli ortolani	6	13	17
	<i>Ocimum</i>	<i>basilicum</i>	Fine verde	3	15	17
	<i>Ocimum</i>	<i>basilicum</i>	Red rubin	4	15	17
	<i>Daucus</i>	<i>carota</i>	Amsterdam 2	8	15	18
2° gruppo	<i>Brassica</i>	<i>oleracea</i>	Palla di neve	7	12	15
	<i>Raphanus</i>	<i>sativus</i>	Multicolor	6	10	13
	<i>Brassica</i>	<i>rapa</i>	50 giorni	6	10	15
	<i>Brassica</i>	<i>oleracea</i>	Mercato copenhagen	6	11	15
3° gruppo	<i>Cucumis</i>	<i>melo</i>	Cantalupo de charentais	8	12	14
	<i>Pisum</i>	<i>sativum</i>	Maestro	7	9	14
	<i>Allium</i>	<i>porrum</i>	Porro lungo della riviera	9	/	14
	<i>Allium</i>	<i>cepa</i>	Borettana	7	/	14

La gestione dell'irrigazione e dell'apporto della soluzione nutritiva è stata diversa per ogni gruppo. La Figura 1 mostra le differenze nei regimi di crescita delle diverse varietà di piante, evidenziando come ciascuna pianta ha richiesto specifiche condizioni di buio, acqua e nutrizione per un periodo ottimale di crescita. Infatti, i tempi di coltivazione delle diverse varietà di piante sono suddivisi in tre fasi: buio, acqua e soluzione nutritiva.



- **Buio (Nero):** le piante hanno avviato il processo di germinazione con nebulizzazione giornaliera di acqua sui semi in condizioni di buio per un periodo che è variato da 2 a 8 giorni a seconda della specie.
- **Acqua (Azzurro):** dopo il periodo di buio, le piante sono state irrigate con sola acqua per un periodo da 2 a 9 giorni.
- **Soluzione nutritiva (Giallo):** le piante sono state irrigate con una soluzione nutritiva per un periodo che varia da 3 a 9 giorni fino alla raccolta.

Le piante di cipolla e porro hanno richiesto un periodo più lungo al buio e acqua rispetto ad altre specie, mentre basilico verde e rosso hanno richiesto un periodo relativamente breve al buio e una lunga durata in acqua prima di passare alla soluzione nutritiva. Le piante di pisello e melone hanno avuto una transizione rapida da buio a soluzione nutritiva rispetto ad altre specie. La decisione di utilizzare solo acqua per l'irrigazione durante i primi giorni di crescita è stata necessaria per evitare il possibile danneggiamento delle radici causato dall'incremento della conducibilità in seguito all'apporto della soluzione nutritiva.

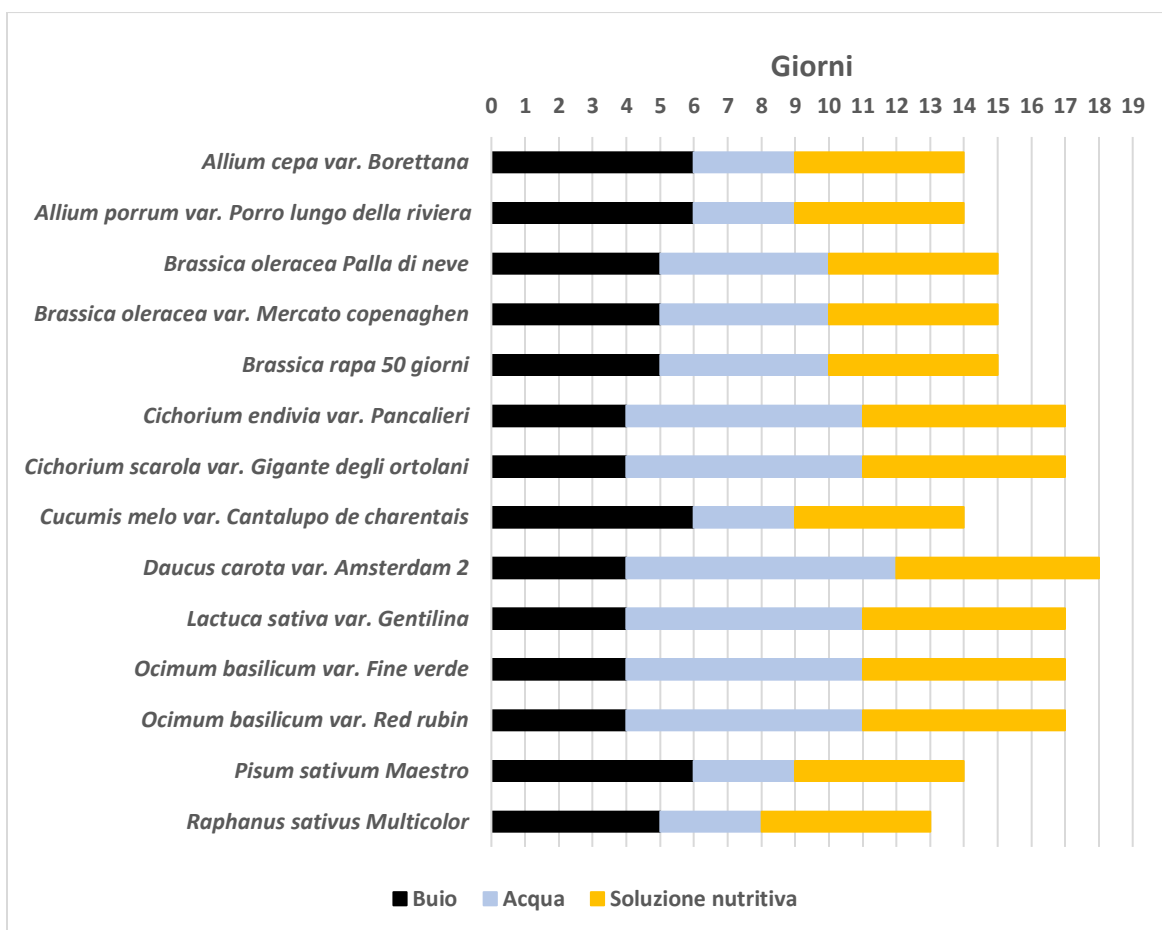


Figura 1. Gestione dell'irrigazione delle diverse piante in tre fasi: buio (nebulizzazione con acqua), acqua e soluzione nutritiva.

La quantificazione dei volumi impiegati per la coltivazione delle 14 specie esaminate è stata ottenuta come segue:

1. **Periodo al buio:** I semi e le radici sono stati irrigati tramite nebulizzazione superficiale con circa 20 ml al giorno per tutte le specie.
2. **Fase di irrigazione con acqua e soluzione nutritiva (SN):**



- Il primo giorno è stato apportato il volume minimo necessario, determinato da prove preliminari (dati non mostrati), per assicurare una sufficiente bagnatura delle radici:
 - 1° gruppo: 250 ml
 - 2° gruppo: 350 ml
 - 3° gruppo: 500 ml
- Questi volumi di soluzione nutritiva sono stati mantenuti costanti fino alla raccolta. Ogni giorno è stata eseguita la quantificazione del volume residuo e, in caso di necessità, è stato aggiunto il volume assorbito dalle piante.

3. Volumi medi consumati per specie per gruppo:

- 1° gruppo: 800 ml
- 2° gruppo: 1100 ml
- 3° gruppo: 1850 ml

2.2.2 Valutazione della resa e delle proprietà nutrizionali

Nel caso del primo gruppo è stato possibile notare riduzione significativa della resa di carota con spettro R:B=2.33. Al contrario, nel caso lattuga, le rese sono state inferiori, evidenziando l'effetto dello spettro di luce R:B=5.08, che ha determinato una riduzione significativa della resa rispetto alle piante coltivate con R:B=2.33 (Fig. 2).

Nel caso del secondo gruppo di piante, composto solo da *Brassicaceae*, il ravanella ha mostrato la resa più elevata rispetto alle altre specie, ma non sono stati rilevati effetti significativi tra i due spettri di luce impiegati (Fig. 3). Il terzo gruppo di piante ha evidenziato una differenza significativa solo nel caso del melone che ha ridotto la resa con lo spettro R:B=5.08 (Fig. 4).

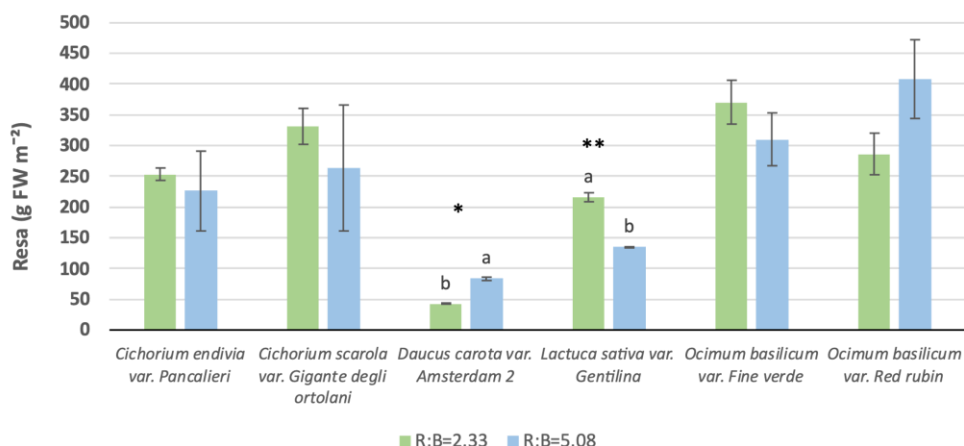


Figura 2. Risultati per la resa relativi al 1° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

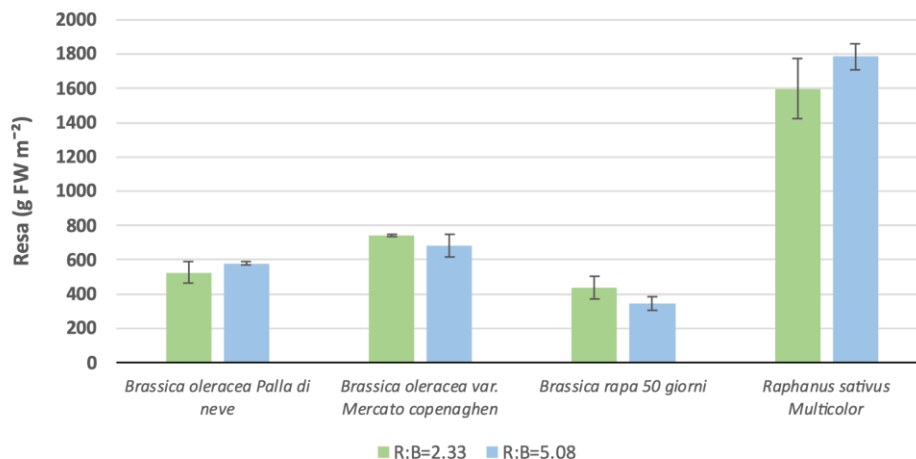


Figura 3. Risultati per la resa relativi al 2° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

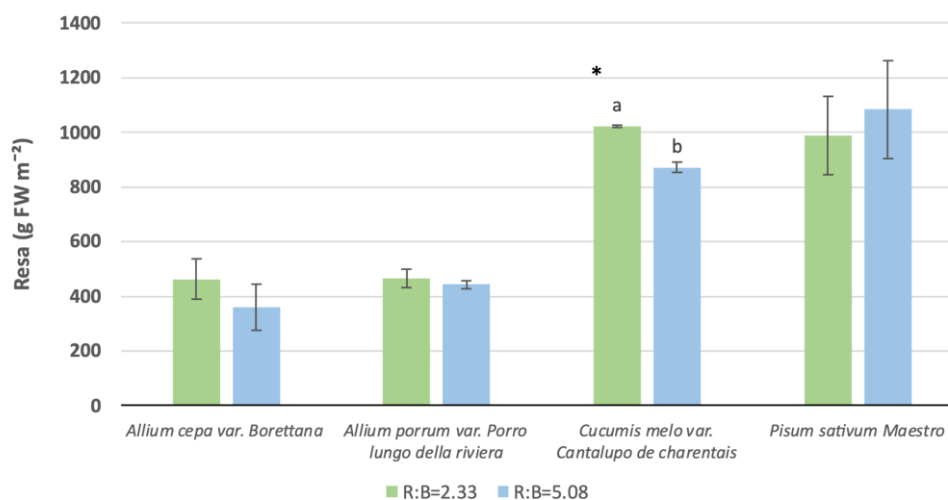


Figura 4. Risultati per la resa relativi al 3° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

Il contenuto delle clorofille totali non è variato significativamente nella maggior parte delle specie saggiate. Nel caso della scarola è stata riscontrata una riduzione significativa del contenuto di clorofille in piante coltivate con R:B=5.08. (Fig. 5, 6, 7).

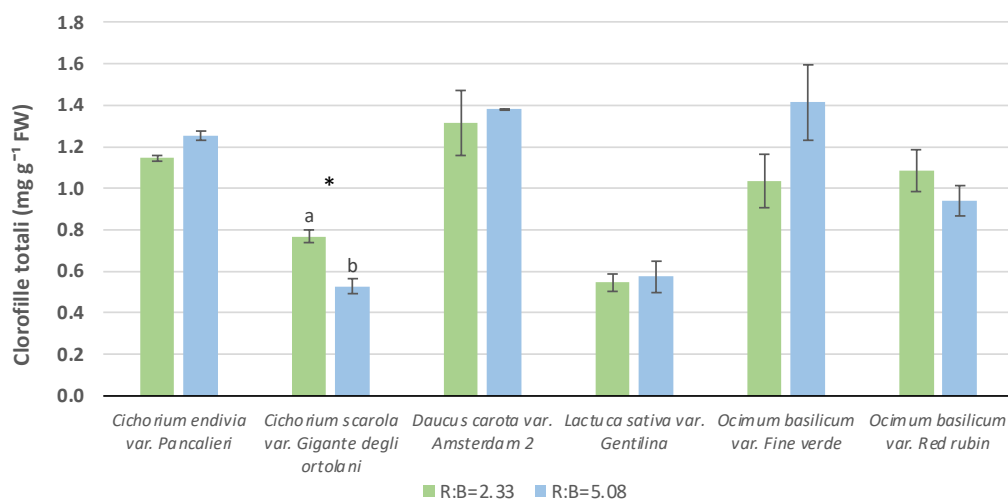


Figura 3. Risultati per le clorofille totali per il 1° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

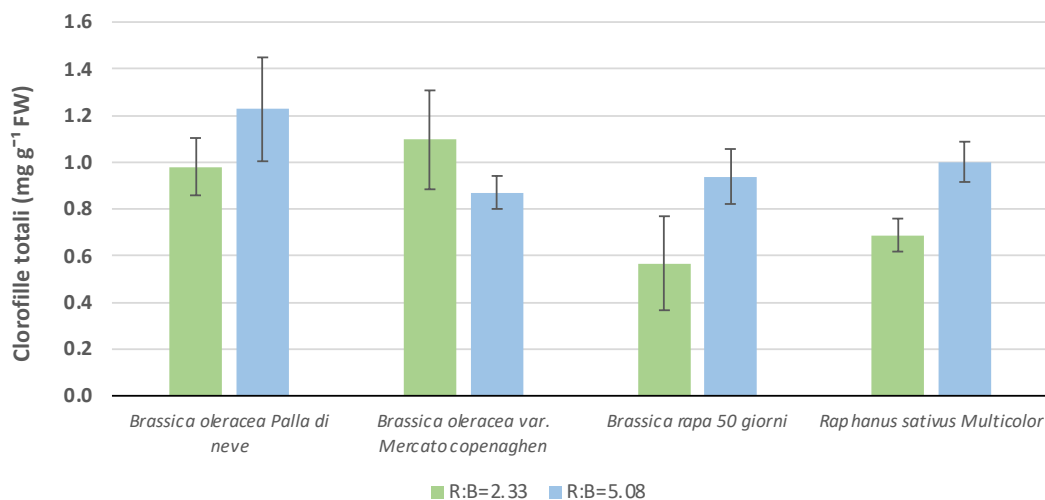


Figura 6. Risultati per le clorofille totali per il 2° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

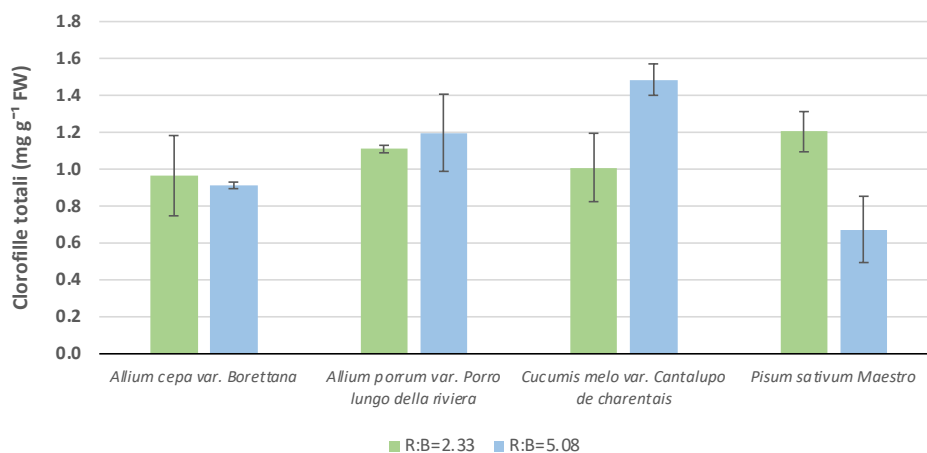


Figura 7. Risultati per le clorofille totali per il 1° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

Tra i parametri utilizzati per determinare il valore nutrizionale di un prodotto fresco sono inclusi la quantificazione dei fenoli totali (potere antiossidante) e il contenuto di nitrati (fattore anti-nutrizionale). I fenoli totali nelle specie analizzate hanno mostrato un andamento simile in tutti e tre i gruppi di piante. Nel primo gruppo, il basilico rosso, come confermato dalla letteratura, ha il contenuto di fenoli più elevato, seguito dal basilico verde. In entrambi, il contenuto di fenoli è leggermente ridotto nelle piante con spettro di luce caratterizzato da R:B=5.08, ma senza riportare differenze significative. Le altre specie del primo gruppo hanno un contenuto di fenoli basso rispetto al basilico, ma simile tra loro (Fig. 8). Nel secondo gruppo, il contenuto di fenoli più elevato è stato riscontrato nel cavolfiore con spettro di luce R:B=2.33, ma senza riportare differenze significative. Le altre *Brassicaceae* hanno mostrato un contenuto di fenoli simile (Fig. 9). Nel terzo gruppo, il contenuto di fenoli più elevato è stato riscontrato in pisello e porro, con lo spettro R:B=2.33 per il primo e R:B=5.08 per il secondo (differenza



significativa). Per melone e cipolla, non sono state riscontrate differenze significative (Fig.10).

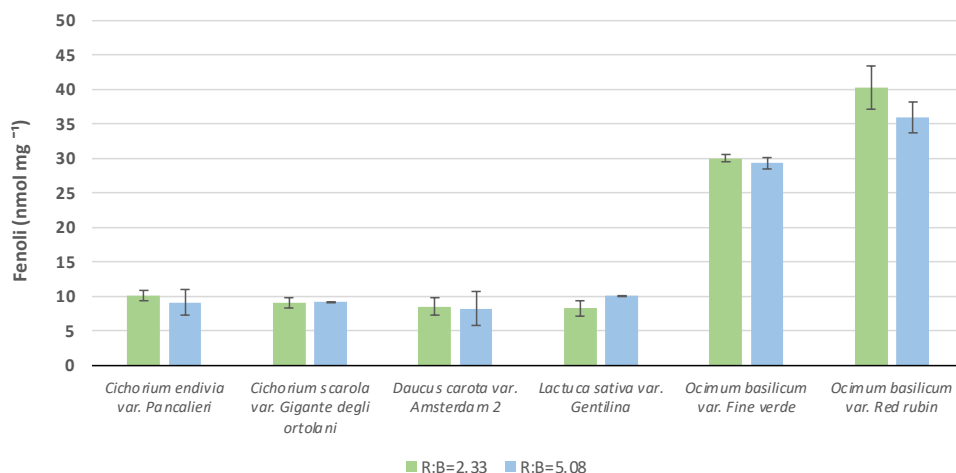


Figura 4. Risultati per i fenoli totali per il 1° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

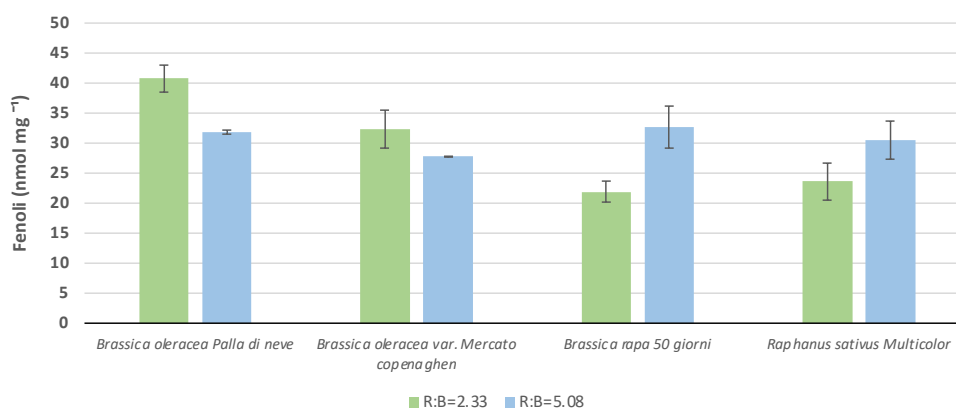


Figura 9. Risultati per i fenoli totali per il 2° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

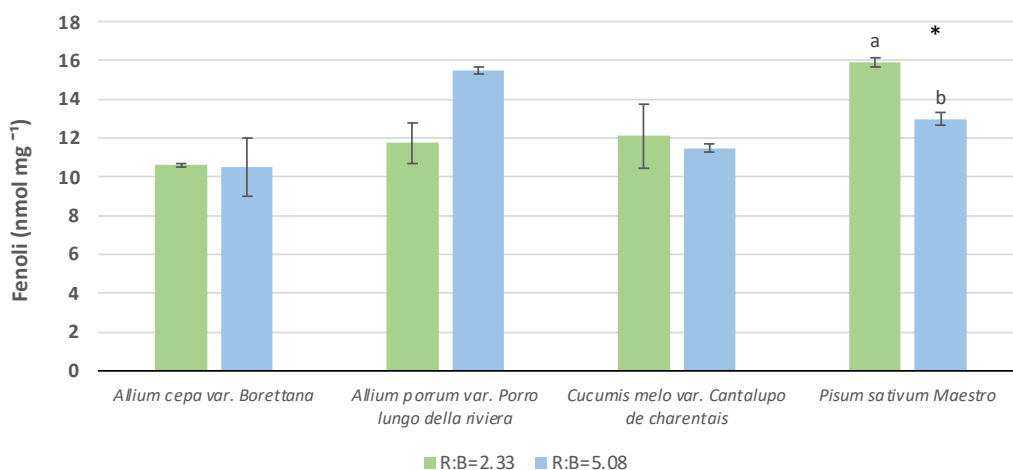


Figura 10. Risultati per i fenoli totali per il 3° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

Il contenuto di nitrati nelle 14 specie di piante non ha mostrato differenze significative (Fig. 11, 12, 13), a eccezione del basilico e del ravanella. In particolare, il basilico var. Red rubin ha mostrato valori significativamente maggiori per R:B=2.33, mentre il ravanella coltivato con lo spettro R:B=2.33 ha accumulato significativamente meno nitrati rispetto alle piante cresciute con lo spettro R:B=5.08. Inoltre, nel secondo gruppo il cavolfiore ha accumulato la maggiore quantità di nitrati rispetto alle altre *Brassicaceae*.

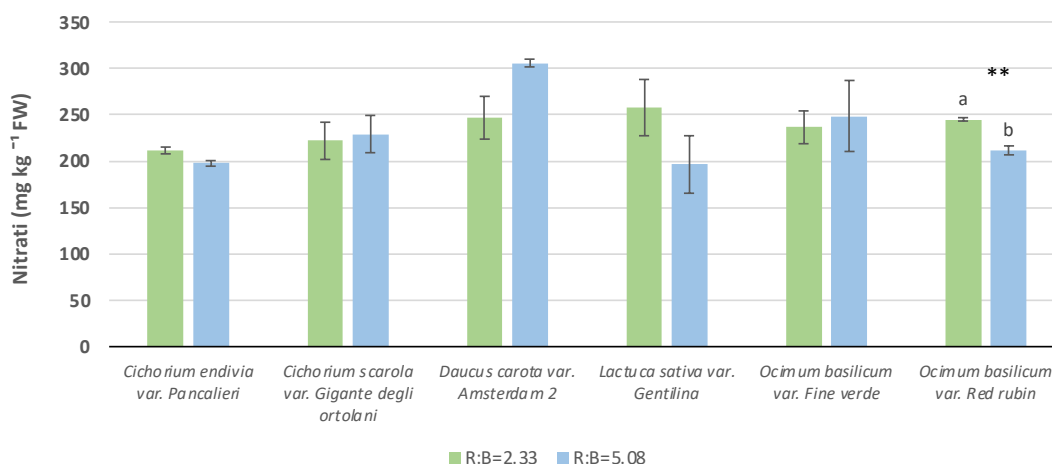


Figura 5. Risultati per la concentrazione di nitrati totali riscontrata nel 1° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

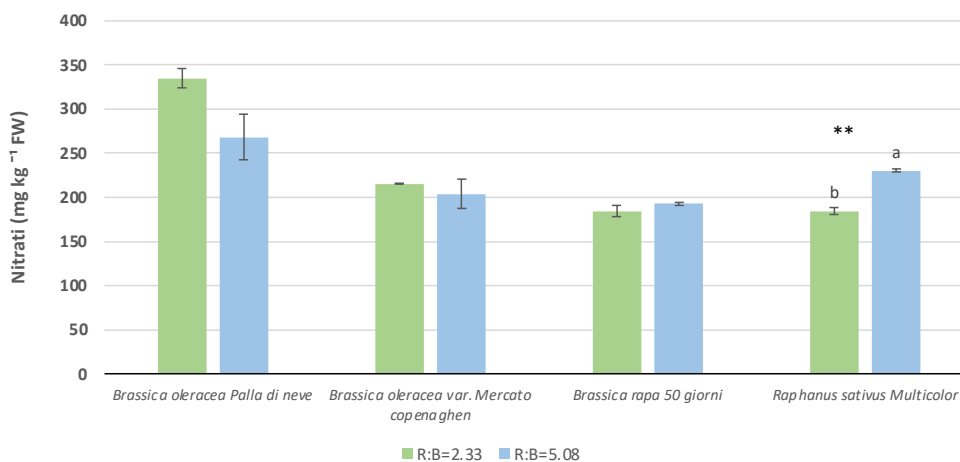


Figura 6. Risultati per la concentrazione di nitrati totali riscontrata nel 2° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .

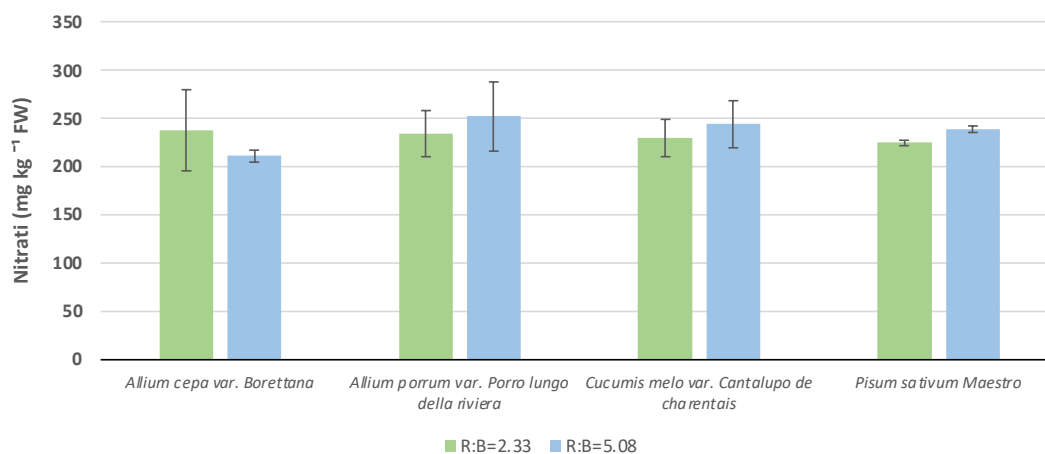


Figura 13. Risultati per la concentrazione di nitrati totali riscontrata nel 3° gruppo di piante. Vengono riportati i dati \pm errori standard. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test post-hoc di Bonferroni per la separazione delle medie con $p < 0.05$. Le annotazioni *, ** e *** indicano rispettivamente significatività a livelli di $p \leq 0.1$, 0.05 e 0.001 .



2. Prove di coltivazione con due spettri di luce in microgreens di *Daucus carota* e *Ocimum basilicum* - UNITO

PROVA IN CORSO

3. Test di coltivazione con tre tipologie di substrato in microgreens di *Apiaceae* e *Lamiaceae* irrigati con due soluzioni nutritive - UNITO

PROVA IN CORSO



4. Valutazione quanti-qualitativa di 16 genotipi di basilico per la produzione di microgreen - UNINA

5.1 Introduzione

Il genere *Ocimum*, appartenente alla famiglia delle *Lamiaceae*, ha suscitato grande interesse commerciale sin dalla sua domesticazione. La sua versatilità, apprezzata in ambito gastronomico per le proprietà aromatiche, sia per il consumo fresco che trasformato, lo ha reso oggetto di notevole interesse. Dal punto di vista tassonomico, il genere *Ocimum* risulta complesso, comprendendo numerose specie e ibridi. Tale complessità è stata ulteriormente amplificata dagli interventi di miglioramento genetico, finalizzati a ottenere varietà con caratteristiche specifiche per i diversi utilizzi e a migliorare la resa produttiva, il profilo aromatico e la colorazione. Tra le diverse specie, *Ocimum basilicum* L., comunemente noto come basilico dolce, è la più conosciuta e ampiamente coltivata nel mondo occidentale. Tuttavia negli ultimi anni suscitano interesse anche commerciale una serie di altri genotipi, come *Ocimum* × *citriodorum* (basilico Limoncello). L'obiettivo dell'esperimento era confrontare il comportamento di diversi genotipi di basilico per la produzione di *microgreen*, al fine di individuare quelli più produttivi e più ricchi in metaboliti secondari e composti volatili.

5.2 Materiali e Metodi

Presso il laboratorio di Agronomia del Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, è stato condotto un esperimento in camera di crescita



per valutare la resa quantitativa e qualitativa di microgreens di basilico provenienti da sedici genotipi. Le piante sono state coltivate in vassoi di plastica (14 × 19 × 6 cm) contenenti un substrato commerciale a base di torba (pH 6.3 ed EC 0.2 dS m⁻¹) e irrigate con una soluzione nutritiva Hoagland e Arnon diluita a ¼ con acqua deionizzata (EC 0.4 dS m⁻¹; pH 6.0). Le condizioni ambientali nella camera di crescita sono state: temperatura 24/18 ± 2 °C (giorno/notte), fotoperiodo 12 h day⁻¹, umidità relativa 70 ± 5%. L'illuminazione è stata fornita da un sistema a pannelli LED (serie K5 XL750, Kind LED, Santa Rosa, CA, USA) con un rapporto R:B=1:1, garantendo un PPFD di 300 ± 10 μmol m⁻² s⁻¹ su tutta la superficie del ripiano (0.4 m²). I vassoi sono stati randomizzati e ruotati ogni 24 ore per garantire uniformità di illuminazione, temperatura e umidità relativa. Ogni genotipo è stato replicato tre volte, utilizzando un vassoio per replica. La raccolta è avvenuta allo stadio di prima coppia di foglie vere e sono stati valutati i seguenti parametri:

- Resa, espressa in kg di peso fresco (Fresh Weight, FW), kg FW m⁻²;
- Lunghezza ipocotile, misurata in cm;
- Parametri colorimetrici CIELab (L*, a*, b*, Chroma).

5.3 Risultati

La valutazione di sedici genotipi di microgreens di basilico ha evidenziato una notevole variabilità in termini di crescita e contenuto in pigmenti (Tab. 2). Il peso fresco è variato da 0.54 kg m⁻² per la varietà 'Santo' a 1.89 kg m⁻² per la varietà 'Liscio'. Le varietà più produttive sono risultate 'Liscio', 'Mammoth', 'Bolloso', 'Red Rubin' e 'Viola', mentre 'Santo', 'Limoncello' e 'Fine' hanno mostrato le rese inferiori (<1 kg m⁻²). Anche la lunghezza dell'ipocotile ha evidenziato una notevole variabilità tra i genotipi, con valori compresi tra 2.32 cm per 'Santo' e 6.28 cm per 'Viola'. Come atteso, data la presenza di varietà a foglia verde e viola/rossastra, si sono osservate differenze marcate nei parametri colorimetrici CIELab, in



particolare per l'indice a^* . Questo valore, indicativo della componente rosso-verde, è risultato prossimo a -17 per le varietà verdi, raggiungendo 5.4 per la varietà 'Riccio Rosso', caratterizzata dalla colorazione più intensa. Anche gli indici b^* (giallo-blu) e Chroma (saturazione del colore) sono risultati inferiori nelle varietà a pigmentazione rossastra, come 'Dark Opal', 'Riccio Rosso' e 'Red Rubin'.

Tabella 2. Risultati per la resa, lunghezza ipocotile e parametri colorimetrici (L^ , a^* , b^* , Chroma) di 16 genotipi di microgreen di basilico. I dati sono espressi come media \pm errore standard ($n=3$). Il simbolo *** indica una significatività con $p \leq 0.001$. Lettere diverse all'interno di ogni colonna indicano differenze significative tra le medie secondo il test post-hoc di Tukey per la separazione delle medie con $p < 0.05$.*



Genotipi	Resa (kg m ⁻²)	Lunghezza ipocotile (cm)	L*	a*	b*	Chroma
Anice	1.12±0.02 ef	4.3±0.08 def	45.87±0.73 cd	-16.73±0.2 d	29.37±0.37 de	33.8±0.4 ef
Bollosa	1.78±0.02 abc	4.58±0.19 de	51.3±0.54 a	-17.82±0.23 d	35.74±0.37 a	39.94±0.3 a
Cannella	1.31±0.03 d	4.6±0.18 cde	42.24±1.12 e	-16.32±0.19 d	28.09±0.32 e	32.49±0.37 f
Dark opal	1.32±0.03 d	4.8±0.14 bcd	27.44±0.52 gh	3.63±0.69 ab	5.42±1.06 g	7.34±0.46 h
Eleanora	1.26±0.07 cde	3.15±0.14 i	43.91±0.5 de	-17.5±0.13 d	31.35±0.27 cde	35.91±0.24 bcde
Fine	0.96±0.03 g	3.47±0.12 hi	45.87±0.68 cd	-17.77±0.25 d	30.91±0.4 cde	35.66±0.47 cdef
Greco	1.04±0.04 fg	3.94±0.08 fgh	48.23±0.85 abc	-18.55±0.25 d	33.27±0.61 abc	38.09±0.65 abc
Italiano classico	1.25±0.01 de	3.61±0.11 ghi	45.07±0.55 cde	-17.99±0.13 d	32.09±0.27 bcd	36.8±0.29 abcd e
Limoncello	0.89±0.02 g	4±0.11 efgh	46.35±0.54 bcd	-16.94±0.2 d	29.82±0.63 cde	34.3±0.65 def
Liscio	1.89±0.01 a	5.36±0.04 b	46.97±0.65 bcd	-17.77±0.21 d	33.1±0.54 abc	37.57±0.57 abcd
Mammoth	1.85±0.04 ab	4.55±0.16 def	49.78±0.48 ab	-17.71±0.27 d	34.82±0.44 ab	39.08±0.46 ab
Nostrum	1.17±0.02 def	5.23±0.07 defg	46.36±0.57 bcd	-17.69±0.15 d	31.83±0.32 bcd	36.42±0.31 bcde
Red rubin	1.71±0.02 bc	4.19±0.14 bc	30.75±0.54 fg	1.85±0.67 b	6.36±0.94 g	7.41±0.75 h
Riccio rosso	1.27±0.02 de	4.44±0.05 def	25.75±0.57 h	5.4±0.59 a	4.49±0.38 g	7.64±0.08 h
Santo	0.54±0.02 h	2.32±0.13 j	46.12±0.49 cd	-17.61±0.3 d	32.51±0.56 abcd	36.98±0.63 abcd e
Viola	1.68±0.02 c	6.28±0.05 a	33.75±1.1 f	-5.98±1.13 c	16.95±1.55 f	18.04±1.83 g
p-value	***	***	***	***	***	***

Ulteriori analisi saranno condotte per determinare l'effetto della varietà sui seguenti parametri:

- Contenuto di sostanza secca
- Concentrazione di nitrati e minerali
- Contenuto di pigmenti fotosintetici (clorofilla e carotenoidi)
- Profilo polifenolico
- Contenuto di composti organici volatili



5. Effetto di biostimolanti radicali su microgreen di basilico Limoncello in floating system - UNINA

6.1 Introduzione

I sistemi idroponici a ciclo chiuso, tra cui il floating system (o deep water culture), stanno acquisendo crescente popolarità nella produzione su larga scala di ortaggi a foglia. Questo successo è dovuto alla loro efficienza, sostenibilità e capacità di garantire prodotti di alta qualità e redditività. In particolare, l'utilizzo di metodi di coltivazione senza substrato, come il floating system, offre molteplici vantaggi per la produzione di microgreen rispetto ai metodi tradizionali basati su substrati, soprattutto in termini di sostenibilità ambientale. Tra i benefici, vi è anche la



possibilità di applicare biostimolanti direttamente al sistema radicale, migliorandone l'assorbimento (El-Nakhel et al., 2021).

6.2 Materiali e metodi

L'esperimento è stato condotto in camera di crescita (KBP-6395F, Termaks, Bergen, Norvegia). Il basilico Limoncello (*Ocimum x citriodorum*) è stato seminato manualmente in un sistema floating per microgreens, costituito da vassoi di plastica forata (610 cm²) posizionati all'interno di una vasca in plastica (28.5 × 22 × 6 cm) contenente 1 L di soluzione nutritiva ¼ di forza Hoagland e Arnon, preparata utilizzando acqua deionizzata (CE 0.4 dS m⁻¹ e pH 6.0).

Le condizioni ambientali nella camera di crescita erano le seguenti: temperature giorno/notte 24/18 ± 2 °C, fotoperiodo 12 h day⁻¹ e umidità relativa 70± 5%. È stato utilizzato un sistema di illuminazione a pannelli LED (serie K5 XL750, Kind LED, Santa Rosa, CA, USA) con un rapporto R:B=1:1. I pannelli LED sono stati disposti in modo da garantire un PPF_D di 300 ± 10 μmol m⁻² s⁻¹ sull'intera superficie del ripiano (0.4 m²). I vassoi sono stati randomizzati e ruotati sistematicamente ogni 24 ore per migliorare l'uniformità della luce, della temperatura e dell'umidità relativa.

Sono stati valutati quindi gli effetti di tre trattamenti biostimolanti, applicati alla soluzione nutritiva, sulla crescita dei microgreens:

1. *Trichoderma virens*, ceppo GV41, con concentrazione di 10⁴ UFC/mL
2. UPM Solargo™ 0.25%, un estratto di lignina a base polifenolica
3. *Trichoderma virens*, ceppo GV41+ UPM Solargo™ (alle medesime concentrazioni dei trattamenti precedenti)

Questi trattamenti sono stati confrontati con un controllo senza aggiunta di biostimolanti. Ogni trattamento è stato replicato tre volte, ogni replica consisteva in un vassoio di coltivazione.

Alla raccolta sono stati valutati i seguenti parametri:



- Resa, espressa in kg di peso fresco (Fresh Weight, FW), kg FW m⁻²;
- Peso secco delle radici, misurata in g di peso secco (Dry Weight, DW), g DW m⁻²;
- Parametri colorimetrici CIELab (L*, a*, b*, Chroma).

6.3 Risultati

L'aggiunta di biostimolanti alla soluzione nutritiva del sistema floating ha influenzato significativamente la crescita dei microgreen di basilico Limoncello (Tab. 3). Il Solargo (estratto di lignina) ha determinato un aumento significativo del peso fresco, mentre *Trichoderma virens* GV41, da solo o in combinazione con Solargo, non ha prodotto effetti significativi rispetto al controllo.

L'aggiunta di biostimolanti ha in generale promosso l'aumento del peso secco radicale, ma solo il trattamento combinato (*Trichoderma* + Solargo) ha mostrato differenze significative rispetto al controllo.

Il Solargo ha indotto un effetto marcato sul colore delle foglie: si è osservato un aumento significativo dell'indice L* (luminosità) e del Chroma (saturazione del colore) rispetto al controllo e al trattamento con solo *Trichoderma*. L'aumento dell'indice b* (colore giallo-blu) suggerisce inoltre un leggero ingiallimento delle foglie nei microgreen trattati con Solargo.

Tabella 3. Risultati di resa, peso secco radici e parametri colorimetrici (L, a*, b*, Chroma) per i microgreens di basilico Limoncello in risposta ai trattamenti. I dati sono espressi come media ± errore standard (n=4). Le annotazioni n.s., *, ** e *** indicano rispettivamente non significatività o significatività a livelli di p ≤ 0.05, 0.01 e 0.001. Lettere diverse all'interno di ogni colonna indicano differenze significative tra le medie secondo il test post-hoc di Tukey per la separazione delle medie con p<0.05.*

Trattamento	Resa (kg m ⁻²)	Peso secco radici (g m ⁻²)	L*	a*	b*	Chroma
-------------	----------------------------	--	----	----	----	--------



Controllo	0.73±0.01 bc	28.2±1.63 b	40.8±0.92 b	-13.06±1.34	26.21±1.23 b	29.38±1.2 b
Tricoderma	0.67±0.03 c	432.05±0.41 ab	42.05±0.9 b	-14.15±0.2	26.76±0.35 b	30.2±0.93 b
Solargo	0.85±0.02 a	33.44±2.24 ab	46±0.94 a	-1±0.37	32.83±0.62 a	35.34±0.5 a
S+T	0.81±0.03 ab	36.8±1.95 a	46.55±0.98 a	-13.63±0.2	32.61±0.81 a	35.34±0.79 a
p-value	***	*	**	n.s	**	**

Ulteriori analisi sono in corso per valutare l'effetto dei biostimolanti su:

- Contenuto di sostanza secca
- Concentrazione di nitrati e minerali
- Contenuto di pigmenti fotosintetici (clorofilla e carotenoidi)
- Profilo polifenolico
- Emissione di composti organici volatili
- Morfologia, topologia e colore delle radici (tramite analisi con il software WinRhizo).



6. Effetto del trattamento con *Bacillus subtilis* su crescita e qualità di microgreen di mibuna e pak choi allevati in floating system - UNINA

7.1 Materiali e metodi

Un esperimento è stato condotto in camera di crescita (KBP-6395F, Termaks, Bergen, Norvegia) per valutare l'effetto di un trattamento biostimolante a base di *Bacillus subtilis* (ceppo QST 713, 1.050×10^{12} CFU/L) sulla crescita di microgreen di mibuna e pak choi.

I semi di entrambe le specie sono stati seminati manualmente su vassoi di plastica forata (610 cm^2), a loro volta inseriti in vasche di plastica ($28.5 \times 22 \times 6 \text{ cm}$) contenenti 1 L di soluzione nutritiva Hoagland e Arnon a $\frac{1}{4}$ della forza, preparata con acqua deionizzata (CE 0.4 dS m^{-1} e pH 6.0). La soluzione nutritiva è stata aggiunta dopo la germinazione dei semi.

Il trattamento biostimolante prevedeva l'aggiunta di *Bacillus subtilis* alla soluzione nutritiva alla dose di 1 ml L^{-1} . Un trattamento di controllo, senza aggiunta di biostimolanti, è stato incluso nell'esperimento. Ogni trattamento è stato replicato tre volte, con ogni replica costituita da un vassoio di coltivazione.

Le condizioni ambientali nella camera di crescita sono state: temperatura $24/18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (giorno/notte), fotoperiodo 12 h day^{-1} e umidità relativa $70 \pm 5\%$.



L'illuminazione è stata fornita da pannelli LED (serie K5 XL750, Kind LED, Santa Rosa, CA, USA) con R:B=1:1, garantendo un PPFD di $300 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ su tutta la superficie del ripiano (0.4 m^2). I vassoi sono stati randomizzati e ruotati ogni 24 ore per garantire uniformità di illuminazione, temperatura e umidità relativa.

Alla raccolta sono stati valutati i seguenti parametri:

- Resa in termini di peso fresco (Fresh Weight, FW), espressa come kg FW m^{-2} ;
- Resa in termini di peso secco (Dry Weight, DW), espressa come kg DW m^{-2} ;
- Contenuto di sostanza secca, espresso in %;
- Parametri colorimetrici CIELab (L^* , a^* , b^* , Chroma).

7.2 Risultati

Come mostrato nella Tabella 4, i microgreen di pak choi hanno evidenziato un peso fresco significativamente maggiore (+15.5%) rispetto a quelli di mibuna. Il trattamento con *Bacillus subtilis* ha determinato un aumento del peso fresco in entrambe le specie, sebbene non significativo (5.0% per mibuna e 4.7% per pak choi). L'applicazione del biostimolante ha invece comportato un aumento significativo del peso secco solo nei microgreen di pak choi.

Per quanto riguarda i parametri colorimetrici, il trattamento con *Bacillus subtilis* ha indotto effetti significativi solo nella specie a foglia viola (pak choi), senza influenzare la specie a foglia verde (mibuna).



Tabella 4. Risultati di resa in termini di peso fresco e secco, contenuto di sostanza secca e parametri colorimetrici (L^* , a^* , b^* , Chroma) per le piante di mibuna e pak-choi in risposta ai trattamenti biostimolanti. I dati sono espressi come media \pm errore standard ($n=4$). Le annotazioni n.s., * e ** indicano rispettivamente non significatività o significatività a livelli di $p \leq 0.05$ e 0.01 . Lettere diverse all'interno di ogni colonna indicano differenze significative tra le medie secondo il test post-hoc di Tukey per la separazione delle medie con $p < 0.05$.

	Resa (kg m ²)	Peso secco (kg m ²)	Contenuto sostanza secca (%)	L^*	a^*	b^*	Chroma
Specie (S)							
Mibuna	1.87 \pm 0.038	0.11 \pm 0.003	5.96 \pm 0.24	35.68 \pm 0.361	-15.06 \pm 0.173	24.46 \pm 0.473	28.74 \pm 0.49
Pak choi	2.16 \pm 0.02	0.13 \pm 0.006	5.69 \pm 0.24	23.17 \pm 0.638	0.73 \pm 0.567	6.78 \pm 0.669	7.78 \pm 0.595
t.test	***	n.s	n.s	***	***	***	***
Trattamento (T)							
Controllo (ctrl)	1.96 \pm 0.059	0.11 \pm 0.41	5.77 \pm 0.268	28.65 \pm 2.64	-6.74 \pm 3.218	15.06 \pm 3.678	17.72 \pm 4.309
Biostimolante (bios)	2.06 \pm 0.062	0.12 \pm 0.07	5.88 \pm 0.219	30.2 \pm 2.136	-7.59 \pm 2.783	16.18 \pm 3.061	18.8 \pm 3.649
t.test	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
SxT							
Mibuna x ctrl	1.82 \pm 0.042	0.12 \pm 0.003	6.34 \pm 0.265	35.59 \pm 0.49	-15.24 \pm 0.284	24.72 \pm 0.955	29.06 \pm 0.963
Mibuna x bios	1.91 \pm 0.059	0.11 \pm 0.003	5.58 \pm 0.319	35.77 \pm 0.606	-14.87 \pm 0.191	24.2 \pm 0.294	28.424 \pm 0.349
Pak choi x ctrl	2.11 \pm 0.015	0.11 \pm 0.005	5.2 \pm 0.217	21.72 \pm 0.486	-1.76 \pm 0.194	5.4 \pm 0.066	6.38 \pm 0.106
Pak choi x bios	2.21 \pm 0.013	0.14 \pm 0.006	6.19 \pm 0.243	24.63 \pm 0.5	-0.3 \pm 0.867	8.17 \pm 0.896	9.18 \pm 0.583
p-value	n.s	**	**	*	*	*	*

Ulteriori analisi saranno condotte per valutare l'effetto del trattamento con *Bacillus subtilis* sui seguenti parametri in entrambe le specie:

- Contenuto di nitrati
- Concentrazione di minerali e contenuto di amido e zuccheri riducenti



- Contenuto di pigmenti fotosintetici (clorofilla e carotenoidi)
- Concentrazione di fenoli totali e antociani
- Profilo degli acidi organici



7. Confronto di due sistemi di coltivazione (terriccio e floating) in microgreen di due specie di *Brassicaceae* (mibuna e pak choi) - UNINA

8.1 Introduzione

Lo sviluppo sostenibile, sempre più centrale nell'agenda globale, si fonda ormai sul modello dell'economia circolare. Questo modello si basa sull'efficienza nell'utilizzo delle risorse, sulla riduzione dei rifiuti e sulla loro reintroduzione nel ciclo produttivo attraverso il riciclo e la valorizzazione. In quest'ottica, l'utilizzo della torba come substrato di coltivazione in orticoltura, seppur avvantaggiato da un'elevata stabilità fisica e chimica e da un basso tasso di decomposizione, pone delle criticità. La torba, infatti, rappresenta una risorsa limitata e la crescente domanda degli ultimi anni ne ha causato un inevitabile aumento dei prezzi. Questi fattori economici, uniti all'impatto ambientale negativo derivante dall'estrazione della torba, hanno spinto la ricerca verso l'utilizzo di materiali alternativi come substrati di crescita (Greco et al., 2019) o verso sistemi di coltivazione idroponica senza substrato, come il sistema floating.

8.2 Materiali e metodi

L'esperimento è stato condotto nel mese di maggio 2024 in una serra non riscaldata. Due specie di microgreen, mibuna e pak choi sono state coltivate in due sistemi: su terriccio e in floating system.

Nel floating system, i semi sono stati seminati manualmente in vassoi di plastica forata (610 cm²) posti all'interno di vasche di plastica (28.5 × 22 × 6 cm) contenenti



1 L di soluzione nutritiva Hoagland e Arnon a $\frac{1}{4}$ di forza, preparata con acqua deionizzata (CE 0.4 dS m⁻¹, pH 6.0). Nel sistema su terriccio, i semi sono stati seminati manualmente direttamente in vaschette contenenti 1 L di terriccio. La germinazione è avvenuta al buio a 24 °C su TNT umido, in camera di crescita. La soluzione nutritiva è stata aggiunta dopo la germinazione in entrambi i sistemi di coltivazione a giorni alterni. Nel floating il volume veniva regolarmente riportato a 1 L, registrando le quantità necessarie. Nella coltivazione su terriccio la soluzione nutritiva veniva apportata in fertirrigazione manuale. I microgreen di mibuna e pak choi sono stati raccolti allo stadio di comparsa della seconda foglia vera, misurando i seguenti parametri:

- Resa in termini di peso fresco (Fresh Weight, FW), espressa come kg FW m⁻²;
- Resa in termini di peso secco (Dry Weight, DW), espressa come g DW m⁻²;
- Contenuto di sostanza secca, espresso in %;
- Altezza, misurata in cm;
- Efficienza d'uso dell'acqua (Water Use Efficiency, WUE), calcolata come g FW L⁻¹ H₂O;
- Parametri colorimetrici CIELab (L*, a*, b*, Chroma).

8.3 Risultati

Non è stata rilevata alcuna interazione significativa tra la specie e il sistema di coltivazione (Tab. 5). Sebbene il pak choi abbia evidenziato un peso fresco generalmente superiore rispetto alla mibuna, questa differenza non è risultata statisticamente significativa. Al contrario, il sistema di coltivazione ha avuto un effetto significativo sui parametri di crescita: l'utilizzo del terriccio ha determinato un incremento del peso fresco del 54.6%, del peso secco del 47.9% e dell'altezza dei microgreen del 41.1% rispetto al floating system. Nessun effetto significativo del sistema di coltivazione è stato invece osservato sui parametri colorimetrici,



influenzati unicamente dalla specie. Infine, l'efficienza d'uso dell'acqua non ha mostrato differenze significative né tra le specie né tra i sistemi di coltivazione.

Tabella 5. Risultati di resa in termini di peso fresco e secco, contenuto di sostanza secca, altezza, efficienza d'uso dell'acqua (WUE) e parametri colorimetrici (L, a*, b*, Chroma) per le piante di mibuna e pak-choi in risposta ai trattamenti. I dati sono espressi come media \pm errore standard (n=4). Le annotazioni n.s e *** indicano rispettivamente non significatività o significatività al livello di $p \leq 0.001$. Lettere diverse all'interno di ogni colonna indicano differenze significative tra le medie secondo il test post-hoc di Tukey per la separazione delle medie con $p < 0.05$.*

	Resa (kg m ⁻²)	Peso secco (g m ⁻²)	Contenuto sostanza secca (%)	Altezza (cm)	WUE (g FW L ⁻¹ H ₂ O)	L*	a*	b*	Chroma
Specie (S)									
Mibuna	2.64 \pm 271.286	181.904 \pm 16.295	6.974 \pm 0.151	6.956 \pm 0.409	65.34 \pm 4.096	40.435 \pm 0.559	-15.779 \pm 0.383	29.735 \pm 0.605	33.653 \pm 0.565
Pak choi	2.92 \pm 246.79	170.963 \pm 14.377	5.963 \pm 0.091	5.9 \pm 0.424	72.985 \pm 4.225	27.825 \pm 0.655	-0.414 \pm 0.612	11.09 \pm 0.671	11.163 \pm 0.689
t.test	n.s	n.s	***	n.s	n.s	***	***	***	***
Trattamento (T)									
Floating	2.18 \pm 151.354	142.583 \pm 7.708	6.657 \pm 0.262	5.333 \pm 0.21	74.275 \pm 5.042	33.299 \pm 2.528	-7.87 \pm 3.054	19.669 \pm 3.338	21.745 \pm 4.084
Terriccio	3.37 \pm 128.523	210.284 \pm 9.694	6.279 \pm 0.159	7.523 \pm 0.2	64.05 \pm 2.432	34.961 \pm 2.348	-8.323 \pm 2.835	21.156 \pm 3.788	23.071 \pm 4.485
t.test	***	***	n.s	***	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
SxT									
Mibuna x Floating	1.98 \pm 242.033	144.132 \pm 15.696	7.286 \pm 0.161	5.875 \pm 0.043	68.306 \pm 8.437	39.866 \pm 0.642	-15.836 \pm 0.244	28.4 \pm 0.607	32.456 \pm 0.643
Mibuna x Terriccio	3.28 \pm 60.408	219.675 \pm 6.452	6.662 \pm 0.124	8.038 \pm 0.03	62.374 \pm 1.126	41.004 \pm 0.912	-15.723 \pm 0.789	31.07 \pm 0.391	34.85 \pm 0.347
Pak choi x Floating	2.38 \pm 146.526	141.034 \pm 5.411	6.029 \pm 0.175	4.791 \pm 0.094	80.245 \pm 4.869	26.733 \pm 0.814	0.095 \pm 1.085	10.938 \pm 0.892	11.035 \pm 0.965
Pak choi x Terriccio	3.47 \pm 260.372	200.893 \pm 18.389	5.896 \pm 0.071	7.009 \pm 0.093	65.726 \pm 4.946	28.917 \pm 0.738	-0.924 \pm 0.628	11.243 \pm 1.137	11.292 \pm 1.128
p-value	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

Ulteriori analisi saranno condotte per valutare l'effetto del trattamento sui seguenti parametri in entrambe le specie: contenuto di nitrati, minerali, pigmenti fotosintetici (clorofilla e carotenoidi), fenoli totali, antociani e acidi organici. Inoltre, saranno effettuate analisi del ciclo di vita (LCA) per valutare la sostenibilità



ambientale della coltivazione in ambiente protetto di microgreens, considerando l'opzione di un sistema di coltivazione senza substrato.



8. Effetto del tipo di soluzione nutritiva (idroponica o acquaponica) e di due diversi substrati per la produzione di microgreen di canapa - UNINA

9.1 Introduzione

La canapa (*Cannabis sativa* L.), coltura versatile e multiuso, si adatta a diverse condizioni agroecologiche. Dalle sue fibre si ricavano tessuti, carta, vernici, biocarburanti, materiali simili al legname e plastiche biodegradabili. I semi trovano impiego nell'alimentazione animale e umana, mentre altre componenti trovano applicazioni in campo medicinale. L'utilizzo alimentare della canapa industriale, in particolare di semi e farina, è in crescita esponenziale, soprattutto nel settore degli alimenti trasformati. La canapa industriale destinata a questi usi deve avere un contenuto di THC (tetraidrocannabinolo), il principale composto psicoattivo presente nella pianta, inferiore allo 0,2% (limite stabilito a livello europeo). Di recente, anche i microgreen di canapa hanno attirato l'attenzione come potenziale alimento funzionale, grazie al loro elevato contenuto di composti benefici per la salute, tra cui acidi fenolici, flavonoidi e fitocannabinoidi non psicoattivi. L'acqua, fondamentale per l'agricoltura, è una risorsa limitata e una delle componenti principali dell'economia circolare. I sistemi di acquacoltura a ricircolo, a differenza di quelli aperti convenzionali, utilizzano una quantità significativamente inferiore di acqua. Inoltre, l'integrazione con la coltivazione idroponica, attraverso sistemi di filtraggio e ricircolo dell'acqua proveniente dalle vasche di allevamento, permette di aumentare l'efficienza d'uso delle risorse idriche e nutritive, riducendo drasticamente la produzione di reflui. Questo aspetto differenzia ulteriormente



l'acquacoltura a ricircolo dai sistemi di acquacoltura tradizionali, che rilasciano nell'ambiente acque con elevato contenuto di azoto (Beckers, 2019). Le soluzioni provenienti da questi sistemi potrebbero essere impiegate in un sistema integrato anche nella coltivazione di microgreens.

9.2 Materiali e metodi

Presso il laboratorio di Agronomia del Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II, è stato condotto un esperimento in camera di crescita per valutare l'effetto di diverse soluzioni nutritive sulla crescita di microgreen di canapa. I semi sono stati seminati in vassoi di plastica contenenti due diversi substrati: un substrato commerciale a base di torba (pH 6.3, EC 0.2 dS m⁻¹) e vermiculite. La fertirrigazione è stata effettuata utilizzando quattro soluzioni nutritive: una soluzione Hoagland e Arnon modificata (El-Nakhel et al., 2021), una soluzione Hoagland e Arnon diluita a ¼ della concentrazione originale, una soluzione acquaponica diluita per ottenere la stessa CE della soluzione Hoagland e Arnon modificata e una soluzione acquaponica diluita a ¼ della concentrazione originale. Le condizioni ambientali in camera di crescita sono state: temperatura 24/18 ± 2 °C (giorno/notte), fotoperiodo 16 h day⁻¹, umidità relativa 70± 5% e PPFD 300±10 µmol m⁻² s⁻¹. L'illuminazione è stata fornita da pannelli LED. I vassoi, disposti casualmente, sono stati ruotati sistematicamente ogni 24 ore. Ogni trattamento è stato replicato tre volte.

Sono infine state misurate i seguenti valori:

- Resa in termini di peso fresco (Fresh Weight, FW), espressa come kg FW m⁻²;
- Resa in termini di peso secco (Dry Weight, DW), espressa come kg DW m⁻²;
- Contenuto di sostanza secca, espresso in %;
- Parametri colorimetrici CIELab (L*, a*, b*, Chroma).



9.3 Risultati

Il substrato di coltivazione ha influenzato significativamente il peso fresco dei microgreen di canapa: la coltivazione su terriccio ha determinato un incremento del 107.1% rispetto alla vermiculite (Tab. 6). Per quanto riguarda le soluzioni nutritive, la soluzione Hoagland e Arnon a concentrazione standard ha prodotto un aumento del peso fresco del 20.3% rispetto alla soluzione diluita a $\frac{1}{4}$, mentre la soluzione acquaponica a concentrazione standard ha portato ad un incremento del 22.4% rispetto alla soluzione diluita a $\frac{1}{4}$. La sostanza secca è risultata significativamente maggiore nei microgreen coltivati su vermiculite, mentre l'utilizzo della soluzione acquaponica a concentrazione standard ha determinato un contenuto di sostanza secca inferiore rispetto alla soluzione diluita a $\frac{1}{4}$. Tra i parametri colorimetrici, solo la luminosità (L^*) è stata influenzata dalla soluzione nutritiva, mentre gli altri parametri sono risultati dipendenti dal substrato di coltivazione.



Tabella 6. Effetto dei trattamenti sulla resa in termini di peso fresco e secco, contenuto di sostanza secca e parametri colorimetrici (L^* , a^* , b^* , Chroma) per mibuna e pak-choi. I dati sono espressi come media \pm errore standard ($n=3$). Le annotazioni n.s., * e *** indicano rispettivamente non significatività o significatività al livello di $p \leq 0.05$ e 0.001 . Lettere diverse all'interno di ogni colonna indicano differenze significative tra le medie secondo il test post-hoc di Tukey per la separazione delle medie con $p < 0.05$.

	Resa (kg m ⁻²)	Peso secco (g m ⁻²)	Contenuto sostanza secca (%)	L*	a*	b*	Chroma
Substrato (S)							
Terriccio	2.64 \pm 271.286	181.904 \pm 16.295	6.974 \pm 0.151	40.435 \pm 0.559	-15.779 \pm 0.383	29.735 \pm 0.605	33.653 \pm 0.565
Vermiculite	2.92 \pm 246.79	170.963 \pm 14.377	5.963 \pm 0.091	27.825 \pm 0.655	-0.414 \pm 0.612	11.09 \pm 0.671	11.163 \pm 0.689
t.test	***	***	***	ns	***	***	***
Soluzione Nutritiva (SN)							
Hoagland	0.95 \pm 0.13 a	141.22 \pm 3.81 a	16.1 \pm 1.91 ab	34.83 \pm 0.58 ab	-13.5 \pm 0.57	21.12 \pm 0.7	25.07 \pm 0.89
Hoagland 1/4	0.79 \pm 0.15 b	116.95 \pm 10.03 b	16.54 \pm 1.96 ab	34.23 \pm 0.61 ab	-11.99 \pm 1.19	20.15 \pm 1	23.49 \pm 1.44
Acquaponica	0.93 \pm 0.12 a	136.31 \pm 5.09 a	15.7 \pm 1.59 b	35.54 \pm 0.53 a	-12.66 \pm 0.64	19.95 \pm 0.75	23.65 \pm 0.89
Acquaponica 1/4	0.76 \pm 0.14 b	116.09 \pm 8.3 b	17.08 \pm 2.01 a	33.39 \pm 0.43 b	-12.04 \pm 1.02	19.94 \pm 0.98	23.31 \pm 1.34
p-value	***	***	*	*	ns	ns	ns
SxSN							
Terriccio x Hoagland	1.13 \pm 0.03	137.52 \pm 1.01 a	12.18 \pm 0.23	34.84 \pm 1.15	-14.5 \pm 0.6 b	22.27 \pm 0.96	26.58 \pm 1.12
Terriccio x Hoagland 1/4	1.2 \pm 0.02	145.79 \pm 5.91 a	12.17 \pm 0.32	34.88 \pm 1.16	-13.09 \pm 0.3 b	21.18 \pm 0.66	24.92 \pm 0.7
Terriccio x Acquaponica	1.06 \pm 0.03	134.27 \pm 2.34 a	12.63 \pm 0.29	34.02 \pm 0.92	-14.24 \pm 1.35 b	22.09 \pm 0.82	26.28 \pm 1.38
Terriccio x Acquaponica 1/4	1.24 \pm 0.02	146.91 \pm 2.93 a	11.86 \pm 0.29	34.34 \pm 0.52	-14.56 \pm 0.25 b	22.37 \pm 0.09	26.69 \pm 0.21
Vermiculite x Hoagland	0.67 \pm 0.03	135.53 \pm 6.27 a	20.35 \pm 0.49	35.32 \pm 0.38	-12.43 \pm 0.33 ab	19.88 \pm 0.08	23.45 \pm 0.19
Vermiculite x Hoag 1/4	0.46 \pm 0.03	96.38 \pm 6.74 b	20.89 \pm 0.23	33.62 \pm 0.37	-9.48 \pm 0.82 a	18.03 \pm 0.24	20.39 \pm 0.49
Vermiculite x Acquaponica	0.66 \pm 0.02	126.84 \pm 5.86 a	19.24 \pm 0.32	36.2 \pm 0.32	-12.24 \pm 0.19 ab	18.72 \pm 0.77	22.37 \pm 0.63
Vermiculite x Acquaponica 1/4	0.46 \pm 0.01	97.91 \pm 2.36 b	21.52 \pm 0.62	32.77 \pm 0.53	-9.84 \pm 0.57 a	17.78 \pm 0.44	20.34 \pm 0.38
p-value	ns	*	ns	ns	*	ns	ns



Ulteriori analisi saranno condotte per determinare il contenuto di nitrati, minerali, acidi organici, il profilo polifenolico e il contenuto di cannabinoidi nei microgreen.



9. Gestione della soluzione nutritiva combinata con due diversi substrati per la produzione di microgreens di canapa – UNINA

10.1 Materiali e metodi

Presso il laboratorio di Agronomia del Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, è stato condotto un esperimento in camera di crescita per valutare l'effetto di soluzioni acquaponiche sulla crescita di microgreen di canapa. I semi sono stati seminati in vassoi di plastica (14 × 19 × 6 cm) contenenti due diversi substrati: un substrato commerciale a base di torba (pH 6.3, EC 0.2 dS m⁻¹) e un tappeto di fibra di cocco. La fertirrigazione è stata effettuata utilizzando quattro soluzioni nutritive: una soluzione Hoagland e Arnon modificata, preparata con acqua deionizzata (EC 1.6 dS m⁻¹), una soluzione Hoagland e Arnon diluita al 25% (EC 0.4 dS m⁻¹), una soluzione acquaponica diluita per ottenere la stessa concentrazione molare di azoto della soluzione Hoagland e Arnon modificata e una soluzione acquaponica diluita al 25% per ottenere la stessa concentrazione molare di azoto della soluzione Hoagland e Arnon diluita al 25%.

Le condizioni ambientali in camera di crescita sono state mantenute a 24/18 ± 2 °C (giorno/notte), con un fotoperiodo di 16 h day⁻¹ e umidità relativa 70 ± 5%. L'illuminazione è stata fornita da pannelli LED (serie K5 XL750, Kind LED, Santa Rosa, CA, USA) con R:B 1:1, garantendo un PPFD di 300 ± 10 μmol m⁻²s⁻¹ su tutta la superficie del ripiano (0.4 m²). I vassoi sono stati randomizzati e ruotati sistematicamente ogni 24 ore per uniformare l'esposizione a luce, temperatura e



umidità relativa. Ogni trattamento è stato replicato tre volte, ogni replica consisteva in un vassoio di coltivazione.

10.2 Risultati

Questo studio si propone di valutare l'effetto di diverse soluzioni nutritive sulla crescita e lo sviluppo di microgreens di canapa. L'esperimento, attualmente in corso, analizza anche l'influenza di due differenti substrati di coltivazione, al fine di identificare la combinazione ottimale per massimizzare la crescita e la qualità dei microgreen.



10. Biofortificazione di microgreen di canapa con selenato di sodio - UNINA

11.1 Introduzione

Il valore nutraceutico dei microgreen può essere ulteriormente incrementato tramite la biofortificazione con selenio (Se). Questo processo non solo consente di ottenere alimenti arricchiti di Se, ma può anche migliorarne il contenuto in composti bioattivi. Il selenio è un elemento essenziale per l'alimentazione dei mammiferi, coinvolto nella sintesi di selenoproteine, selenoenzimi e ormoni tiroidei, cruciali per diverse funzioni biologiche (Pannico *et al.*, 2020). La canapa industriale (*Cannabis sativa* L.) ha dimostrato un'elevata efficacia nella fitodepurazione e nell'iperaccumulo di contaminanti organici e metalli pesanti da suoli e acque contaminate (Wu *et al.*, 2021). Questa capacità suggerisce che la biofortificazione con selenio dei microgreen di canapa rappresenti una strategia promettente per aumentarne il valore nutrizionale e renderli un alimento funzionale ancora più interessante.

11.2 Materiali e metodi

Presso il laboratorio di Agronomia del Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, è in corso un esperimento in camera di crescita per valutare la biofortificazione di microgreen di canapa con selenio. Le varietà di canapa Finola e Jumbo sono state seminate in vassoi di plastica (14 x 19 x 6 cm) contenenti fibra di cocco come substrato. La fertirrigazione è stata effettuata utilizzando una soluzione Hoagland e Arnon diluita al 25% (EC 0.4 dS m⁻¹). La biofortificazione è stata effettuata tramite l'aggiunta di selenato di sodio alla soluzione nutritiva a tre concentrazioni crescenti (8, 16 e 24 µM Se), confrontate con un trattamento di controllo senza aggiunta di selenio. Le condizioni di crescita, inclusi i parametri di luce e umidità, sono state mantenute come descritto in precedenza.



11.3 Risultati

La ricerca sulla biofortificazione dei microgreen di canapa con selenio si presenta come un campo di studio promettente per migliorare il valore nutrizionale di questi alimenti. La prova è attualmente in corso.



11. Bibliografia

- El-Nakhel, C., Ciriello, M., Formisano, L., Pannico, A., Giordano, M., Gentile, B. R., ... & Rouphael, Y. (2021). Protein Hydrolysate Combined with Hydroponics Divergently Modifies Growth and Shuffles Pigments and Free Amino Acids of Carrot and Dill Microgreen. *Horticulturae*, 7(9), 279.
- Pannico, A., El-Nakhel, C., Graziani, G., Kyriacou, M. C., Giordano, M., Soteriou, G. A., ... & Rouphael, Y. (2020). Selenium biofortification impacts the nutritive value, polyphenolic content, and bioactive constitution of variable microgreen genotypes. *Antioxidants*, 9(4), 272.
- Wu, Y., Trejo, H. X., Chen, G., & Li, S. (2021). Phytoremediation of contaminants of emerging concern from soil with industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): a review. *Environment, Development and Sustainability*, 1-31.
- Pannico, A., Kyriacou, M. C., El-Nakhel, C., Graziani, G., Carillo, P., Corrado, G., ... & De Pascale, S. (2022). Hemp microgreen as an innovative functional food: Variation in the organic acids, amino acids, polyphenols, and cannabinoids composition of six hemp cultivars. *Food Research International*, 161, 111863.
- Beckers, S. (2019). Aquaponics: a positive impact circular economy approach TO feeding cities. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, (Special Issue 20), 78-84.
- Ciriello, M., Formisano, L., Graziani, G., Romano, R., De Pascale, S., Rouphael, Y., & Corrado, G. (2023). Comparative analysis of aromatic and nutraceutical traits of six basil from *Ocimum* genus grown in floating raft culture. *Scientia Horticulturae*, 322, 112382.
- Greco, C., Comparetti, A., Mammano, M. M., & Orlando, S. (2019, December). Sustainable, circular and innovative value chains using growing substrata alternative to peat for the cultivation of nutraceutical species. In *Rural Development: Proceedings of the International Scientific Conference* (pp. 13-20).
- Pinto, E., Almida, A. A., Aguiar, A. A., & Ferreira, I. M. (2015). Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 38-43.
- Kyriacou, M. C., Rouphael, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in food science & technology*, 57, 103-115.



Puccinelli, M., Malorgio, F., Rosellini, I., & Pezzarossa, B. (2019). Production of selenium-biofortified microgreens from selenium-enriched seeds of basil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5601-5605.

Kyriacou, M. C., El-Nakhel, C., Graziani, G., Pannico, A., Soteriou, G. A., Giordano, M., ... & Rouphael, Y. (2019). Functional quality in novel food sources: Genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species. *Food chemistry*, 277, 107-118.