



VFARM

Vertical Farming Sostenibile

D2.7 SISTEMI ACQUAPONICI: ESEMPI PER IL VERTICAL FARMING E L'AGRICOLTURA URBANA



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 del documento	7 SISTEMI ACQUAPONICI: ESEMPI PER IL VERTICAL FARMING E L'AGRICOLTURA URBANA
Work Package:	WP2
Partner responsabile:	University of Padova and University of Bologna
Autori principali:	Ilaria Zauli, Francesco Orsini, Giuseppina Pennisi, Paolo Sambo, Carlo Nicoletto, Giampaolo Zanin, Marco Birolo
Altri autori:	Ernesto Rossini, Andrea D'Aprile, Francesco Orsini
Numero di pagine:	26



Indice dei contenuti

1. Introduzione	4
1.1 Obiettivi del progetto.....	4
1.2 Obiettivi del Deliverable	5
1.3 Applicazione del <i>vertical farming</i> nei sistemi di acquaponica a ciclo chiuso	5
2. Biofortificazione con selenio e iodio in un sistema di acquaponica a ciclo chiuso con persico trota (<i>Micropterus salmoides</i>) e lattuga (<i>Lactuca sativa</i>) - UNIPD	7
2.1. Materiali e metodi	7
2.2 Risultati	11
3. Comparazione fra 3 diverse metodologie di coltivazione (acquaponica, bioponica e idroponica) per la produzione di lattuga a foglia verde (<i>Lactuca sativa</i> var. 'Reine des Glaces') e a foglia rossa (<i>Lactuca sativa</i> var. 'Redial') - UNIBO	16
3.1 Materiali e metodi	16
3.2 Lattuga a foglia rossa: risultati	18
3.3 Lattuga a foglia verde: risultati	19
4. Comparazione fra 3 diverse metodologie di coltivazione (acquaponica, bioponica e idroponica) per la produzione di peperoncino	21
4.1 Materiali e metodi	21
4.2 Risultati	22
5. Discussione.....	24
6. Bibliografia	25



1. Introduzione

1.1 Obiettivi del 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.

Nello specifico, nel presente deliverable (2.7) l'obiettivo è presentare studi sull'applicazione di sistemi acquaponici a ciclo chiuso applicati al *vertical farming* e all'agricoltura urbana per valutare la sua efficienza, l'effetto della diversa gestione della componente ittica durante una successione orticola e della radiazione luminosa ambientale in termini di produzione.

1.3 Applicazione del *vertical farming* nei sistemi di acquaponica a ciclo chiuso

La necessità di aumentare le produzioni agricole è diventata una questione cruciale a causa della crescente popolazione mondiale. Questa crescita demografica comporta una maggiore domanda di cibo, mettendo sotto pressione i sistemi agricoli tradizionali che già affrontano sfide significative come il cambiamento climatico. In questo contesto, il *vertical farming* è emerso come una soluzione innovativa e promettente per contribuire alla produzione di cibo secondo un'ottica di riduzione del consumo di suolo e di produzione in ambienti antropizzati. In un'epoca in cui la terra arabile è una risorsa sempre più scarsa, l'agricoltura verticale consente di coltivare grandi quantità di cibo utilizzando una superficie molto ridotta. Questo è particolarmente vantaggioso nelle aree urbane, dove lo spazio è limitato e costoso, ma anche dove la



produzione di cibo è fisicamente vicina al consumatore target con riduzione dell'impatto dovuto a lunghi trasporti. Questo sistema produttivo può anche essere applicato in un ambito serricolo permettendo di sfruttare in maniera più efficace il volume dell'ambiente protetto e inserito in sistemi policolturali innovativi quali l'acquaponica a ciclo chiuso (AP). Tali sistemi di coltivazione permettono la produzione combinata e parallela di prodotti orticoli e ittici riducendo l'utilizzo di acqua e aumentando la capacità produttiva del sistema.



2. Biofortificazione con selenio e iodio in un sistema di acquaponica a ciclo chiuso con persico trota (*Micropterus salmoides*) e lattuga (*Lactuca sativa*) - UNIPD

2.1. Materiali e metodi

Nel tunnel serra del gruppo di orticoltura presso l'azienda agricola sperimentale L. Toniolo dell'Università di Padova sono stati disposti 9 sistemi di acquaponica (AP) a ciclo chiuso (Fig.1). Ogni sistema di AP è composto da una vasca (1) di 500 litri in cui la temperatura dell'acqua è mantenuta stabile tramite raffrescatori. Attraverso un sistema di tubazioni la vasca di allevamento dei pesci è collegata ad un contenitore che funge da decantatore e successivamente una vasca di dimensioni ridotte dove è presente il biofiltro che, a sua volta, è collegato ad una vasca di accumulo con all'interno una pompa. Quest'ultima porta l'acqua al sistema di coltivazione verticale composto da 9 colonne di 1.5 m tramite un sistema di irrigazione autocompensante (8 L h^{-1}) che serve ogni singola colonna. Il flusso di acqua in eccesso viene raccolto in una vasca posta al di sotto delle colonne e tramite una pompa viene riportata nella vasca di allevamento dei pesci.

Il sistema di colonne adoperato permette la coltivazione di specie orticole a ciclo breve-medio tramite un substrato di appoggio di filamenti di plastica e un panno assorbente che viene imbibito dall'acqua proveniente dal sistema di irrigazione e permette la bagnatura dell'apparato radicale a contatto con esso.

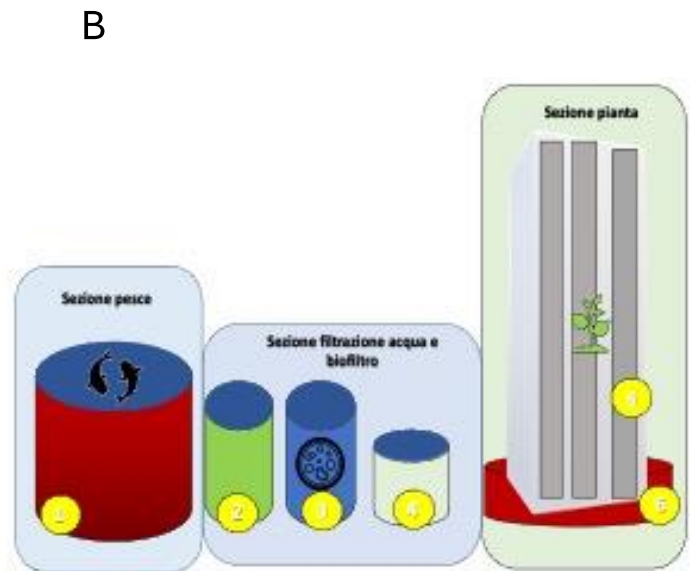


Figura 1. A) Foto delle colonne usate per la coltivazione del ciclo di lattuga; B) schema del sistema acquaponico (AP) a ciclo chiuso costruito per la sperimentazione.

Per questo esperimento, si sono seguiti 3 cicli di lattuga (*Lactuca sativa*) da luglio 2023 a dicembre 2023 e un ciclo produttivo di persico trota (*Micropterus salmoides*) (Tab. 1).



Tabella 1. Specifiche dei cicli di coltivazioni di lattuga e Persico trota che si sono susseguiti durante la sperimentazione

Ciclo		Data inizio ciclo	Data fine ciclo	Densità di trapianto	Densità di pesci
	Persico trota	29 giugno 2023	20 dicembre 2023		5 kg m ⁻³
1	Lattuga gentile	3 luglio 2023	10 agosto 2023	81 piante m ⁻² Sesto di impianto 20 cm sulla colonna	
2	Lattuga canasta	11 agosto 2023	11 settembre 2023		
3	Lattuga canasta	11 settembre 2023	19 ottobre 2023		
4	Lattuga gentile	19 ottobre 2023	20 dicembre 2023		

La prova sperimentale si è concentrata sull'effetto di una diversa integrazione minerale nella dieta del persico trota volta alla biofortificazione di entrambe le componenti produttive (ittica e vegetale) del sistema (Tab. 2). Ai pesci è stata infatti fornita una diversa integrazione di elementi minerali tramite aggiunta di diversi quantitativi di Premix al mangime standard.



Tabella 2. Caratteristiche dell'integrazione minerale aggiunta alle diete dei tre trattamenti allo studio.

Integrazione minerale (%)	Trattamento
0.7	Controllo (M3)
1.4	M1
2.1	M2

Il Premix aveva la seguente composizione e veniva unito al mangime standard insieme a dell'olio di pesce (aggiunto in contrazione pari al 1% su tutti i mangimi) per favorire l'adesione dei minerali sul pellet (Tab. 3).

Tabella 3. Caratteristiche del premix usato per l'integrazione minerale aggiunta alle diete dei tre trattamenti allo studio.

Composizione e premix (mg kg⁻¹)	Ferro (Fe₂(CO₃)₃)	Rame	Manganese	Zinco	Iodio	Selenio
	40000	1000	4000	8000	300	40

All'inizio della sperimentazione sono stati valutati nelle carcasse dei pesci il contenuto dei seguenti valori: sostanza secca, la proteina grezza, le ceneri, e il contenuto di ferro, rame, manganese, zinco, iodio, selenio, N, P e K.

Inoltre, ogni 30 giorni dall'inizio della prova i pesci sono stati prelevati da ogni vasca e pesati individualmente per andare a valutarne l'incremento di peso e si è svolta una misurazione della lunghezza.

Per quanto riguarda le piante, ad ogni trapianto sono stati prelevati campioni di biomassa aerea e radicale delle piantine di vivaio per misurarne il contenuto di sostanza secca, la proteina grezza, le ceneri, e il contenuto di: ferro, rame, manganese, zinco, iodio, selenio, N, P e K. In aggiunta, durante tutti e tre i cicli vegetativi sono stati effettuati rilievi settimanali dello SPAD sulla biomassa aerea e misurazioni relative all'intensità luminosa dell'illuminazione naturale



sulle colonne. Infine, alla raccolta sono stati misurati i pesi delle radici e della biomassa aerea su cui sono stati inoltre misurati: la sostanza secca, la proteina grezza, le ceneri, e il contenuto di ferro, rame, manganese, zinco, iodio, selenio, N, P e K.

Anche l'acqua dei sistemi è stata prelevata settimanalmente per la caratterizzazione dei seguenti elementi: TAN, nitriti, nitrati, fosfati, solfati, potassio, calcio, ferro, rame, manganese, zinco, iodio, selenio, N, P e K. Inoltre, sono stati prelevati ad inizio e fine prova dei campioni di acqua del rubinetto usata per riempire il sistema all'inizio della sperimentazione su cui sono state fatte le medesime analisi.

2.2 Risultati

Durante la sperimentazione sono stati misurati gli indici di radiazione incidente sulle colonne. In figura 2 è osservabile che le piante del trattamento M2 hanno ricevuto la maggiore radiazione durante il primo rilievo e durante il terzo e quarto ciclo di produzione, mentre nel mese di agosto i sistemi con il trattamento M1 abbiano ottenuto più radiazione luminosa degli altri trattamenti. In figura 3 invece si evidenzia che la radiazione luminosa maggiore, come atteso, sia arrivata sempre nelle colonne posizionate a sud del sistema pilota. In generale da entrambe le figure si riscontra un decremento stagionale della radiazione da luglio (con valori superiori a $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a dicembre (inferiori a $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

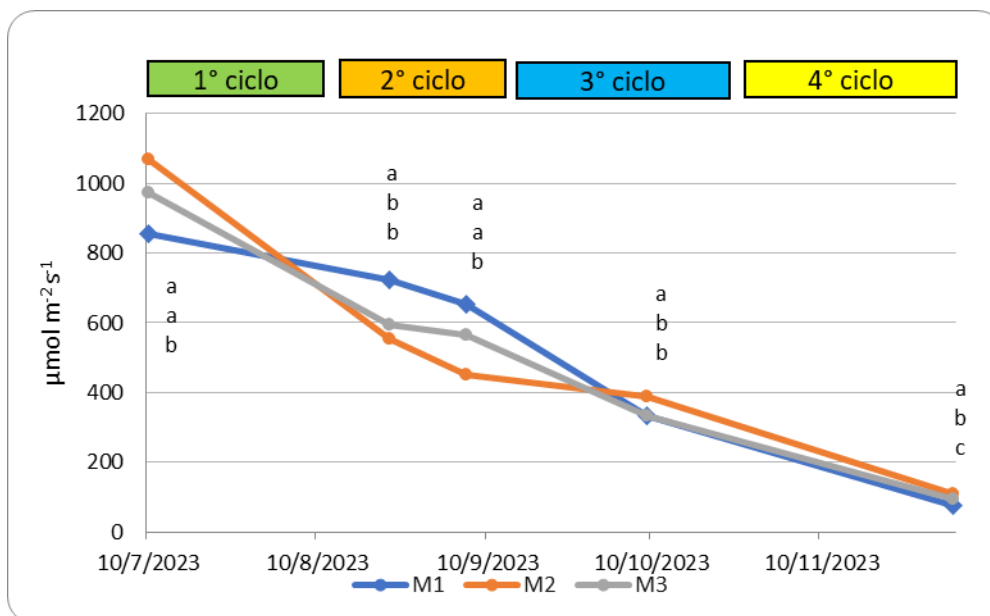


Figura 2. Indice di radiazione incidente medio espresso in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sulle colonne dei diversi trattamenti: M1 (integrazione 1.4%), M2 (integrazione 2.1%) e M3 (controllo). Lettere differenti indicano differenze significative fra le medie ($p\text{-value} < 0.05$) secondo il test HSD di Tukey.

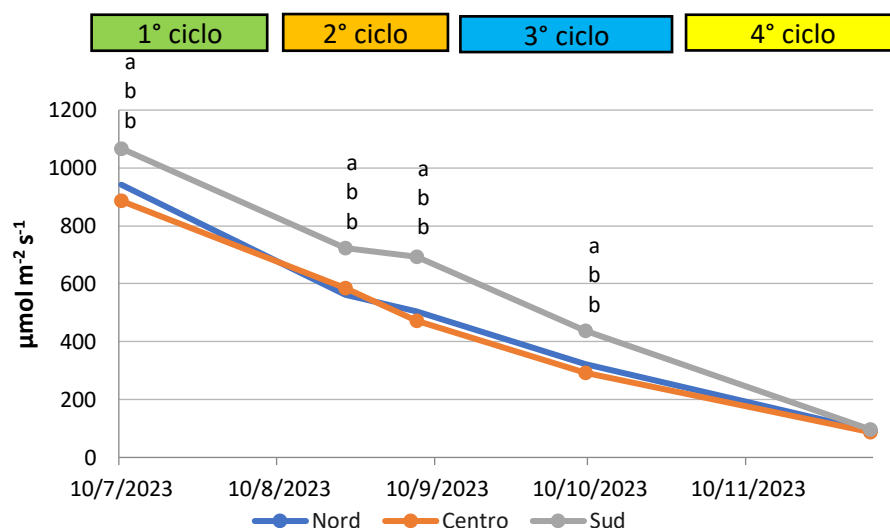


Figura 3. Effetto della posizione delle colonne sull'indice di radiazione incidente medio espresso in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per le piante di lattuga. Lettere differenti indicano differenze significative fra le medie ($p\text{-value} < 0.05$) secondo il test HSD di Tukey.



L'indice SPAD (Fig. 4) ha consentito di identificare differenze maggiori tra i tre trattamenti solo a partire dal 2° ciclo e in ampia misura nel 4° ciclo quando le temperature e il fotoperiodo inferiori hanno accentuato le differenze tra le piante con i diversi trattamenti. Soprattutto nel 4° ciclo il trattamento M2 ha manifestato valori SPAD più elevati rispetto alle altre due diete.

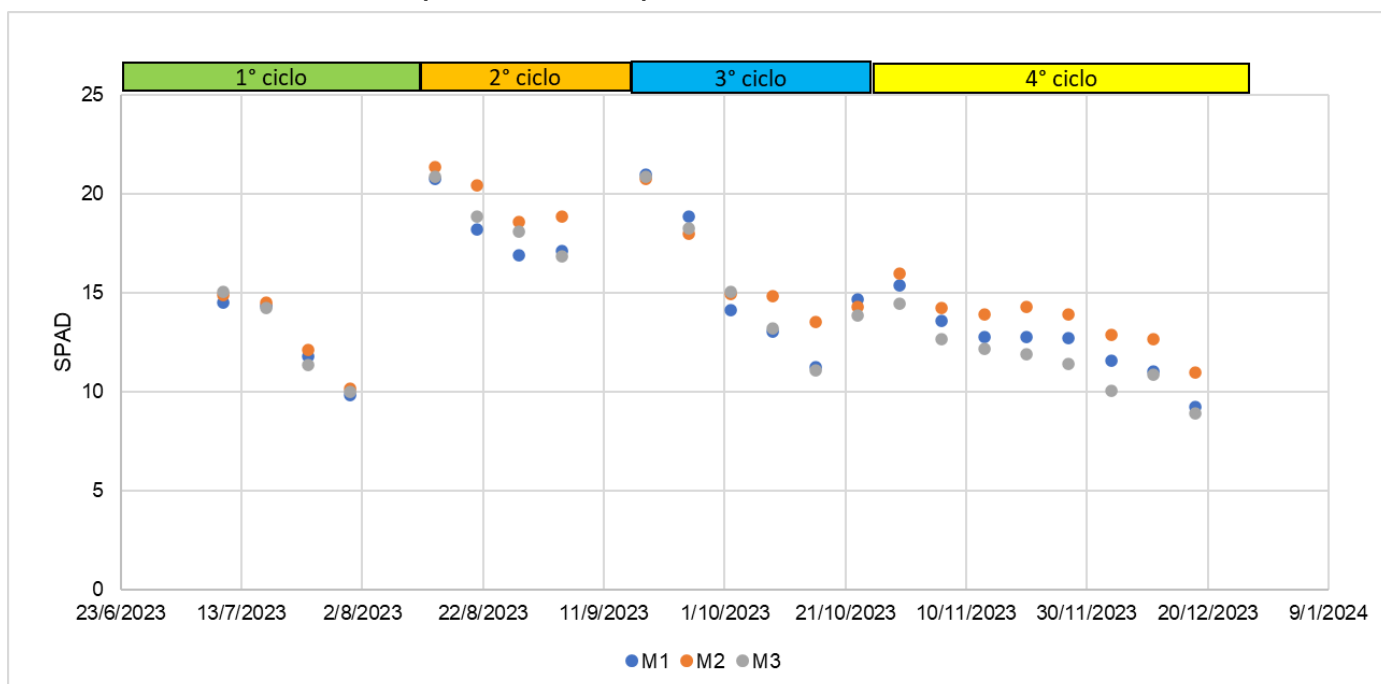


Figura 4. Effetto dell'integrazione nutrizionale sull' indice Spad misurato settimanalmente durante i 4 cicli di lattuga. M1 (integrazione 1.4%), M2 (integrazione 2.1%) e M3 (controllo).

La produzione delle piante, espressa in g pianta⁻¹ e mostrata in figura 5 come resa cumulata nei 4 cicli, è risultata statisticamente significativa nel 1°, 3° e 4° ciclo di lattuga. Il trattamento M2 ha ottenuto la resa maggiore rispetto agli altri trattamenti per tutti e tre i cicli con differenze significative.

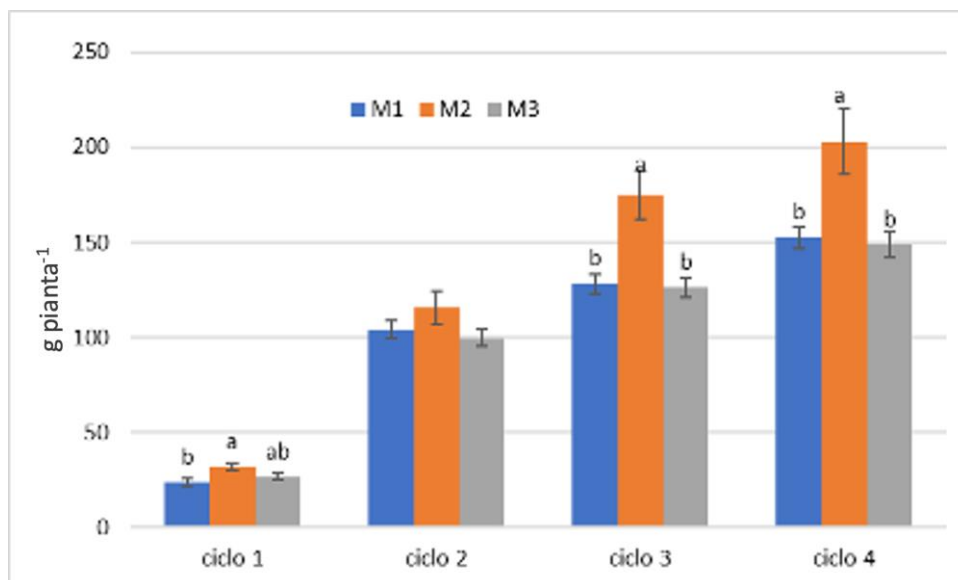


Figura 5. Effetto dell'integrazione nutrizionale sulla resa cumulata per pianta. M1 (integrazione 1.4%), M2 (integrazione 2.1%) e M3 (Controllo). Lettere differenti indicano differenze significative fra le medie (p -value<0.05) secondo il test HSD di Tukey.

Durante il periodo di allevamento il peso medio del persico trota, che in partenza era di 130 g, ha subito un incremento più veloce da 30 a 60 giorni arrivando a 190 g medi per tutti e tre i trattamenti (Fig. 6). Le differenze tra i tre trattamenti sono aumentate, anche se in modo non significativo, a partire dal centesimo giorno di allevamento e fino al termine della prova (170 giorni), quando nel trattamento M1 i pesci presentavano un peso medio pari a 240 g, nel trattamento M2 un peso medio di 237 g e nel trattamento M3 un peso medio di 234 g.

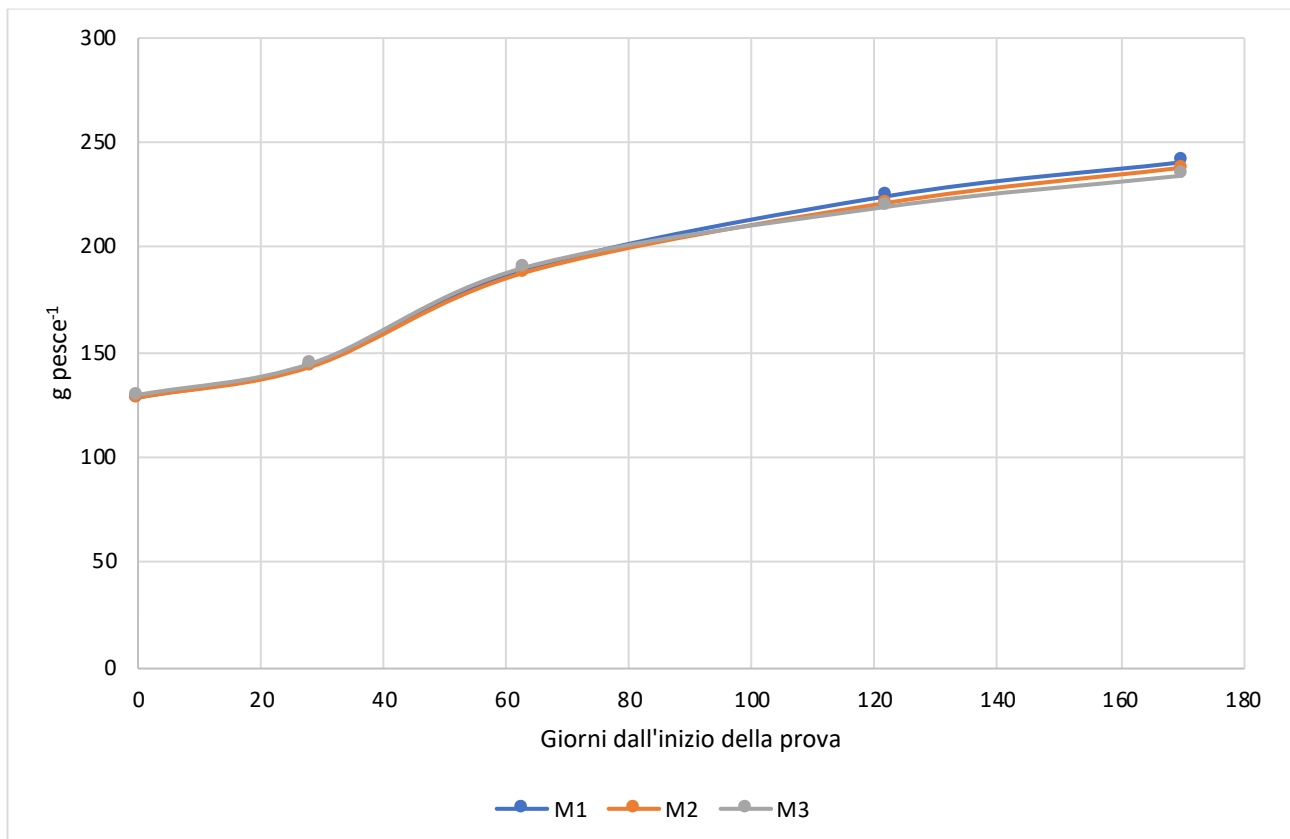


Figura 6. Effetto dell'integrazione nutrizionale sulla crescita ponderale del persico trota (*Micropterus salmoides*). M1 (integrazione 1.4%), M2 (integrazione 2.1%) e M3 (controllo).



3. Comparazione fra 3 diverse metodologie di coltivazione (acquaponica, bioponica e idroponica) per la produzione di lattuga a foglia verde (*Lactuca sativa* var. ‘Reine des Glaces’) e a foglia rossa (*Lactuca sativa* var. ‘Redial’) - UNIBO

3.1 Materiali e metodi

L'esperimento è stato svolto presso il centro multifunzionale "Salus Space", a Bologna (Italia). Le piante di lattuga (*Lactuca sativa* var. ‘Reine des Glaces’ e *Lactuca sativa* var. ‘Redial’) sono state coltivate per 33 giorni dopo il trapianto (Days After Transplant, DAT), nel periodo ottobre-novembre 2022 in 3 diversi sistemi di coltivazione: idroponico, acquaponico e bioponico (Fig. 7). Ciascun sistema di coltivazione presentava le seguenti caratteristiche:

- Un letto di coltivazione di 1 m²;
- Argilla espansa come substrato di crescita;
- Una densità di 20 piante m⁻² per ciascun letto di coltivazione, in particolare 10 di lattuga verde e 10 di lattuga rossa.



Figura 7. Vista dall'alto dei letti di coltivazione acquaponico, bioaponico e idroponico.

La differenza principale tra i tre diversi sistemi di coltivazione era rappresentata dalla soluzione nutritiva utilizzata. Le diverse soluzioni nutritive sono schematizzate in Tabella 1. In particolare, la soluzione nutritiva utilizzata per il sistema acquaponico è stata ottenuta da una densità di pesci rossi di 5 kg m^{-3} di acqua, mentre per l'impianto di bioaponica è stata utilizzata la pollina, concime organico biologico, con una concentrazione di 10 kg m^{-3} (Wongkiew et al., 2021). Per quanto riguarda la soluzione nutritiva del sistema idroponico, la concentrazione di nutrienti è stata gestita agendo sul valore di EC, mantenendolo a $1.4\text{-}1.5 \text{ mS cm}^{-1}$. Dai valori in Tabella 4 è possibile notare come i nutrienti fossero a concentrazioni simili sia a metà (15 DAT) che a fine ciclo (29 DAT).

Nel trattamento acquaponico, la concentrazione di nutrienti è stata determinata dalle deiezioni dei pesci. Anche in questo caso, come visto precedentemente per il sistema idroponico, è possibile notare valori simili a metà (15 DAT) e a fine ciclo (29 DAT) (Tab. 4).

Infine, nel sistema bioaponico, la concentrazione di elementi è stata determinata dal rilascio di nutrienti da parte della pollina durante il ciclo di crescita e non è stata effettuata alcuna aggiunta di nutrienti o di altro concime durante il ciclo di



coltivazione. In questo caso, al contrario dei due sistemi precedentemente osservati, i nutrienti hanno subito, in alcuni casi, cambiamenti nella loro concentrazione durante la crescita delle piante, come osservato in Tabella 4. In particolare, gli ioni NO_3^- e NH_4^+ sono diminuiti da 153.1 mg L^{-1} a 8.7 mg L^{-1} e da 2.7 mg L^{-1} a 0.30 mg L^{-1} , rispettivamente da 15 a 29 DAT, mentre per il K si è osservato un aumento da 244 mg L^{-1} a 284 mg L^{-1} tra la metà e la fine del trattamento.

Tabella 4. Risultati delle analisi delle soluzioni nutritive svolte a 0 DAT sull'acqua proveniente da Salus Space, e a 15 DAT e 29 DAT per i tre diversi sistemi di coltivazione: idroponico (I), acquaponico (A) e bioponico (B).

		mg L^{-1}						$\mu\text{g L}^{-1}$							
		pH	EC	S-SO ₄	P-PO ₄	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Fe	Ca	P	K	Mg	Na	B	Zn
0 DAT	Acqua Salus	7.3	1.07	102.4	0	1.029	0.377	2.36	104000	35.1	7510	22600	39000	182	19.1
15 DAT	I	6	1.44	228	124	35.9	2.2	146	112000	114000	107000	34900	53900	458	25.9
	A	8.4	1.35	260	0	17.29	0.562	7.18	105000	477	31700	34000	99100	274	7.53
	B	8.2	2.12	254	2.79	153.15	2.7	65.1	108000	3000	244000	60900	153000	317	26.1
29 DAT	I	6.2	1.58	244	151.5	38.5	2.75	118	121000	139000	100000	41800	56800	509	32.1
	A	8.2	1.41	210	0	32.23	0.435	7.19	107000	451	36400	36500	115000	284	12
	B	8.42	2.03	56.2	3.38	8.627	0.298	54.6	93700	3660	284000	71600	0	327	19

Infine, sono stati poi misurati i seguenti parametri fisiologici, morfologici e chimici per una valutazione della crescita delle due cultivar di lattuga:

- Numero di foglie per pianta a 33 DAT;
- Area totale delle foglie (Leaf Area, LA), espressa in cm^2 , a 33 DAT;
- Peso fresco e peso secco a 33 DAT;
- Contenuto di sostanza secca (Dry Matter Content, DMC), espresso in percentuale (%).

3.2 Lattuga a foglia rossa: risultati

In generale, per la maggior parte dei parametri misurati (numero di foglie, peso fresco e secco, e LA), per il sistema di coltivazione idroponico e acquaponico sono stati ottenuti valori significativamente maggiori rispetto al sistema



bioponico, mentre nessuna differenza statisticamente significativa è stata osservata fra acquaponica e idroponica. Tuttavia, il sistema bioponico ha mostrato la percentuale maggiore di sostanza secca (DMC, $P < 0.05$) nella lattuga, seguito dal sistema idroponico e infine dal sistema acquaponico, che ha mostrato il DMC inferiore. La Tabella 5 riporta i valori ottenuti.

Tabella 5. Risultati del numero di foglie (n pianta⁻¹), peso fresco e secco delle foglie (g pianta⁻¹), area fogliare (LA, cm^2) e contenuto di sostanza secca (DMC, %) per ciascun sistema di coltivazione per la produzione di lattuga a foglia rossa.

Sistema di coltivazione	Numero foglie (n pianta ⁻¹)		Peso fresco (g pianta ⁻¹)		Peso secco (g pianta ⁻¹)		LA (cm^2)		DMC (%)	
Idroponico	13.7	a	32.4	a	1.47	a	512.3	a	4.5	b
Bioponico	11.2	b	15.3	b	0.82	b	220.6	b	5.8	a
Acquaponico	15.2	a	39.0	a	1.69	a	509.5	a	4.4	c

3.3 Lattuga a foglia verde: risultati

Per la lattuga a foglia verde l'andamento è stato simile a quello osservato nella varietà a foglia rossa, con i trattamenti idroponico e acquaponico che hanno mostrato risultati significativamente maggiori rispetto a quello bioponico per la maggior parte dei parametri (numero di foglie, peso fresco e secco, e LA). Nessuna differenza statisticamente significativa è stata osservata fra acquaponica e idroponica. Nuovamente, come per la cultivar a foglia rossa, il DMC rilevato ha mostrato un contenuto di sostanza secca significativamente maggiore nelle piante coltivate con il sistema bioponico, seguito dal sistema idroponico e infine dal sistema acquaponico, che ha fornito il DMC significativamente inferiore. La Tabella 6 riporta i valori ottenuti.

Tabella 6. Risultati del numero di foglie (n pianta⁻¹), peso fresco e secco delle foglie (g pianta⁻¹), area fogliare (LA, cm^2) e contenuto di sostanza secca (%) per ciascun sistema di coltivazione per la produzione di lattuga a foglia verde.



Sistema di coltivazione	Numero foglie (n pianta ⁻¹)		Peso fresco (g pianta ⁻¹)		Peso secco (g pianta ⁻¹)		LA (cm ²)	DMC (%)		
Idroponico	15.6	a	51.9	a	2.38	a	803.7	a	4.6	b
Bioponico	12.5	b	24.4	b	1.22	b	383.6	b	5.7	a
Acquaponico	17.1	a	65.1	a	2.50	a	875.4	a	3.8	c



4. Comparazione fra 3 diverse metodologie di coltivazione (acquaponica, bioponica e idroponica) per la produzione di peperoncino

4.1 Materiali e metodi

L'esperimento si è svolto presso Le Serre dei Giardini Margherita, a Bologna (Italia). Le piante di peperoncino (*Capsicum annuum* cv Diavolicchio calabrese) sono state coltivate per 102 DAT, nel periodo maggio-settembre 2023 in 3 diversi sistemi di coltivazione: idroponico, acquaponico e bioponico (Fig. 8). Ciascun sistema di coltivazione presentava le seguenti caratteristiche:

- Un letto di coltivazione di capienza 75 L;
- Argilla espansa come substrato di crescita;
- Una densità di coltivazione di 3 piante per vasca;
- 3 repliche sperimentali, rappresentate da 3 vasche per trattamento.



Figura 8. Piantine di Diavolicchio calabrese messe a dimora presso le Serre dei Giardini Margherita.



La differenza principale tra i tre sistemi di coltivazione era rappresentata dalla soluzione nutritiva utilizzata, di origine biologica nel caso dell'acquaponica e della bioponica, e minerale nel caso dell'idroponica.

In particolare, per il sistema acquaponico la soluzione nutritiva organica è stata ottenuta da Gambusie (*Gambusia affinis*), con densità di allevamento di 3 kg m⁻³ di Gambusia su 100 L di acqua. Invece, per l'impianto di bioponica è stata scelta la pollina, un concime organico biologico, con una concentrazione di 5 kg m⁻³ di acqua. Sono stati misurati i seguenti parametri morfologici e fisiologici per la valutazione della crescita delle piante e frutti di peperoncino:

- Diametro e altezza finale del fusto a 102 DAT;
- Area delle foglie (LA), espressa in cm² pianta⁻¹ a 102 DAT;
- Numero e peso fresco medio (in g) dei frutti per pianta a 102 DAT;
- Contenuto di capsaicina nei frutti, espresso in mg kg⁻¹ di sostanza secca.

4.2 Risultati

I valori medi dell'altezza e del diametro del fusto il giorno della raccolta finale (102 DAT) hanno mostrato un effetto significativo del trattamento idroponico rispetto a quanto osservato nei trattamenti acquaponico e bioponica (Fig. 9).

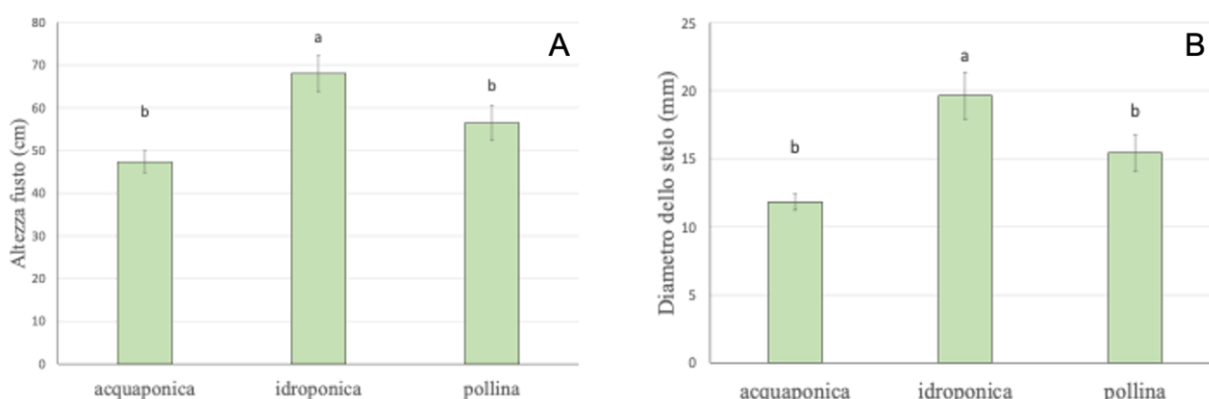


Figura 9. Risultati per A) altezza e B) diametro finale del fusto per le piante di peperoncino cresciute nel trattamento acquaponico, idroponico e bioponica.



Dal calcolo dell'area fogliare totale si è osservato come anche in questo caso la coltivazione idroponica abbia portato ad un'espansione fogliare maggiore, tuttavia senza riportare una differenza statisticamente significativa con il trattamento bioponico (Fig. 10). Invece, per il sistema acquaponico si è riscontrato un valore significativamente inferiore rispetto agli altri due trattamenti.

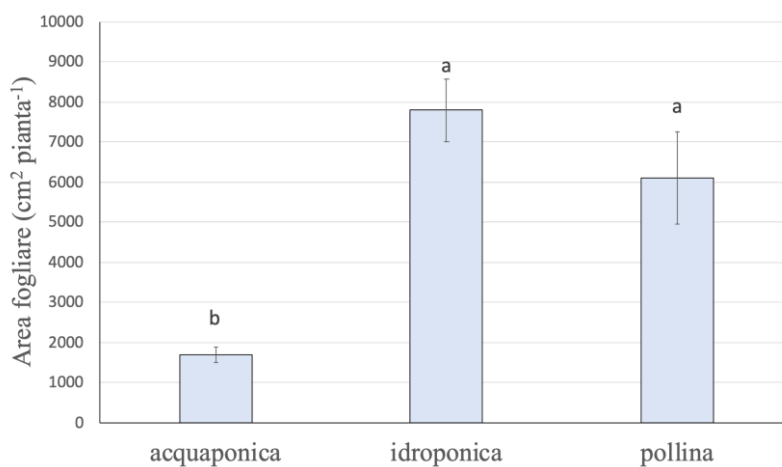


Figura 10. Effetto dei sistemi di coltivazione idroponico, acquaponico e bioponico sull'espansione fogliare delle piante di peperoncino.

Il numero e il peso totale dei frutti sono risultati significativamente maggiori nelle piante cresciute in coltivazione idroponica, rispetto ai trattamenti in acquaponica e bioponica che hanno registrato un valore fortemente minore e senza differenza statisticamente significative fra loro (Fig. 11).

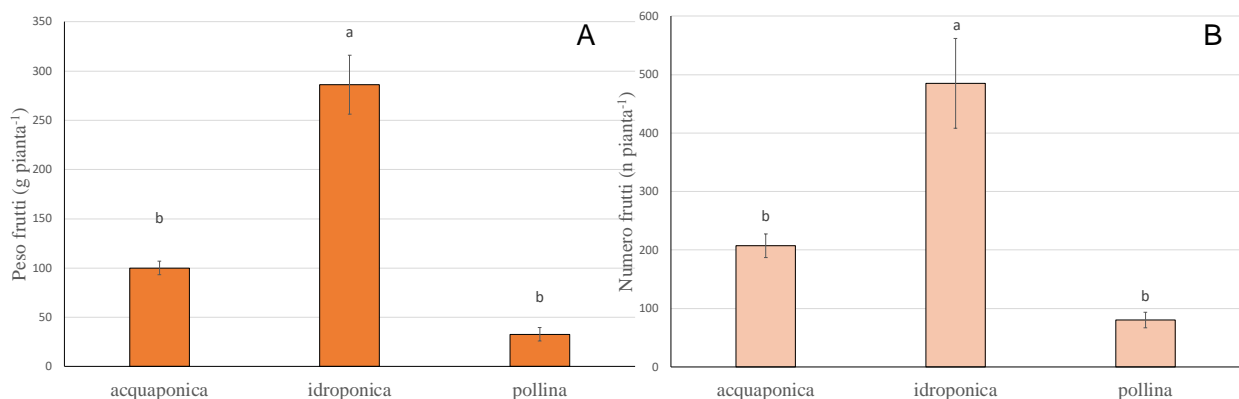




Figura 11. Effetto dei sistemi di coltivazione idroponico, acquaponico e bioponico sul peso medio e sul numero dei frutti per pianta.

Infine, per quanto riguarda il contenuto di capsaicina proveniente dai frutti, i valori maggiori sono stati osservati per i peperoncini coltivati nel sistema idroponico, riportando un quantitativo di capsaicina di circa due volte maggiore rispetto alla concentrazione rilevata nelle piante trattate con pollina (Fig. 12). Il sistema acquaponico e bioponico hanno prodotto peperoncini con un contenuto di capsaicina simile.

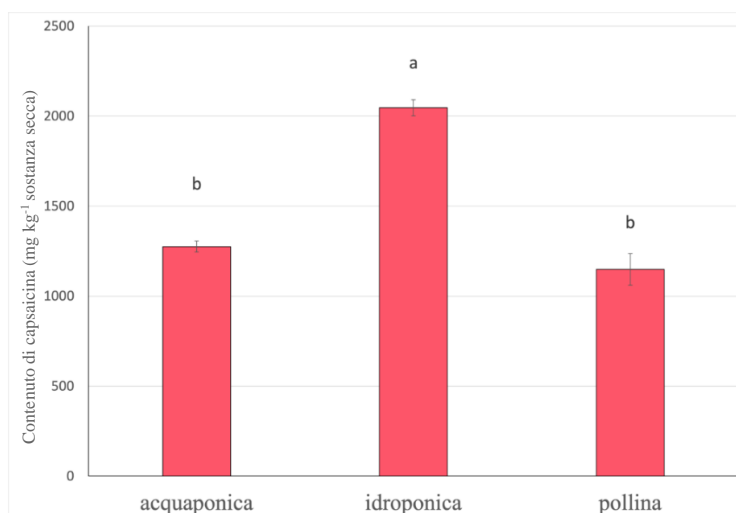


Figura 12. Risultati del contenuto di capsaicina delle piante di peperoncino ottenute nei sistemi di coltivazione idroponico, acquaponico e bioponico.

5. Discussione

Nel presente documento è stata studiata l'applicazione di diversi sistemi acquaponici, analizzandoli sia in comparazione con diversi sistemi fuori suolo oppure testando l'utilizzo di integrazione minerale per aumentare la produzione ittica e vegetale nei sistemi acquaponici.

Nel primo studio, si è visto l'effetto della diversa integrazione minerale nella dieta del persico trota per biofortificare la produzione vegetale e ittica. In particolare, con l'aggiunta della percentuale maggiore di Premix (M2, pari al



2.1%) si è ottenuta una maggiore resa per la produzione di lattuga rispetto agli altri trattamenti per tutti e tre i cicli con differenze significative (ciclo 1, 3 e 4).

Nelle due prove sperimentali seguenti, dove si confrontava l'utilizzo di sistemi bioponici, idroponici o acquaponici, in entrambi gli studi si è osservata in primo luogo un'efficienza maggiore del sistema idroponico per la produzione sia di orticole quali lattuga a foglia verde e rossa, che di piante da frutto come il peperoncino. Nello stesso modo, in entrambi gli studi il sistema bioponico ha registrato per molti dei parametri analizzati valori inferiori rispetto alla coltivazione in idroponica. Infine, per la coltivazione acquaponica sono emersi due trend diversi per le specie coltivate. Se per la produzione di piante di Diavolicchio calabrese il sistema acquaponico è risultato meno efficiente rispetto al sistema idroponico e al pari della bioponica, per la coltivazione di lattuga l'utilizzo del sistema acquaponico ha permesso di garantire la stessa performance rispetto alla coltivazione idroponica. Pertanto, soprattutto nel caso della lattuga, questi dati hanno evidenziato il potenziale del sistema acquaponico, soprattutto se collocato in un contesto urbano/sociale dove può contribuire alla sicurezza alimentare della comunità.

6. Bibliografia

Wongkiew, S., Koottatep, T., Polprasert, C., Prombutara, P., Jinsart, W., & Khanal, S. K. (2021). Bioponic system for nitrogen and phosphorus recovery from chicken manure: Evaluation of manure loading and microbial communities. *Waste Management*, 125, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.014>