



VFARM

Vertical Farming Sostenibile

D3.1. DESIGN DEI SISTEMI DI COLTIVAZIONE



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 del documento
Titolo:	D3.1 DESIGN DEI SISTEMI DI COLTIVAZIONE
Work Package:	3
Partner responsabile:	University of Bologna
Autori principali:	Ilaria Zauli, Laura Carotti, Giuseppina Pennisi, Francesco Orsini
Altri autori:	
Numero di pagine:	15



Indice dei contenuti

1. Introduzione	4
1.1 Obiettivi del progetto	4
1.2 Obiettivi del Deliverable	5
1.3 Tipologie di sistemi di crescita utilizzati nelle vertical farm	6
2. Materiali e metodi	8
2.1 Descrizione del caso studio: sistemi di coltivazione in AlmaVFarm	8
2.2 Uso dell'acqua in AlmaVFarm	9
2.3 Valutazione della resa e definizione dell'efficienza d'uso dell'acqua ...	10
3. Risultati.....	10
3.1 Uso dell'acqua nel sistema ebb-and-flow e nel sistema aeroponico....	10
3.1.2 Comparazione tra il sistema ebb-and-flow e il sistema aeroponico ad alta pressione per la produzione di lattuga in termini di efficienza d'uso dell'acqua (WUE).....	11
3.2 Rese colturali nel sistema ebb-and-flow e nel sistema aeroponico ad alta pressione	13
4. Bibliografia.....	14



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 WP3 ha lo scopo di progettare soluzioni tecnologiche ottimali per le *vertical farm*, focalizzandosi in particolare su:

1. Sistemi di coltivazione
2. Illuminazione LED
3. Tecnologie al plasma (PAW) per il controllo delle fitopatologie e l'aumento della crescita delle piante
4. Sensori e diagnostica per la gestione automatizzata delle colture
5. Ottimizzazione del controllo del clima e dell'efficienza nell'uso delle risorse.

L'obiettivo di questa deliverable (3.1) è l'analisi e comparazione di sistemi di crescita fuori suolo per il vertical farming. I casi studio presentati si riferiscono a prove sperimentali condotte all'interno di AlmaVFarm, la vertical farm sperimentale dell'Università di Bologna (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari). In particolare, questo studio vuole confrontare due tecnologie per la coltivazione fuori suolo: il sistema ebb-and-flow e il sistema aeroponico ad alta pressione. Entrambi i sistemi di coltivazione sono presenti all'interno di AlmaVFarm, e in questo lavoro verranno descritti e confrontati in termini sia di rese colturali che efficienza d'uso delle risorse.

Nello specifico, gli obiettivi analizzati in questa deliverable sono:

1. L'uso dell'acqua all'interno di AlmaVFarm durante un ciclo di crescita per la coltivazione di lattuga, identificando il consumo del sistema ebb-and-flow, del sistema aeroponico, insieme al consumo idrico legato alle operazioni di gestione e al controllo climatico;
2. Comparazione tra sistema ebb-and-flow e sistema aeroponico ad alta pressione in termini di efficienza d'uso dell'acqua per la produzione di lattuga (*Lactuca sativa*);
3. Comparazione tra sistema ebb-and-flow e sistema aeroponico ad alta pressione per la produzione di specie orticole.



1.3 Tipologie di sistemi di crescita utilizzati nelle vertical farm

All'interno delle vertical farm (VF), le piante vengono coltivate in sistemi di coltivazione fuori suolo, generalmente classificati come coltivazioni in mezzo liquido (water culture) o colture su substrato (substrate culture). Le colture su substrato a loro volta sono classificate in base alla tipologia di substrato utilizzato, identificando le coltivazioni su substrato inerte e le coltivazioni su substrato organico. Le coltivazioni in mezzo liquido e le coltivazioni su substrato inerte sono conosciute come sistemi idroponici (FAO, 1990; Giuffrida, 2018). La scelta e la progettazione del sistema di coltivazione possono avere un impatto sulla resa, l'efficienza d'uso delle risorse, ma anche sull'impatto ambientale e sulla gestione del sistema, richiedendo quindi una precisa valutazione del sistema più idoneo da adottare (Wang, 2019; Eldridge, 2020; Wimmerova, 2022).

Sia nei sistemi di coltura su substrato che nelle coltivazioni in mezzo liquido, i nutrienti vengono forniti alle radici sotto forma di soluzione nutritiva. Nelle colture con substrato, le piante sono in genere ospitate in vasi e la soluzione nutritiva viene distribuita in modo continuo o periodico, come nel caso del sistema a flusso e riflusso (ebb-and-flow, Figura 1).



Figura 1. Esempio di sistema ebb-and flow presente all'interno di AlmaVFarm.



Nelle colture in mezzo liquido le radici sono invece direttamente a contatto con la soluzione nutritiva senza alcun tipo di substrato (Gruda, 2020; Eldridge et al., 2020). In questi sistemi, è possibile controllare in modo specifico l'ambiente radicale, garantendo un funzionamento ottimale dell'apparato radicale (Van Delden, 2021). Tra le coltivazioni in mezzo liquido esistono diversi tipi di sistemi, che differiscono principalmente nel metodo di circolazione della soluzione nutritiva. Un esempio innovativo è rappresentato dalla coltivazione aeroponica ad alta pressione. In questo tipo di sistema, grazie alla presenza di una pompa ad alta pressione e di ugelli, le radici delle piante vengono esposte a una periodica nebulizzazione della soluzione nutritiva (Figura 2) (Lakhiar et al., 2018; Eldridge et al., 2020).



Figura 2. Esempio di sistema aeroponico ad alta pressione presente all'interno di AlmaVFarm.

Indipendentemente dalla tipologia di sistema utilizzato, nelle VF vengono spesso adottati sistemi di irrigazione a ciclo chiuso che consentono il riutilizzo della soluzione ricircolante. In questi sistemi, la soluzione drenata, dopo essere stata controllata in termini di pH e EC, ed eventualmente reintegrata, viene raccolta e utilizzata per il ciclo irriguo successivo (Avgoustaki e Xydis, 2021). In questo modo, l'efficienza d'uso dell'acqua (Water Use Efficiency, WUE, definita come il rapporto tra il peso fresco fogliare e la quantità di acqua utilizzata) può essere massimizzata, riducendo anche, rispetto ai sistemi a



ciclo aperto, gli impatti legati ai processi di eutrofizzazione (Rufí-Salís et al., 2020). Oltre alle caratteristiche specifiche del sistema di coltivazione, le performances in termini di WUE di una VF possono essere migliorate sia attraverso un'adeguata gestione del microclima, sia attraverso il riutilizzo dell'acqua traspirata dalle piante e raccolta dal sistema di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria (HVAC) (Katsoulas et al., 2015; Soussi et al., 2022; Jurga et al., 2023). Diversi modelli teorici hanno stimato il contributo dell'acqua recuperata dal sistema HVAC sia nelle serre (Lovichit et al., 2007; Yildiz e Stombaugh, 2006) che nelle *vertical farms* (Pacak et al., 2020), ma il numero di studi che quantificano empiricamente il contributo di acqua recuperata dal sistema HVAC è ancora limitato.

2. Materiali e metodi

2.1 Descrizione del caso studio: sistemi di coltivazione in AlmaVFarm

AlmaVFarm, è una *vertical farm* sperimentale situata presso il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari dell'Università di Bologna. La struttura è composta da una cella isoterma (45 m²), contenente 22 settori di coltivazione (Frm srl, Rovereto, TN, Italia), nello specifico:

1. 10 settori con un sistema di coltivazione ebb-and-flow;
2. 12 settori con un sistema di coltivazione aeroponico ad alta pressione;
3. 3 settori con un sistema di coltivazione aeroponico ad alta pressione dedicati alla germinazione.

Ciascun settore è composto da 3 livelli sovrapposti, fatta eccezione per i 3 settori della germinazione che prevedono 5 livelli, con una superficie di coltivazione pari a 0.53 m² per ogni livello. La struttura è dotata di un sistema HVAC (Monti&C srl, Borgo a Buggiano, PT, Italia) e di un deumidificatore costituito da un sistema di canalizzazioni di mandata e ripresa dell'aria trattata



che recupera l'acqua traspirata dalle piante. Il sistema di ventilazione evita la stratificazione dell'aria, ricircolando quindi l'aria interna. Durante le prove, i parametri ambientali stabiliti sono stati i seguenti: temperatura pari a $24/21 \pm 1$ °C giorno/notte, umidità relativa pari a $70/75 \pm 10$ % giorno/ notte rispettivamente e, fornitura di CO₂ supplementare, mantenendo concentrazione costante pari a 850 ppm.

2.2 Uso dell'acqua in AlmaVFarm

In AlmaVFarm i sistemi di coltivazione prevedono cicli d'irrigazione a circuito chiuso, con l'acqua drenata che ritorna in un serbatoio principale dove il fertirrigatore (NidoPro®, LogicSun, Cattolica, RN, Italia) controlla periodicamente (96 volte al giorno) e, se necessario, corregge il pH ed i parametri EC prima di restituire la soluzione nutritiva alla pompa dell'acqua e, quindi, al sistema. Grazie alla presenza di rispettive taniche e fertirrigatori, all'interno di AlmaVFarm è possibile utilizzare contemporaneamente fino a 2 diverse soluzioni nutritive per il sistema ebb-and-flow e fino a 4 per il sistema aeroponico ad alta pressione.

Nei settori aeroponici, ciascun vassoio contiene 4 ugelli (diametro 0.2 mm) e la soluzione nutritiva è erogata ad alta pressione (70 bar) alle radici delle piante con una frequenza che può dipendere dalla specie e dalla fase del ciclo vegetativo (in media una nebulizzazione di 60 secondi ogni 10 minuti). Diversamente, nei settori ebb-and-flow, la soluzione nutritiva viene fatta circolare mediamente una o due volte al giorno per un tempo variabile in base alla specie e la fase del ciclo vegetativo (in media per un periodo che varia tra i 10 e i 30 minuti). Nei sistemi di coltivazione ebb-and-flow di AlmaVFarm il substrato impiegato per le prove sperimentali presentate in questa deliverable è la torba, o un mix di torba e perlite.



2.3 Valutazione della resa e definizione dell'efficienza d'uso dell'acqua

Il rapporto tra peso fresco fogliare di lattuga e la quantità di acqua utilizzata è stato utilizzato per valutare il WUE espresso come grammi di peso fresco (FW) per litro d'acqua. In questo studio, il consumo idrico (WU) è stato calcolato attraverso diversi scenari:

- La sola acqua consumata per l'irrigazione dal sistema ebb-and-flow o dal sistema aeroponico ad alta pressione;
- L'acqua consumata per l'irrigazione in aggiunta all'acqua utilizzata dal sistema HVAC e l'acqua utilizzata per le operazioni di gestione svolte nella farm.

La resa, di diverse specie all'interno dei due sistemi analizzati, in particolare lattuga (*Lactuca sativa*), cavolo nero (*Brassica oleracea*), basilico (*Ocimum basilicum*), rucola (*Eruca sativa*), pomodoro (*Solanum lycopersicum* cv. Micro-Tom) e micro-mais (*Zea mays*), è stata calcolata come kg di prodotto fresco al metro quadro all'anno (sulla base del numero di cicli di coltivazione effettuabili, ipotizzando di trapiantare il giorno successivo alla raccolta del ciclo precedente).

3. Risultati

3.1 Uso dell'acqua nel sistema ebb-and-flow e nel sistema aeroponico

La tabella 1 riporta i consumi idrici (L totali e L m² di superficie coltivabile) relativi alle diverse componenti di AlmaVFarm. I dati si riferiscono ad un ciclo di coltivazione di lattuga di 29 giorni.

Tabella 1. Utilizzo dell'acqua (L e L m²) per i vari componenti della vertical farm durante un ciclo di crescita di lattuga. I litri per m² sono stati calcolati utilizzando rispettivamente l'area



di coltivazione dei sistemi ebb-and-flow e aeroponico. Il consumo del sistema HVAC (riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria) è stato diviso per la superficie totale della struttura di coltivazione.

	L	L m ⁻²
Irrigazione (ebb-and-flow)	767	67.0
Irrigazione (aeroponica)	504	33.5
Sistema HVAC + operazioni di gestione	599	13.3
Consumo totale H₂O	1870	
H₂O recuperata dal deumidificatore	1263	

3.1.2 Comparazione tra il sistema ebb-and-flow e il sistema aeroponico ad alta pressione per la produzione di lattuga in termini di efficienza d'uso dell'acqua (WUE)

La raccolta dei dati relativi alla resa ottenuta nei due sistemi di coltivazione e dei dati relativi al consumo idrico ha permesso di valutare l'efficienza d'uso dell'acqua nei due sistemi.

Considerando come input solamente l'acqua utilizzata per l'irrigazione, il sistema aeroponico ha raggiunto un WUE pari a 69.7 g FW L⁻¹ H₂O contro il valore di 32.5 g FW L⁻¹ H₂O ottenuto dal sistema ebb-and-flow. Quindi, il sistema aeroponico ad alta pressione, ha comportato, per la crescita di lattuga, un aumento del WUE del 114% (Figura 3A).

Considerando come input idrico anche l'acqua utilizzata dal sistema HVAC e l'acqua utilizzata per le operazioni di gestione della farm, è stata registrata una diminuzione del WUE pari al 14 e 24% per i sistemi ebb-and-flow e aeroponico, rispettivamente (Figura 3B).

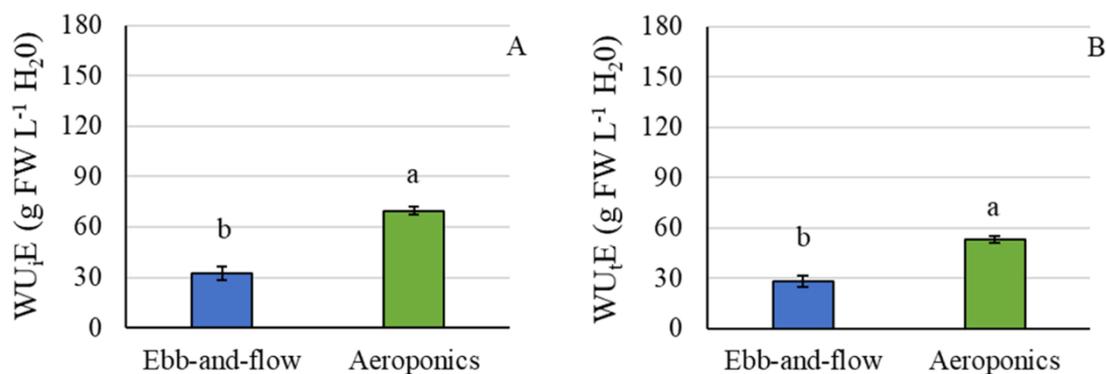


Figura 3. Efficienza d'uso dell'acqua (WUE , $g\ FW\ L^{-1}\ H_2O$) ottenuta nei sistemi ebb-and-flow (blu) e aeroponico (verde) nei due diversi scenari: A) solo l'acqua utilizzata per l'irrigazione (WU_i); B) l'acqua utilizzata per le operazioni di irrigazione, sistema HVAC e operazioni di routine della farm. Sono riportati i dati \pm errore standard ($n = 15$). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test ANOVA e il test post-hoc di Tukey per la separazione media con $p < 0.05$.



3.2 Rese colturali nel sistema ebb-and-flow e nel sistema aeroponico ad alta pressione

In AlmaV Farm, sono state eseguite diverse prove al fine di ottimizzare la produzione nei sistemi di coltivazione ebb-and-flow e aeroponico.

La tabella 2 riporta le rese massime ottenute per diverse specie coltivate nei due sistemi. Va considerato che le condizioni sperimentali (nutrizione minerale, irrigazione, trattamenti luminosi) potevano variare tra le diverse specie studiate, e pertanto i dati non sono comparabili tra loro, ma possono comunque fornire potenziali dati di resa ottenibili nei sistemi impiegati con diverse specie di interesse per il mercato e la ricerca.

Tabella 2. Resa (kg FW m²) ottenuta per le piante nei sistemi ebb-and-flow e aeroponico.

SISTEMA DI COLTIVAZIONE	Ebb-and-flow (kg FW m⁻² y⁻¹)	Aeroponico (kg FW m⁻² y⁻¹)
Lattuga (<i>Lactuca sativa</i> cv. Canasta)	94.20	78.97
Cavolo baby-leaf (<i>Brassica oleracea</i> cv. Baby Kale #4.51)	69.02	52.70
Basilico (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	46.90	n.d.
Ruola (<i>Eruca sativa</i>)	36.92	n.d.
Pomodoro nano (<i>Solanum lycopersicum</i> cv. Micro-tom)	19.50	n.d.
Mais nano (<i>Zea mays</i>)	1.48	n.d.



4. Bibliografia

- Avgoustaki, D.D., Xydis, G., 2021. Energy cost reduction by shifting electricity demand in indoor vertical farms with artificial lighting. *Biosyst. Eng.* 211, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.006>.
- Carotti, L., Pistillo, A., Zauli, I., Meneghello, D., Martin, M., Pennisi, G., Gianquinto, G., Orsini, F., 2023. Improving water use efficiency in vertical farming: Effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation. *Agric. Water Manag.* 285, 108365. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108365>.
- Eldridge, B.M., Manzoni, L.R., Graham, C.A., Rodgers, B., Farmer, J.R., Dodd, A.N., 2020. Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *N. Phytol.* 228, 1183–1192. <https://doi.org/10.1111/nph.16780>.
- FAO, 1990. Soilless culture for horticultural crop production. FAO Plant production and Protection Paper N.101, Roma.
- Giuffrida, F., 2018. I sistemi di coltivazione fuori suolo. In *Orticoltura Principi e pratica*, Pardossi, A., Gianquinto, G., Santamaria, P., Incrocci, L., eds. (Edagricole), pp. 185-200.
- Gruda, N.S., 2020. Soilless culture systems and growing media in horticulture: an overview. *Advances in horticultural soilless culture*. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.1201/9781003048206>.
- Jurga, A., Pacak, A., Pandelidis, D., Kazmierczak, B., 2023. Condensate as a water source in terrestrial and extra-terrestrial conditions. *Water Resour. Ind.* 29, 100196 <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100196>.
- Katsoulas, N., Sapounas, A., De Zwart, F., Dieleman, J.A., Stanghellini, C., 2015. Reducing ventilation requirements in semi-closed greenhouses increases water use efficiency. *Agric. Water Manag.* 156, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.04.003>.
- Lakhiar, I.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A., Buttar, N.A., 2018. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *J. Plant Interact.* 13, 338–352. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308>.
- Lovichit, W., Kubota, C., Choi, C.Y., Schoonderbeek, J., 2007. Greenhouse water recovery system for crop production in semi-arid climate. ASABE Paper No. 074012. Presented at the 2007 ASAE Annual Meeting. ASABE, St. Joseph, Michigan. <https://doi.org/10.13031/2013.23053>.



- Pacak, A., Jurga, A., Drag, P., Pandelidis, D., Kazmierczak, B., 2020. A long-term analysis of the possibility of water recovery for hydroponic lettuce irrigation in indoor vertical farm. Part 1: Water recovery from exhaust air. *Appl. Sci.* 10, 8907. <https://doi.org/10.3390/app1024890.7>.
- Rufi-Salís, M., Petit-Boix, A., Villalba, G., Sanjuan-Delmás, D., Parada, F., ErcillaMontserrat, M., Arcas-Pilz, V., Muñoz-Liesa, J., Rieradevall, J., Gabarrell, X., 2020. Recirculating water and nutrients in urban agriculture: an opportunity towards environmental sustainability and water use efficiency. *J. Clean. Prod.* 261, 121213 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121213>.
- Soussi, M., Chaibi, M.T., Buchholz, M., Saghrouni, Z., 2022. Comprehensive review on climate control and cooling systems in greenhouses under hot and arid conditions. *Agronomy* 12, 626. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030626>.
- Wang, M., Dong, C., Gao, W., 2019. Evaluation of the growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity, biomass yield and quality of tomato using aeroponics, hydroponics and porous tube-vermiculite systems in bio-regenerative life support systems. *Life Sciences in Space Research* 22, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.lssr.2019.07.008>.
- Wimmerova, L., Keken, Z., Solcova, O., Bartos, L., Spacilova, M., 2022. A Comparative LCA of Aeroponic, Hydroponic, and Soil Cultivations of Bioactive Substance Producing Plants. *Sustainability* 14, 2421. <https://doi.org/10.3390/su14042421>.
- Yildiz, I., Stombaugh, D.P., 2006. Heat pump cooling and greenhouse microclimates in open and confined greenhouse systems. *Acta Hortic.* 255–262. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.719.28>.