



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

VALUTAZIONE DELLE RISPOSTE DI LATTUGHINO  
ROSSO E BIONDO COLTIVATE IN CONDIZIONI  
DIFFERENTI DI FOTOPERIODO

*EVALUATION OF RESPONSES OF RED AND BLONDE  
LETTUCE SEEDLINGS CULTIVATED UNDER  
DIFFERENT PHOTOPERIOD CONDITIONS*

TIPO TESI: *Sperimentale*

Studente:  
MARCO APPICCIUTOLI

Relatore:  
PROF. PAOLA A. DELIGIOS

Correlatore:  
DOTT. GIANLUCA BRUNETTI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Alla mia famiglia  
e a tutte le persone che  
hanno deciso di esserci  
in questo lungo viaggio,  
Grazie

ELENCO DELLE FIGURE .....	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	8
<b>Sommario</b>	
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE.....	9
1.1 Storia dell'agricoltura dal Neolitico all'oggi .....	9
1.2 Evoluzione dell'agricoltura fino all'epoca moderna.....	11
1.3 Il tramonto dell'agricoltura di sussistenza .....	12
1.4 Orticoltura.....	14
1.5 Urban farming.....	17
1.5.1 V. farming con substrato.....	18
1.5.2 V. farming in idroponica.....	19
1.5.3 Aeroponica.....	21
1.5.4 Acquaponica .....	22
1.5.5 Indoor domestic farming.....	24
CAPITOLO 2 SCOPO DELLA TESI.....	26
CAPITOLO 3 MATERIALI E METODI.....	27
3.1 Home cultivator .....	27
3.2 Altri materiali e strumenti.....	31
3.3 Descrizione dell'esperimento.....	35
3.4 Fasi della sperimentazione.....	36
3.5 Analisi statistica .....	39
CAPITOLO 4 RISULTATI .....	40
4.1 Numero di sfalci.....	40
4.2 Numero foglie.....	41
4.3 Altezza .....	42
4.4 SPAD .....	43
4.5 Superficie fogliare.....	45
4.6 Peso fresco e peso secco .....	45
4.7 Produzione biomassa totale.....	46
4.8 Consumi energetici .....	47
CAPITOLO 5 DISCUSSIONE .....	50

CAPITOLO 6 CONCLUSIONI .....	54
BIBLIOGRAFIA .....	55
RINGRAZIAMENTI .....	57

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Esempio di possibile agricoltura effettuata nel neolitico. Fonte: <a href="https://www.museodeltermalismo.it/rivoluzioni-preistoriche">https://www.museodeltermalismo.it/rivoluzioni-preistoriche</a> .....	9
Figura 1-2: rappresentazione su un mosaico di una scena di vendemmia in epoca romana. ....	10
Figura 1-3: Rappresentazione di una scena di trebbiatura nel 1500. Fonte: <a href="https://earlymodernwomenswork.wordpress.com/2015/05/19/did-women-work-in-agriculture">https://earlymodernwomenswork.wordpress.com/2015/05/19/did-women-work-in-agriculture</a> .....	12
Figura 1-4: Agricoltore di fianco al suo trattore, 1970 circa. Fonte: <a href="https://www.fwi.co.uk/machinery/farmers-tractor-buying-habits-1971-revealed">https://www.fwi.co.uk/machinery/farmers-tractor-buying-habits-1971-revealed</a> .....	13
Figura 1-5: Foto rappresentante un orto gestito da una famiglia. Da notare la consociazione di diverse essenze vegetali. Fonte: <a href="https://www.ortodacoltivare.it/coltivare/dimensioni-orto.html">https://www.ortodacoltivare.it/coltivare/dimensioni-orto.html</a> .....	15
Figura 1-6: Primo piano di lattughe cresciute in una serra hi-tech. Fonte: <a href="https://tcbmag.com/greenhouse-lettuce-producer-revol-greens-lands-68m-in-funding">https://tcbmag.com/greenhouse-lettuce-producer-revol-greens-lands-68m-in-funding</a> .....	16
Figura 1-7 Esempio di vertical farming presente in un'ambiente domestico. Fonte: <a href="https://thespoon.tech/meet-hectar-an-open-source-project-for-at-home-vertical-farming">https://thespoon.tech/meet-hectar-an-open-source-project-for-at-home-vertical-farming</a> .....	18
Figura 1-8: Foto rappresentante una coltivazione di lattuga in idroponica. Fonte: <a href="https://blog.jencoi.com/ph-in-hydroponics-how-to-maintain-the-ph-levels-of-hydroponic-systems">https://blog.jencoi.com/ph-in-hydroponics-how-to-maintain-the-ph-levels-of-hydroponic-systems</a> .....	20
Figura 1-9: Schematizzazione di un sistema NFT (nutrient film Technique) e un sistema DWC (Deep water culture), anche chiamato DFT. Fonte: Simon Goddek, 2017.....	20
Figura 1-10 Schematizzazione di un sistema di fog-ponica. Fonte: <a href="https://hydroponicpassion.blogspot.com/p/the-mist-maker-ultra-ponic-unit-vibrates.html">https://hydroponicpassion.blogspot.com/p/the-mist-maker-ultra-ponic-unit-vibrates.html</a> ....	22
Figura 1-11: Sistema di acquaponica con pesci rossi e piante di fragole. Fonte: <a href="https://www.georgofili.info/contenuti/alternative-ai-fertilizzanti-chimici-da-pesci-e-insetti-si-pu-ma-serve-pi-attenzione-a-questi-settor/21114">https://www.georgofili.info/contenuti/alternative-ai-fertilizzanti-chimici-da-pesci-e-insetti-si-pu-ma-serve-pi-attenzione-a-questi-settor/21114</a> .....	23
Figura 1-12: Foto rappresentante l'home cultivator studiato in questa sperimentazione. Fonte: <a href="https://eu.clickandgrow.com/products/urban-cultivator-commercial">https://eu.clickandgrow.com/products/urban-cultivator-commercial</a> .....	24

Figura 3-1: il laboratorio e i due HC nei quali è stata condotta la sperimentazione .....	27
Figura 3-2: Foto del pannello di controllo dell'HC. ....	28
Figura 3-3: Foto degli ultimi due ripiani di uno degli HC utilizzati. ....	29
Figura 3-4: Foto del serbatoio di acqua degli HC. ....	30
Figura 3-5: Foto di un vassoio con panetto di torba dentro e dome inserito. ....	31
Figura 3-6: Foto delle buste di semi usate per la prova. ....	32
Figura 3-7: In alto, risultati della prova di germinabilità. In basso, foto delle piastre Petri contenenti i semi germinati nel giorno di chiusura della prova di germinabilità. ....	33
Figura 3-8: Foto della bilancia analitica utilizzata per le misure di peso piante fresco e secco e della stufa usata per l'essiccazione dei campioni. ....	34
Figura 3-9: Nella foto a sinistra è ritratto lo SPAD usato (Fonte: <a href="https://www.konicaminolta.it/">https://www.konicaminolta.it/</a> ) mentre a destra è mostrato il planimetro usato per misurare la superficie fogliare. ....	35
Figura 3-10: Rappresentazione grafica del disegno sperimentale con la disposizione delle tesi di lattughino rosso (LR) e biondo (LB) e LB nei ripiani degli home cultivator. ....	36
Figura 3-11: Preparazione del letto di semina e della griglia. ....	36
Figura 3-12: Foto dell'HC1 con le tesi in attiva crescita a 30 giorni dalla semina. ....	38
Figura 3-13: A sinistra, una rilevazione dei valori di clorofilla tramite SPAD; a destra, la misurazione del numero di foglie e altezza delle piantine di un vassoio. ....	39
Figura 4-1: Numero di sfalci cumulati nel corso della prova. ....	40
Figura 4-2 Evoluzione del numero di foglie delle varie tesi in funzione del fotoperiodo. Nella parte superiore, i risultati a 23, 30, 38, 43, 48 e 86 giorni dalla semina (das). ....	41
Figura 4-3 Evoluzione delle altezze rilevate durante la prova. In alto, altezze delle piante registrate a 23, 30, 38, 43, 48 e 86 giorni dalla semina (das). ....	43
Figura 4-4 Evoluzione dell'indice di clorofilla fogliare SPAD durante i campionamenti effettuati a 23, 30, 38, 43, 48 e 86 giorni dalla semina (das). ....	44
Figura 4-5: Superficie fogliare (cm <sup>2</sup> ) delle due cultivar allevate in diverse condizioni di fotoperiodo a 86 giorni dalla semina. ....	45
Figura 4-6: Peso fresco per pianta delle due cultivar allevate in diverse condizioni di fotoperiodo a 86 giorni dalla semina. ....	46
Figura 4-7: Produzione areica delle due cultivar allevate in diverse condizioni di fotoperiodo. A sinistra sono riportate le rese areiche di LR e LB con fotoperiodo di 18 ore, a destra le rese con fotoperiodo 12 ore. ....	47

Figura 4-8 Rappresentazione grafica dei consumi energetici (kWh) dei due HC calcolati a 86 giorni dalla semina. ....	48
Figura 4-9: Consumi energetici per unità di biomassa prodotta dalle cultivar oggetto di studio. A sinistra sono rappresentati i consumi di LB e LR nell'HC1, a destra i consumi di LR e LB in HC2. ....	49

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

DAS	<i>Days after sowing</i> , giorni dalla semina
HC	<i>Home cultivator</i> , coltivatore domestico
LB	Lattughino biondo
LR	Lattughino rosso



# Capitolo 1

## INTRODUZIONE

### 1.1 Storia dell'agricoltura dal Neolitico all'oggi

Durante il Neolitico, grazie alla produzione di utensili sempre più accurati, l'uomo ha iniziato a praticare lentamente sia l'agricoltura che l'allevamento di bestiame.

Questo passaggio ha causato una profonda trasformazione paesaggistica attraverso disboscamenti e costruzioni di recinti per tutelare gli animali domestici, i raccolti e, allo stesso tempo, permettendo la formazione dei primi villaggi.

L'essere umano ha iniziato a diventare sempre più sedentario non limitandosi più alla caccia e al nomadismo, ma iniziando a sfruttare sempre di più la capacità di procurarsi il cibo necessario per la sua sopravvivenza tramite le attività agricole (De Saulieu *et al.*, 2015).

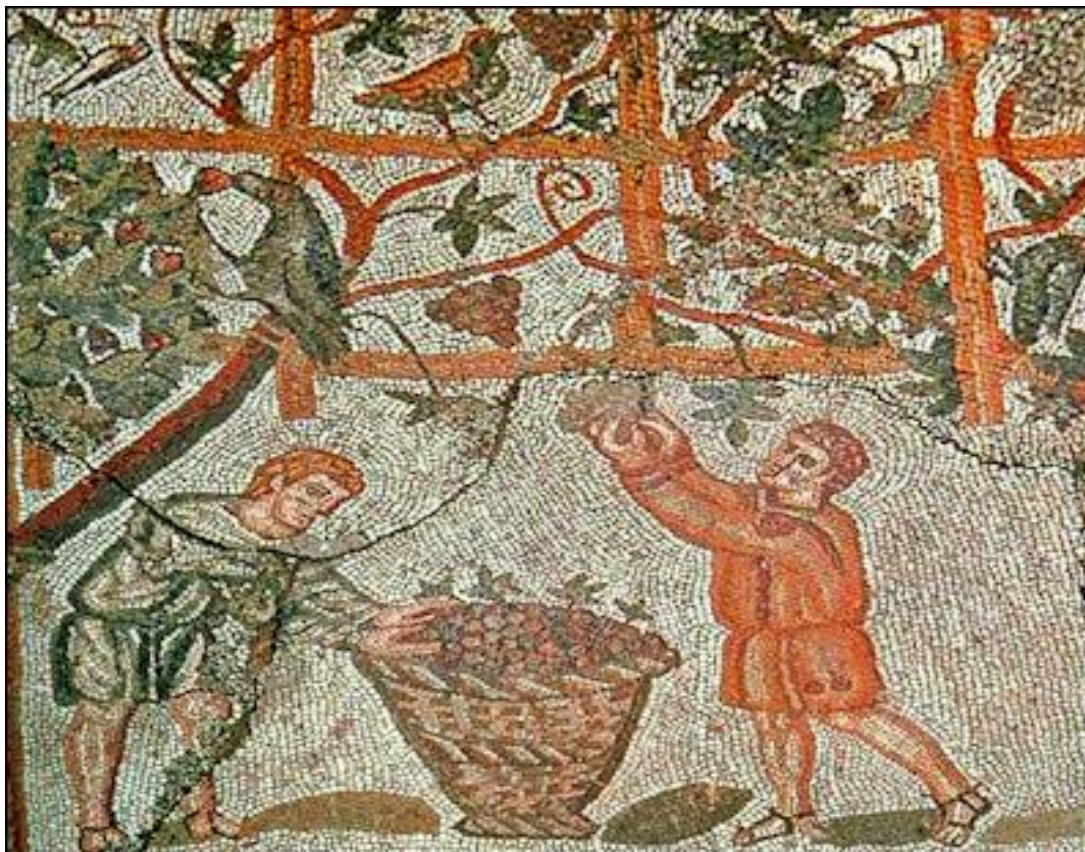


*Figura 1-1: Esempio di possibile agricoltura effettuata nel neolitico.*

*Fonte: <https://www.museodeltermalismo.it/rivoluzioni-preistoriche>.*

Da questo periodo iniziale di sviluppo dell'agricoltura un grande salto tecnologico nell'area

mediterranea fu fatto durante l'epoca romana dove furono attuate diverse trasformazioni e migliorie in ambito sia agricolo che zootecnico come, ad esempio, la selezione genetica di varietà vegetali e razze animali sempre più performanti. Infatti, parallelamente a questo fenomeno, è avvenuto anche un miglioramento delle tecniche di coltivazione e allevamento come riportato in molti testi antichi, quali quelli redatti da Columella e Virgilio.



*Figura 1-2: rappresentazione su un mosaico di una scena di vendemmia in epoca romana.*

Gli intensi scambi commerciali avvenuti in questo periodo storico nel bacino del mediterraneo hanno permesso una rapida diffusione delle diverse specie di ortaggi “autoctoni” presenti nell'areale europeo quali sedano, carota, lattuga, cipolla, aglio, cavoli, lenticchia, pisello, fava, finocchio e bietola. L'introduzione di altri ortaggi quali spinacio e melanzana avverranno più in là intorno all'anno mille d.C. ad opera degli arabi che conquistarono la Spagna ed altre aree dell'Europa meridionale. Solo dopo la scoperta dell'America ulteriori ortaggi arrivarono in Europa andando ad ampliare la rosa di specie coltivabili introducendo colture quali mais, pomodoro, patata e fagiolo. A tal proposito, è importante fare presente come l'introduzione di alcune specie come il mais o la patata abbiano completamente cambiato la dieta di alcune popolazioni europee che hanno iniziato a farne un largo uso per la loro alimentazione.

## **1.2 Evoluzione dell'agricoltura fino all'epoca moderna**

Nel corso dei secoli, la relazione che intercorreva tra campagna e città è iniziata a cambiare e, allo stesso modo, cambiò anche la realtà contadina. Ad esempio, in Italia, intorno all'anno mille, iniziò a scomparire la servitù della gleba, istituita in epoca romana, e iniziarono a comparire i contratti agrari che stimolarono i miglioramenti fondiari attraverso compensi proporzionati agli sforzi degli agricoltori. In questo periodo storico nacque anche una nuova classe di piccoli proprietari terrieri che, tramite la formazione di associazioni, partecipò ad opere di bonifica e di controllo delle acque d'irrigazione. Nei paesi europei più settentrionali, come Inghilterra e Belgio, iniziarono a diffondersi coltivazioni di piante tessili ed industriali assieme a colture di foraggiere utili per l'allevamento di bestiame. Nell'Europa settentrionale, oltre alla diffusione dell'allevamento, si incrementarono le superfici destinate a colture di grano e vite. In Italia settentrionale si diffuse l'allevamento del bestiame, maggiormente concentrato sull'arco alpino, e varie coltivazioni quali riso nella Pianura Padana e in Lombardia, oppure mais che introdotto dai veneziani si diffuse prima in Veneto e poi nel resto della penisola italiana. È grazie agli arabi che sono pervenute le coltivazioni di agrumi, cotone e barbabietola da zucchero che sono diventate molto presenti nelle aziende agricole Italiane (Fonzo, 2022).



*Figura 1-3: Rappresentazione di una scena di trebbiatura nel*  
<https://earlymodernwomenswork.wordpress.com/2015/05/19/did-women-work-in-agricult>

È evidente come il patrimonio genetico orticolo si sia arricchito di diverse specie beneficiando dei continui e intensi scambi commerciali che sono avvenuti nei secoli scorsi.

### **1.3 Il tramonto dell'agricoltura di sussistenza**

Dopo la fine della Seconda guerra mondiale è avvenuto un profondo cambiamento sociale ed economico in tutti i paesi coinvolti nel conflitto bellico. Nel caso dell'Italia, diversi cambiamenti nel tessuto sociale e uno sviluppo industriale repentino hanno permesso a diversi centri urbani di crescere in maniera esponenziale generando in seguito una forte richiesta di beni alimentari che dovevano provenire dalle campagne circostanti. Le aziende agricole, che erano presenti prima dello sviluppo urbano e industriale, erano molto piccole e frammentate basate su un'economia di tipo familiare prettamente di sussistenza e di conseguenza erano poco o per nulla redditizie. In risposta a questa situazione, molte famiglie sono andate incontro ad un esodo dalle campagne verso i centri urbani e le nuove fabbriche che richiedevano manodopera, provocando un grande spopolamento delle zone agricole. È così che nasce in Italia un nuovo periodo storico di modernizzazione sullo stampo di un modello economico di tipo capitalistico che caratterizzerà l'organizzazione socio-economica del paese nei futuri anni

(Pfaffen e Ineichen, 2012). Numerosi terreni pianeggianti e collinari vennero riuniti sotto uniche aziende che, grazie ai progressi della tecnologia, sono riuscite a gestire tali proprietà con un impiego di manodopera notevolmente inferiore rispetto alle gestioni del passato. Si riuscì quindi ad ottenere molto più profitto dalle coltivazioni e allevamento e, per la prima volta nella storia, furono rotti i binomi agricoltura-allevamento e campagne-città. Nel primo caso, s'iniziò a parlare di monoculture e allevamenti intensivi "senza terra". Nel secondo caso invece, smise di esserci la relazione tra i reflui domestici che in passato venivano regolarmente riversati nelle campagne contribuendo al mantenimento dei livelli di azoto e fosforo nei suoli agrari. Con la deruralizzazione e l'aumento delle popolazioni delle città è iniziato un periodo di squilibri e criticità che hanno avuto come risultato un inquinamento delle acque, un aumento dell'impronta ecologica dei centri urbani e un aumento degli output prodotti dal mondo agricolo. Quest'ultimi hanno portato alla produzione di un notevole numero di esternalità ambientali provocando un aumento dell'inquinamento a livello di atmosfera, suolo e acqua. Se le pianure e le colline hanno vissuto questi eventi sopra riportati, destino differente è stato invece riservato per i territori delle aree montuose che hanno accusato un abbandono quasi totale.



*Figura 1-4: Agricoltore di fianco al suo trattore, 1970 circa. Fonte: <https://www.fwi.co.uk/machinery/farmers-tractor-buying-habits-1971-revealed>.*

Le ripercussioni di questi eventi sono state la scomparsa di pascoli in alta quota e l'assenza di gestione dei boschi che, in assenza di insediamenti umani in queste aree, ha portato ad un

aumento esponenziale del numero di dissesti di natura idrogeologica con ripercussioni molto gravi anche sui centri abitati presenti nel fondovalle (Eco, 2014).

#### **1.4 Orticoltura**

Da questo contesto di repentini cambiamenti e profonde modificazioni delle attività agricole non è stata esclusa l'orticoltura. Infatti, tra le varie attività agricole che permettono la produzione di alimenti, una componente molto importante è stata svolta dal settore dell'orticoltura con una lunga serie di innovazioni nella produzione di colture orticole. Gli ortaggi sono definiti come piante erbacee raccolte prevalentemente prima della maturazione fisiologica ed utilizzate per l'alimentazione diretta, in parte o in toto, a crudo o mediante cottura, sia fresche che conservate. Gli ortaggi ricoprono una funzione molto importante nell'alimentazione umana poiché sono composti principalmente d'acqua e fibre e, a quest'ultime, si aggiungono anche vitamine e sali minerali. Data l'importanza di questa classe di prodotti agricoli, nel tempo si sono sviluppate diverse tipologie di orticoltura in funzione delle condizioni aziendali e possiamo riassumerle come:

- *Orticoltura familiare*
- *Orticoltura stabile*
- *Orticoltura non specializzata*
- *Orticoltura specializzata*
- *Orticoltura biologica*
- *Orticoltura fuori-suolo*

*L'orticoltura familiare* è una tipologia di agricoltura che ha caratterizzato le varie aziende fino al dopo-guerra, quest'ultima verte sull'autoproduzione e sussistenza andando a coltivare ortaggi per il consumo fresco. Questi orti venivano spesso consociati con piante da frutto e fiori andando a coprire estensioni di superficie comprese tra i 100-1000 m<sup>2</sup>.



***Figura 1-5: Foto rappresentante un orto gestito da una famiglia. Da notare la consociazione di diverse essenze vegetali. Fonte: <https://www.ortodacoltivare.it/coltivare/dimensioni-orto.html>.***

*L'orticoltura stabile* viene praticata in prossimità dei margini urbani ed i prodotti coltivati vengono venduti in mercati rionali, poco lontani dai luoghi di produzione. Le superfici sono limitate e vengono comprese tra i 1000 m<sup>2</sup> e i 10.000 m<sup>2</sup>. In questa tipologia di produzione possono essere applicati prodotti chimici di sintesi che, anche grazie all'uso di mezzi di protezione e rotazioni strette, rendono possibile lo sfruttamento intensivo delle superfici a disposizione.

*L'orticoltura non specializzata* si è sviluppata nelle aree più fertili e fresche d'Italia aventi elevate disponibilità idriche. Le superfici aziendali sono di media dimensione e sono tendenzialmente superiori ai 10.000 m<sup>2</sup>, inoltre queste aziende usano l'orticoltura principalmente come modo per introdurre un avvicendamento a colture di cereali e/o foraggere già coltivate in queste superfici. In questo caso, le orticole vengono inserite tipicamente nel periodo primaverile-estivo mentre i cereali vengono coltivati durante l'autunno-inverno. Le varie produzioni ottenute vengono destinate ai mercati all'ingrosso oppure all'industria della trasformazione. Gli ortaggi presenti in questa tipologia di agricoltura, usati come rinnovo, sono patata, pomodoro, melone, cocomero, aglio e cipolla mentre quelli usati come intercalari sono insalate, cavoli, finocchio e sedano. Per le poliennali fuori rotazione abbiamo invece

asparago e carciofo. Questa tipologia di orticoltura, a causa delle rotazioni troppo strette, presenta spesso problematiche fitosanitarie ed è per questo motivo che è importante che la coltura non ritorni nello stesso terreno prima di 3-4 anni.

*Nell'orticoltura specializzata* le varietà autoctone tipiche di ogni areale italiano sono state sostituite da cultivar e ibridi molto più produttivi provocando un'elevata erosione del patrimonio genetico degli ortaggi. La meccanizzazione eccessiva e l'utilizzo di prodotti fitosanitari hanno causato squilibri alla microfauna del suolo inducendo una riduzione della biodiversità dei territori che circondano le aziende agricole. Le aziende che praticano un'orticoltura specializzata hanno dimensioni che variano tra 1 e i 10 ettari, sfruttano l'uso di tunnel e/o serre locati in aree pianeggianti con suoli freschi e profondi.



**Figura 1-6: Primo piano di lattughe cresciute in una serra hi-tech. Fonte: <https://tcbmag.com/greenhouse-lettuce-producer-revol-greens-lands-68m-in-funding>.**

Gli ortaggi possono essere coltivati in pieno campo o al chiuso in strutture come serre. Quest'ultime possono essere fornite d'impianti di riscaldamento azionati per brevi periodi di tempo oppure possono presentare impianti di climatizzazione capaci sia di scaldarle che di raffreddarle. Anche nell'orticoltura specializzata viene intensificata la produzione causando fenomeni di stanchezza del terreno che vengono risolti tramite l'apporto di concimi minerali, l'utilizzo di varietà resistenti alla stanchezza del suolo e la disinfezione del terreno.

*L'orticoltura biologica* è costituita da una serie di pratiche agricole che permettono l'ottenimento di prodotti senza l'impiego di sostanze chimiche. L'obiettivo è quello di aumentare la presenza della sostanza organica nel suolo permettendo uno sviluppo di microrganismi come batteri e funghi che permettono una nutrizione equilibrata per le piante.



Per favorire questo fenomeno, vengono eseguite lavorazioni leggere del suolo tramite erpici, permettendo la circolazione d'aria nei primi 20 cm di suolo e favorendo i processi biologici che avvengono nella sostanza organica. È la presenza di sostanza organica e la sua relativa abbondanza a garantire un maggior stato di benessere e resistenza nei confronti delle patologie (Pardossi *et.al.*, 2018).

L'*orticoltura fuori-suolo* o "Soil-Less" impiega varie tecniche di coltivazione che sfruttano diversi substrati, sia per la crescita che la nutrizione vegetale, non facendo ricorso al suolo così convenzionalmente interpretato. Vengono soventemente usati substrati inerti capaci di garantire sia proprietà meccaniche, come l'ancoraggio per la pianta, e sia igroscopicità permettendo di trattenere l'umidità nel substrato di crescita e non disidratare le radici. Tutte le tecnologie che permettono uno sviluppo di piante in assenza di suolo hanno il pregio di far ricorso a soluzioni nutritive specifiche per l'essenza vegetale coltivata permettendo una ottimizzazione della produzione. Altri benefici riguardano un maggiore controllo sulle condizioni ambientali in cui la pianta cresce andando a ridurre, se non annullare, l'incidenza di avversità di natura biotica e fenomeni di stanchezza che in pieno campo potrebbero verificarsi. Una sua evoluzione è stata negli ultimi anni l'*urban farming*, ovvero la possibilità di realizzare colture orticole fuori-suolo in ambienti urbani all'interno di edifici.

### **1.5 Urban farming**

L'*urban farming* è una forma di coltivazione fuori suolo in ambienti urbani e domestico-cittadini dove lo spazio è limitato e si ha la necessità di sfruttare al massimo i volumi a disposizione. Infatti, il punto d'unione tra *urban farming* e il fuori suolo, risiede nella possibilità di fare *vertical farming*, ovvero realizzare sistemi capaci di produrre ortaggi su superfici verticali sfruttando l'efficienza produttiva dei sistemi fuori suolo a supporto delle produzioni agricole tradizionali praticate nelle campagne. Tramite l'uso d'illuminazione artificiale e un'accorta gestione della soluzione nutritiva è possibile far crescere qualsiasi specie vegetale in un'ambiente confinato e protetto. Queste tipologie di coltivazioni indoor possono essere distinte, grazie alle diverse tecniche di coltivazione che sfruttano, nelle seguenti categorie: con substrato, idroponica, aeroponica e acquaponica.



**Figura 1-7** Esempio di vertical farming presente in un'ambiente domestico. Fonte: <https://thespoon.tech/meet-hectar-an-open-source-project-for-at-home-vertical-farming>.

### 1.5.1 *V. farming con substrato*

Il vertical farming con substrato è una tecnica di coltivazione indoor che usa uno o più materiali miscelati ad hoc capaci di fornire un sostegno meccanico allo sviluppo della pianta, di trattenere l'umidità e rilasciare i nutrienti presenti nel substrato stesso in base alle esigenze della pianta. Questi nutrienti possono essere anche addizionati tramite soluzione circolante in modo da ampliare la disponibilità di elementi necessari allo sviluppo ottimale della coltura. Per quanto riguarda le tipologie di substrato, questi possono essere diversi e usati da soli o in combinazione; sono diffusi ad esempio substrati sintetici (come schiume di plastica), organici (come torba e fibra di cocco) o inorganici (come perlite, vermiculite, pomice). Caratteristiche fondamentali di questi substrati sono la loro facile reperibilità, l'eventuale rilascio graduale degli elementi nutritivi necessari e la capacità di avere una porosità idonea allo sviluppo radicale.

### 1.5.2 *V. farming in idroponica*

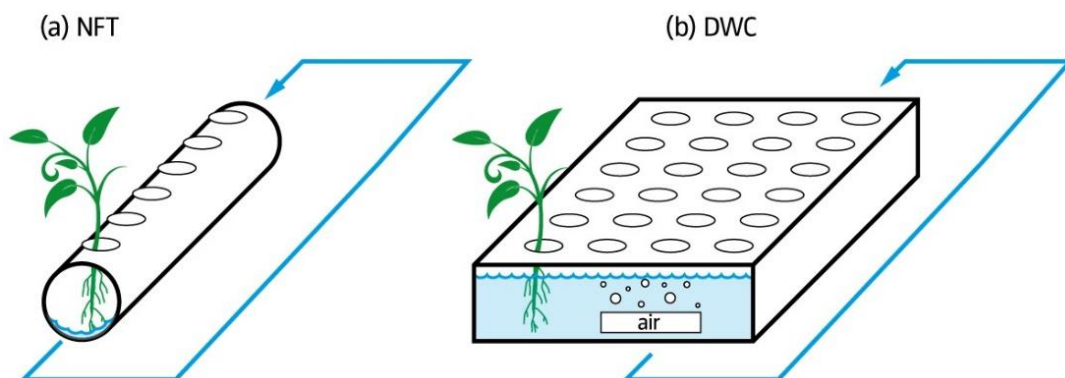
Il termine “Idroponica” deriva dalla combinazione delle parole greche ”hydros” (Acqua) e “ponos” (lavoro) andando ad indicare una tecnica di coltivazione in cui è l’acqua (la soluzione nutritiva) a farsi carico interamente della nutrizione vegetale. Il punto di forza dell’idroponica, rispetto alle coltivazioni indoor fatte con substrati, è la possibilità di controllare completamente la nutrizione della pianta coltivata permettendo di cambiare rapidamente la formula nutritiva anche in funzione della fase fenologica della coltura, andando a migliorare la quantità e qualità delle produzioni. È importante, a tale fine, controllare la qualità della soluzione di nutrienti andando a monitorare periodicamente il pH, la conducibilità elettrica e gli eventuali eccessi o carenze di elementi nella soluzione nutritiva. Altro punto di forza di questo sistema di coltivazione è la capacità di efficientare notevolmente l’uso dell’acqua andando a ridurre in maniera importante i consumi idrici necessari per la produzione alimentare, aspetto importante soprattutto nei territori dove l’acqua potabile è una risorsa limitante. Un sistema che usa l’idroponica può essere schematizzato da un serbatoio contenente la soluzione nutritiva, una pompa capace di movimentare e veicolare l’acqua alle piante e un sistema di aerazione della soluzione circolante. Le piante possono crescere su un substrato inerte oppure essere prive di un appoggio meccanico per le radici ed eventualmente essere sorrette tramite altri organi come il colletto. Inoltre, la soluzione nutritiva può essere sostituita sistematicamente come nel caso dei sistemi idroponici aperti, dove avviene una completa sostituzione periodica della soluzione circolante, oppure la soluzione può essere ricircolata in maniera indefinita per tutto il ciclo produttivo (sistemi chiusi) o gradualmente sostituita dopo periodi congrui di ricircolo (sistemi semi-chiusi). Le modalità in cui l’acqua d’irrigazione raggiunge la coltura permettono inoltre di delimitare due macro-classi che sono definite come *Deep flow Technique (DFT)* e *Nutrient Film technique (NFT)*.

Nella *DFT* le radici sono sospese nella soluzione nutritiva contenuta in un serbatoio o in un contenitore. Questo sistema, molto più semplice rispetto ad un sistema *NFT*, presenta alcuni vantaggi quali la semplicità di costruzione e gestione poiché basterà solamente un serbatoio con la soluzione nutritiva e un sistema di supporto delle piante. È di fondamentale importanza la presenza di un aeratore nella vasca dei nutrienti per aumentare l’ossigeno disciolto nella soluzione e permettere un migliore sviluppo della pianta. La tecnica del *DFT* può essere suddivisa a sua volta in due sotto-tecniche in cui le piante possono essere poste staticamente sopra il contenitore della soluzione nutritiva oppure possono galleggiare nella soluzione e muoversi all’interno di quest’ultima.



**Figura 1-8:** Foto rappresentante una coltivazione di lattuga in idroponica. Fonte: <https://blog.jencoi.com/ph-in-hydroponics-how-to-maintain-the-ph-levels-of-hydroponic-systems>

Lo svantaggio dei sistemi DFT risiede nel fatto che non tutte le specie coltivate tollerano una situazione in cui le radici sono costantemente sommerse; pertanto, questa tipologia di sistema può essere usata da piante capaci di tollerare tale situazione come ad esempio la lattuga.



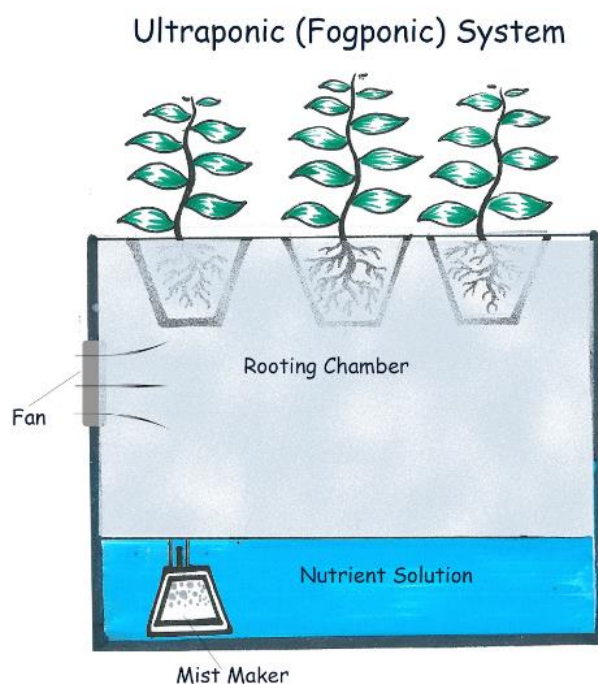
**Figura 1-9:** Schematizzazione di un sistema NFT (*nutrient film Technique*) e un sistema DWC (*Deep water culture*), anche chiamato DFT. Fonte: Simon Goddek, 2017

Il sistema *NFT* è un sistema in cui la soluzione nutritiva è veicolata verso le radici della pianta con una pompa tramite scorrimento di un film sottile di liquido. Le piante crescono su un

substrato inerte (lana di roccia, argilla espansa, *etc.*) oppure sono fissate tramite un supporto al colletto con le radici messe in stretto contatto con il film nutritivo. Sovente questo sistema fa uso di strutture simili a canalette leggermente inclinate in modo tale che l'acqua d'irrigazione viene inserita nella parte più alta della canaletta e poi possa scendere lentamente per gravità fino alla fine di quest'ultima. Lo svantaggio principale di questo sistema risiede in una maggiore complessità e nel maggior numero di componenti richiesti da acquistare e mantenere, ma ha il grosso pregio di permettere la crescita di ogni essenza vegetale, anche quelle che tollerano male i ristagni idrici e le condizioni di asfissia.

### 1.5.3 *Aeroponica*

L'aeroponica si presenta come una forma d'idroponica modificata, in questo caso l'etimologia della parola indica come l'irrigazione avvenga tramite aria. Nell'aeroponica le radici delle piante sono totalmente o parzialmente sospese in una camera vuota dove periodicamente viene irrorata una soluzione di nutrienti. Uno dei vantaggi di questo sistema di coltivazione è quello di far crescere la radice in modo libero andando ad occupare un volume e spazio maggiore rispetto ad una radice cresciuta nel terreno. Altro aspetto positivo del sistema sta nel fatto che le radici sono sempre esposte all'aria, permettendo la respirazione della rizosfera in modo indisturbato ed evitando i problemi di asfissia. L'elevata presenza di ossigeno aiuta anche ad ossidare gli eventuali essudati radicali che possono comportare un'azione fitotossica nel caso la loro concentrazione aumentasse. I sistemi di aeroponica possono essere divisi ulteriormente in due sottosistemi, quelli che operano un'aeroponica standard andando a veicolare la soluzione di nutrienti tramite spray sulla rizosfera e i sistemi che usano un aerosol di aria e soluzione nutritiva. Quest'ultima, chiamata anche "fog-ponic", sfrutta la formazione di un aerosol molto fine, "fog", che si va a depositare sulle radici tramite condensazione. È grazie a questo sistema che i nutrienti possono essere veicolati meglio nell'apparato radicale senza andare a creare situazioni di eccessiva umidità e/o asfissia radicale. I principali svantaggi di questi sistemi risiedono nel costo e soprattutto nella gestione dell'impianto: la crescita della pianta e le condizioni di umidità presenti nella camera contenente le radici dipendono interamente dal perfetto funzionamento del sistema. Un malfunzionamento o un blackout non gestito repentinamente possono compromettere la produzione provocando disseccamenti rapidi che distruggono la coltura e, di conseguenza, la produzione. Questo sistema si adatta soprattutto per ortaggi adatti a crescere a basso volume, come lattuga e spinaci (Gautam *et al.*, 2022).



**Figura 1-10** Schematizzazione di un sistema di fog-ponica. Fonte: <https://hydroponicpassion.blogspot.com/p/the-mist-maker-ultraponic-unit-vibrates.html>

#### 1.5.4 Acquaponica

Questa tecnica di coltivazione fa riferimento ad una grande categoria chiamata “bio-ponica”, ovvero sistemi idroponici in cui la componente nutritiva della soluzione circolante viene risolta dall’attività di altre forme di vita. Quest’ultime possono essere di diversa origine e possono coinvolgere anche la semplice degradazione di una soluzione avente molta sostanza organica disciolta, come ad esempio una soluzione contenente reflui zootecnici. Di tutte le forme di bio-ponica, la più conosciuta e al momento la più diffusa è quella che coinvolge l’allevamento ittico ovvero l’acquaponica; difatti questo termine nasce come condensazione della parola acquacoltura (allevamento ittico) e idroponica. L’acquaponica può essere schematizzata da una vasca piena di acqua contenente una o più specie di acqua dolce da allevare, come pesci, quali trote e carpe, oppure crostacei, quali i gamberi di fiume, che è collegata ad un sistema di filtraggio adatto a trattenere le particelle solide. È presente anche un biofiltro per l’ammoniaca che risulta essere tossica sia per le piante che per gli animali allevati. Nel biofiltro, i batteri nitrificanti operano l’ossidazione dell’ammoniaca in ione nitrico. Assieme all’ossidazione dell’ammoniaca avvengono anche altri fenomeni degradativi che mineralizzano gli elementi

nutritivi presenti nelle deiezioni della specie allevata. Questa soluzione, ricca di elementi nutritivi per le piante, viene veicolata nella parte superiore dell'impianto dove risiede la coltura. La peculiarità di questo sistema consiste nel fatto che sono le piante a fungere da filtro andando a rimuovere gli elementi nutritivi e permettendo di mantenere un'acqua il più possibile adatta alla vita della vasca sottostante.



**Figura 1-11: Sistema di acquaponica con pesci rossi e piante di fragole. Fonte: <https://www.georgofili.info/contenuti/alternative-ai-fertilizzanti-chimici-da-pesci-e-insetti-si-pu-ma-serve-pi-attenzione-a-questi-settor/21114>**

Questo sistema ha dei pregi notevoli, come ad esempio un'efficienza d'uso dell'acqua maggiore rispetto all'idroponica stessa e la capacità di ridurre l'impronta ecologica ottenendo due produzioni con un'unica gestione. I contro di questo sistema sono la difficile gestione poiché l'intero impianto si comporta come un piccolo ecosistema; pertanto, le perturbazioni su una delle componenti va ad interagire inevitabilmente sull'altra. Ad esempio, con l'asportazione di troppe piante si perde la capacità di ridurre la concentrazione di ioni tossici nell'acqua mandando in stress le specie allevate; viceversa, un prelievo eccessivo della fauna ittica nella vasca sottostante riduce drasticamente l'abbondanza di nutrienti disponibili per la crescita delle piante. A questo si aggiungono anche altre problematiche quali l'impossibilità di usare molecole di sintesi per la cura della coltura o della componente di acquacoltura oppure la necessità di fare ricorso a concimazioni esterne per sopperire ad eventuali carenze (Pardossi *et al.*, 2018).

### 1.5.5 Indoor domestic farming

Un'ulteriore evoluzione dell'*urban farming* sono i sistemi di coltivazione domestica. In questi sistemi la produzione orticola è compiuta direttamente nel luogo di consumo. Questi sistemi, infatti, possono essere introdotti nei ristoranti, nelle scuole o nelle stesse abitazioni private, garantendo così la produzione di verdura a km zero azzerando i costi di trasporto e riducendo drasticamente le perdite di prodotto che avvengono spesso nel post raccolta.



**Figura 1-12: Foto rappresentante l'home cultivator studiato in questa sperimentazione. Fonte: <https://eu.clickandgrow.com/products/urban-cultivator-commercial>.**

Un punto di forza di queste macchine risiede nella possibilità di essere installati all'interno di strutture abitate che beneficiano già di un controllo della temperatura idoneo alla produzione vegetale, permettendo un abbattimento delle spese energetiche sia a livello di consumi che di



progettazione vista la semplificazione del sistema di controllo della temperatura necessario (Giordano, A. 2023).

## Capitolo 2

### SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo della tesi è stato quello di valutare l'effetto del fotoperiodo (18h vs 12h) sulla germinazione, accrescimento e produzione di due varietà di lattuga (*Lactuca sativa* L.) destinate alla produzione di baby leaf di lattughino rosso e lattughino biondo.

I risultati dello studio permetteranno d'indicare quale fotoperiodo è più idoneo per la crescita delle varietà di lattughino e per valutarne l'eventuale efficienza energetica.

## Capitolo 3 MATERIALI E METODI

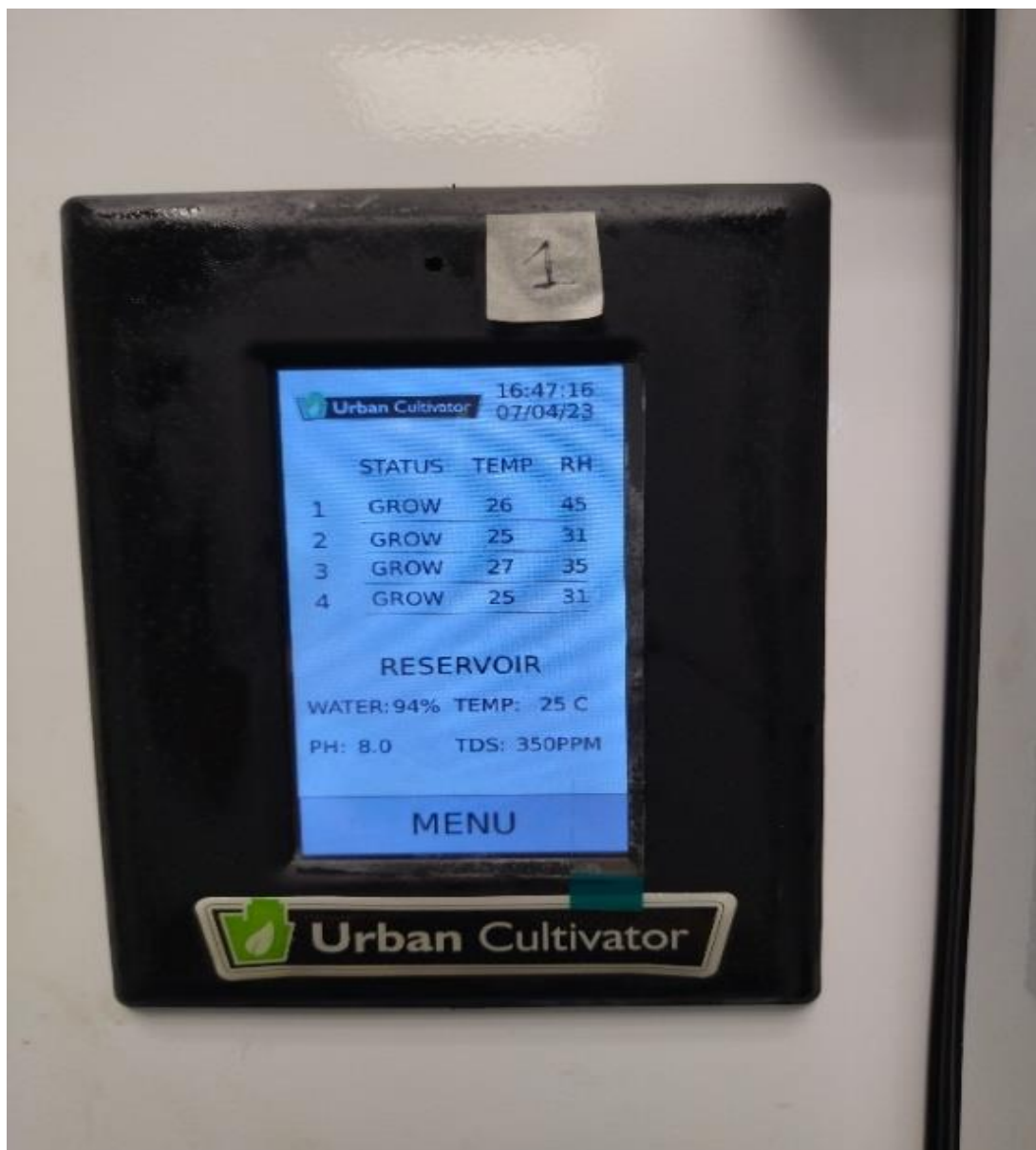
### 3.1 Home cultivator

La prova sperimentale si è svolta nei laboratori di Agronomia del Dipartimento di Scienze Agrarie Alimentari e Ambientali dell'Università Politecnica delle Marche. Sono stati utilizzati due dispositivi per uso sia domestico che commerciale ascrivibili alla categoria dell'*indoor vertical farm*. Due *home cultivator* (HC) modello *commercial*, prodotti da un'azienda specializzata nel settore (Urban Cultivator™, Olanda), sono stati acquistati nell'ambito del progetto di ricerca "Vitality" finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca con fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.



*Figura 3-1: il laboratorio e i due HC nei quali è stata condotta la sperimentazione*

Ciascun HC è munito di quattro ruote bloccabili per facilitare lo spostamento e la manutenzione; lo *chassis* è costituito da una struttura esterna in acciaio inox ed è dotato di un pannello di controllo che consente il settaggio o il monitoraggio di alcune delle variabili che influenzano la crescita delle piante coltivate quali irrigazione, luminosità, temperatura e umidità relativa dell'aria, temperatura dell'acqua e suo livello nel serbatoio, pH e salinità dell'acqua.



*Figura 3-2: Foto del pannello di controllo dell'HC.*

Frontalmente, i macchinari presentano una porta a due ante in vetro che permette l'accesso all'interno della struttura dell'HC. Posteriormente agli HC è presente una presa per la corrente

elettrica e due tubi che permettono, rispettivamente, l'ingresso di acqua potabile e lo scarico dell'acqua.



***Figura 3-3: Foto degli ultimi due ripiani di uno degli HC utilizzati.***

Internamente, gli HC sono dotati di quattro ripiani in plastica rigida su cui poggiano rispettivamente quattro grandi vasche di plastica (ABS) che, a loro volta, contengono fino a quattro vassoi in plastica con una superficie di coltivazione di circa 0,125 m<sup>2</sup> ciascuno. Ogni vasca presenta una leggera inclinazione verso la parete posteriore dell'HC ed è dotata di fori per lo sgrondo dell'acqua d'irrigazione, oltre ad avere una sezione rettangolare che funge sia da scarico per un'eventuale troppo-pieno e sia per l'ingresso del tubo d'irrigazione. I quattro ripiani presentano altezze diverse, pari a: 30 cm il primo, 32 cm il secondo, 36 cm il terzo e 40 cm il quarto ripiano, rispettivamente. Tali differenze spaziali permettono la coltivazione contemporanea di diverse specie con diverso sviluppo della parte epigea oppure la coltivazione sequenziale della stessa essenza ma a fasi di sviluppo diverse per ottenere produzioni differite nel tempo. Il pannello di comando posto nella parte frontale e laterale dell'HC permette di monitorare molti parametri di crescita all'interno di quest'ultimo, oltre a gestire i diversi dispositivi che sono presenti dentro il macchinario stesso. Al di sotto del quarto piano è presente un serbatoio capace di ospitare fino a 80 litri soluzione nutritiva. All'interno del serbatoio sono ospitati anche diversi strumenti quali le sonde del pH-metro e del tester di conducibilità elettrica, la pompa di ricircolo dell'acqua per l'irrigazione, un galleggiante per il troppo-pieno ed i sistemi di aerazione e di correzione del pH.



***Figura 3-4: Foto del serbatoio di acqua degli HC.***

In ogni ripiano, oltre alle rispettive vasche (Figura 3-3), sono presenti 4 neon per garantire l'illuminazione del ripiano, 2 bocchette per il ricircolo dell'aria favorito da una ventola installata nel lato sinistro, 1 sensore di temperatura e umidità dell'aria, 1 filtro a spugna per il particolato ed 1 ugello di distribuzione dell'acqua di irrigazione.

L'acqua di irrigazione viene pescata dal serbatoio e distribuita ad ogni ciclo di irrigazione programmato prima nel primo ripiano in alto e, successivamente, in quelli sottostanti ad intervalli sfasati di 30 minuti. L'acqua distribuita nelle vasche di irrigazione viene assorbita per capillarità dalle piante coltivate all'interno dei vassoi attraverso dei fori presenti alla base di quest'ultimi. Al termine dell'irrigazione di ogni ripiano, il drenato viene raccolto nuovamente nel serbatoio dei nutrienti che verrà svuotato e riempito regolarmente ogni sette giorni.

L'HC può ospitare un totale massimo di 16 vassoi di coltivazione; ciascun vassoio di polietilene nero è dotato di un coperchio in polietilene trasparente (dome), da usare nella fase di germinazione per mantenere un'umidità elevata.

È presente anche un tappetino di tessuto-non-tessuto da inserire sul fondo per trattenere il substrato di coltivazione ed evitare il suo eventuale trasporto nel serbatoio.



**Figura 3-5:** Foto di un vassoio con panetto di torba dentro e dome inserito.

### **3.2 Altri materiali e strumenti**

Oltre all'UC, per la sperimentazione sono stati necessari altri materiali quali il substrato di coltivazione e sementi. Come substrato di crescita è stato usato un substrato di tipo commerciale adatto per la produzione di orticole in vivaio (Vigorplant, Fombio, Lodi). Il substrato era costituito da un mix di torba acida, ammendante vegetale non compostato e sabbia silicea, ed era caratterizzato dalle seguenti proprietà fisiche: pH in H<sub>2</sub>O 6,5, conducibilità elettrica 0,30 dS/m, densità apparente secca 500 kg m<sup>-3</sup>, porosità totale 85% v/v. Per quanto riguarda le sementi, sono stati usati semi di lattughino (*Lactuca sativa* L.) di tipo biondo e rosso rispettivamente delle cultivar Albabionda e Albarossa. I semi certificati di buona qualità, sono stati prodotti da Smarties Bio (Chioggia Venezia, Italia), azienda che fornisce prodotti ideali per diverse coltivazioni indoor, quali vertical farming, acquaponica, idroponica, floating system e aeroponica.



**Figura 3-6: Foto delle buste di semi usate per la prova.**

Per quanto riguarda la cv Albabionda il tasso di germinazione, registrato in una prova preliminare di germinabilità eseguita nei nostri laboratori, si è attestato intorno al 96%, come dichiarato anche dall'azienda produttrice delle sementi. Invece, per la cv Albarossa, la germinabilità osservata è stata del 78%.

I risultati della prova di germinabilità sono osservabili in figura 3-7.



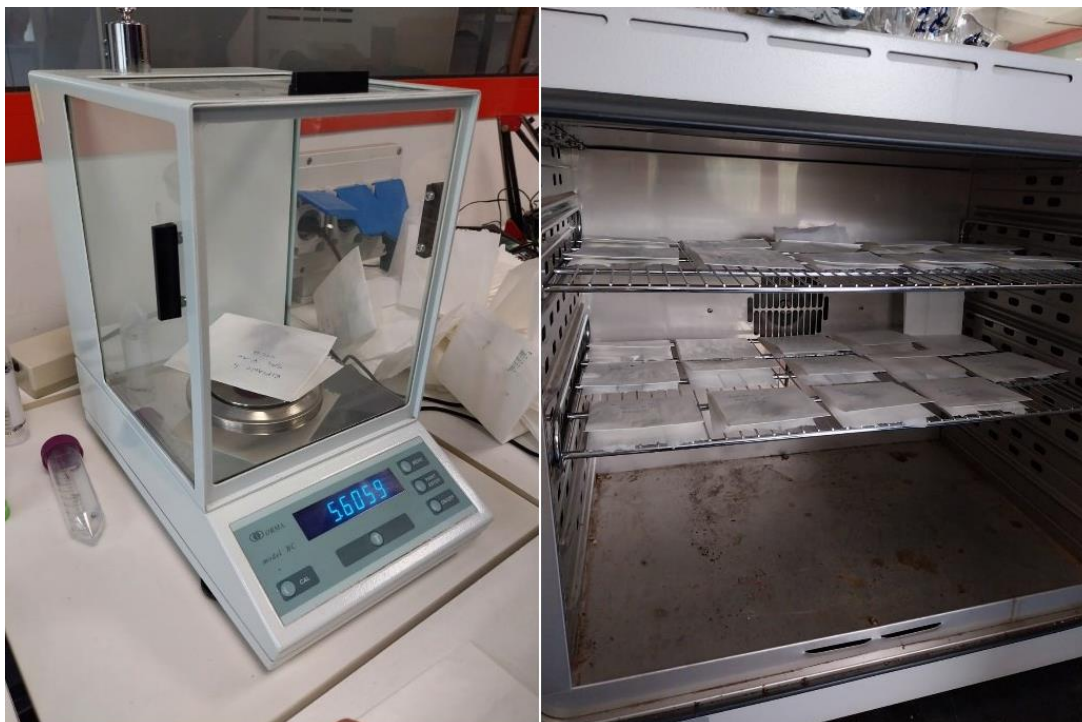
<b>Lattughino Biondo</b>			
<b>N. Piastra</b>	<b>Semi x piastra</b>	<b>Semi germinati</b>	<b>% germinazione</b>
Piastra 1	25	25	100 %
Piastra 2	25	25	100 %
Piastra 3	25	24	96 %
Piastra 4	25	22	88 %
<b>Totale</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>96 %</b>

<b>Lattughino rosso</b>			
<b>N. Piastra</b>	<b>Semi x piastra</b>	<b>Semi germinati</b>	<b>% germinazione</b>
Piastra 1	25	21	84 %
Piastra 2	25	19	76 %
Piastra 3	25	20	80 %
Piastra 4	25	18	72 %
<b>Totale</b>	<b>100</b>	<b>78</b>	<b>78 %</b>



**Figura 3-7:** *In alto, risultati della prova di germinabilità. In basso, foto delle piastre Petri contenenti i semi germinati nel giorno di chiusura della prova di germinabilità.*

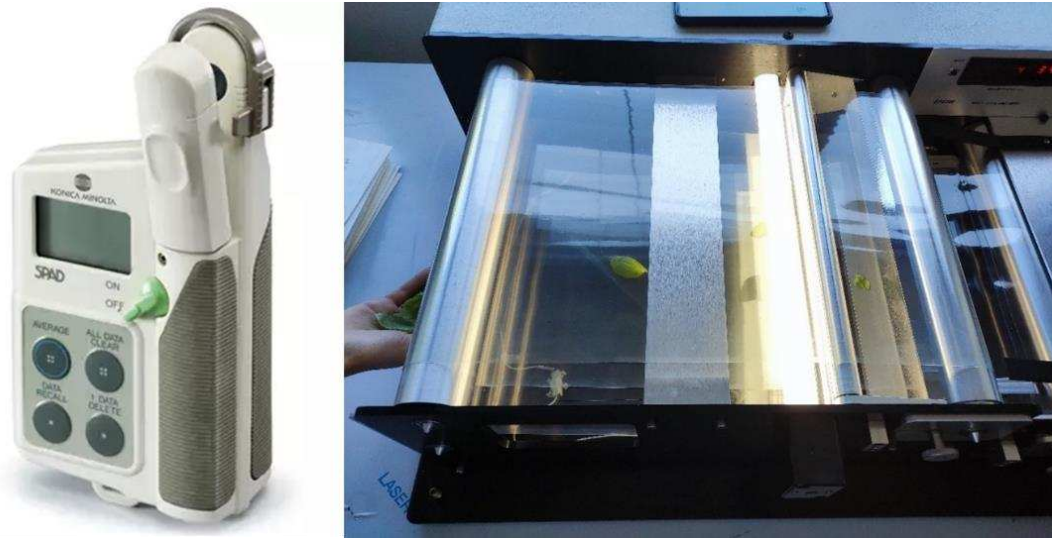
Durante le prove sono state impiegate come attrezzature di laboratorio una bilancia analitica di precisione con risoluzione di misurazione di 0.1 mg (BCA 200, ORMA) e un forno essiccatoio (Binder, FA115), entrambe le attrezzature sono state usate per la determinazione dei pesi freschi e secchi delle varie parti di pianta analizzate.



***Figura 3-8: Foto della bilancia analitica utilizzata per le misure di peso piante fresco e secco e della stufa usata per l'essiccazione dei campioni.***

Inoltre, è stato utilizzato un misuratore di clorofilla (SPAD mod. 502 Plus, Konica Minolta Sensing, Giappone) per poter stimare il contenuto di clorofilla a livello fogliare in maniera non distruttiva durante le varie fasi di crescita.

Per la misurazione delle superfici fogliari delle piante campionate è stato impiegato un planimetro LICOR-LI 3100C, (Licor, USA).



**Figura 3-9:** Nella foto a sinistra è ritratto lo SPAD usato (Fonte: <https://www.konicaminolta.it/>) mentre a destra è mostrato il planimetro usato per misurare la superficie fogliare.

### 3.3 Descrizione dell'esperimento

La prova sperimentale ha riguardato un ciclo completo di coltivazione di lattughino della durata di circa 86 giorni, con inizio il 20/06 e termine il 14/09. Nella prova è stato testato il comportamento produttivo delle due cultivar selezionate in risposta a due fotoperiodi diversi, rispettivamente di 18 h di luce (FP1) e 12 h di luce (FP2).

Le due tesi sono state collocate dentro gli HC seguendo il disegno sperimentale descritto in Figura 3-10, questo schema permette di tenere conto sia dell'eventuale gradiente presente in ogni ripiano dell'HC, ma anche dell'eventuale differenza presente tra i 2 HC limitando al minimo l'errore statistico.

Per ciascuna cultivar sono state coltivate 4 repliche per HC, ovvero 4 repliche di lattughino biondo e 4 di lattughino rosso nel home cultivator con fotoperiodo FP1 e altrettante nel home cultivator con fotoperiodo FP2.

Un monitoraggio settimanale è stato condotto andando a misurare parametri come il numero di semi germinati, l'altezza delle piante e il numero di foglie per pianta.

Il campionamento finale distruttivo ha riguardato l'asportazione di dieci piante per replica (vassoio) con successiva misurazione della superficie fogliare, del peso fresco e del peso secco per pianta, e la raccolta totale dei vassoi.

HC1 (18 h luce)				HC2 (12 h luce)			
LB 1-1			LR 1-4	LB 1-1			LR 1-4
	LB 2-2	LR 2-3			LB 2-2	LR 2-3	
		LB 3-3	LR 3-4			LB 3-3	LR 3-4
LR 4-1			LB 4-4	LR 4-1			LB 4-4

*Figura 3-10: Rappresentazione grafica del disegno sperimentale con la disposizione delle tesi di lattughino rosso (LR) e biondo (LB) e LB nei ripiani degli home cultivator.*

### 3.4 Fasi della sperimentazione

L'allestimento della prova sperimentale è stato preceduto da un ciclo di lavaggio e disinfezione delle attrezzature con perossido d'idrogeno.

Successivamente, è stato preparato il substrato di crescita a base di torba aggiungendo un volume di 4 litri di substrato per vassoio. Dopo questa operazione, il terriccio di ogni vassoio è stato livellato ed è stata creata sulla superficie una griglia da 2,5 cm × 2,5 cm tramite una guida in plastica al fine di facilitare un corretto inserimento dei semi per ogni singolo riquadro ed ottenere così una densità di semina omogenea.



*Figura 3-11: Preparazione del letto di semina e della griglia.*

La densità di piante target è stata quella di 1600 piante/m<sup>2</sup>, in linea con i valori riportati in letteratura (Mattson *et al.*, 2022). In ciascun riquadro sono stati inseriti tre semi in modo tale da ridurre al minimo il rischio di fallanze e da permettere eventuali azioni di diradamento o ripicchettatura. Successivamente, i vari plot sono stati nebulizzati con acqua potabile e su di questi sono stati collocati i vari “dome” permettendo sia la formazione di un microclima umido e allo stesso tempo un leggero ricircolo d’aria utile per la germinazione dei semi. Le vaschette contenenti semi, con i “dome” inseriti, sono state riposte dentro ogni ripiano dell’HC seguendo le configurazioni descritte nel disegno sperimentale. Trascorse le 48 ore della fase germinativa iniziale dei semi, i vari dome sono stati rimossi procedendo con l’irrigazione dei vari plot usando il sistema d’irrigazione degli HC e attivando il sistema d’illuminazione.

Negli HC sono stati impostati alcuni parametri di funzionamento quali una temperatura di attivazione delle ventole a valori maggiori di 20 °C, una correzione del pH a 7,00 unità, un ciclo d’irrigazione di 8 minuti per 3 volte al giorno, ed un fotoperiodo di 18 e 12 ore rispettivamente per l’HC1 per l’HC2. Da quando gli HC sono entrati in funzione, sono stati effettuati dei monitoraggi giornalieri dei parametri rilevati dagli HC quali temperatura e umidità relativa di ogni singolo ripiano, temperatura, pH e conducibilità elettrica dell’acqua di irrigazione. Una settimana dopo l’avvio della sperimentazione è stato necessario effettuare dei diradamenti oppure ripicchettature in alcune repliche a causa di alcune fallanze riscontrate.



*Figura 3-12: Foto dell'HC1 con le tesi in attiva crescita a 30 giorni dalla semina.*

Dopo 23 giorni dalla emergenza è avvenuto il primo campionamento non distruttivo sulle varie tesi rilevando l'altezza di dieci piante, il numero di foglie e l'indice di clorofilla fogliare (SPAD).



*Figura 3-13: A sinistra, una rilevazione dei valori di clorofilla tramite SPAD; a destra, la misurazione del numero di foglie e altezza delle piantine di un vassoio.*

I successivi campionamenti sono avvenuti con cadenza settimanale. Il campionamento distruttivo è avvenuto recidendo tutte le piante ad un'altezza superiore alla prima foglia, permettendo la sopravvivenza della tesi per consentire ulteriori sfalci. Dalla restante parte del materiale vegetale ottenuto è stato rilevato solo il peso fresco e il peso secco tramite essiccazione in stufa alla medesima temperatura. L'ultimo campionamento coincidente con lo sfalcio e la raccolta finale di tutte le tesi è avvenuto a 86 giorni dalla semina.

### **3.5 Analisi statistica**

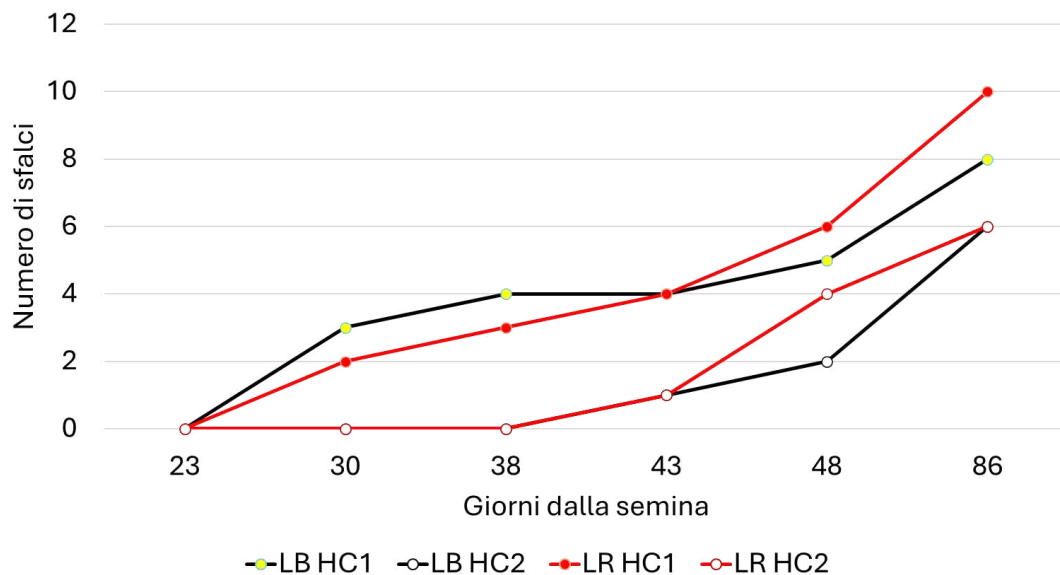
Le variabili di risposta misurate (SPAD, altezza, numero foglie, peso fresco e secco fogliare, peso fresco e secco totale delle singole tesi, superficie fogliare) sono state analizzate tramite ANOVA a due vie considerando come fattori la cultivar e il fotoperiodo. Le variabili di risposta sono state testate in merito alle seguenti assunzioni rilevanti per i test ANOVA parametrici: l'assenza di outlier attraverso l'ispezione di Box-plot, residui del modello distribuiti normalmente con l'ispezione di Box-plot; omoschedasticità della varianza con ispezione di residual plot. I dati sono stati trasformati secondo la procedura di Box-Cox per soddisfare tali assunti.

## Capitolo 4

### RISULTATI

#### 4.1 Numero di sfalci

Il numero di sfalci eseguiti durante il corso della prova sono riportati nella figura 4-1. Il primo campionamento con rilievi distruttivi è avvenuto a 30 giorni dalla semina. Le tesi che hanno subito il maggior numero di sfalci sono state quelle condotte con una condizione di fotoperiodo pari a 18 ore (HC1) e tra queste il maggior numero di sfalci è stato effettuato per il lattughino rosso con 10 raccolte seguito dal lattughino biondo con 8 raccolte. Le tesi con fotoperiodo di 12 ore (HC2) hanno registrato un numero di sfalci inferiore pari a 6 sfalci sia per il lattughino rosso che per il biondo. Inoltre, le tesi cresciute con meno ore di luce hanno ricevuto il primo sfalcio a 43 giorni dalla semina.



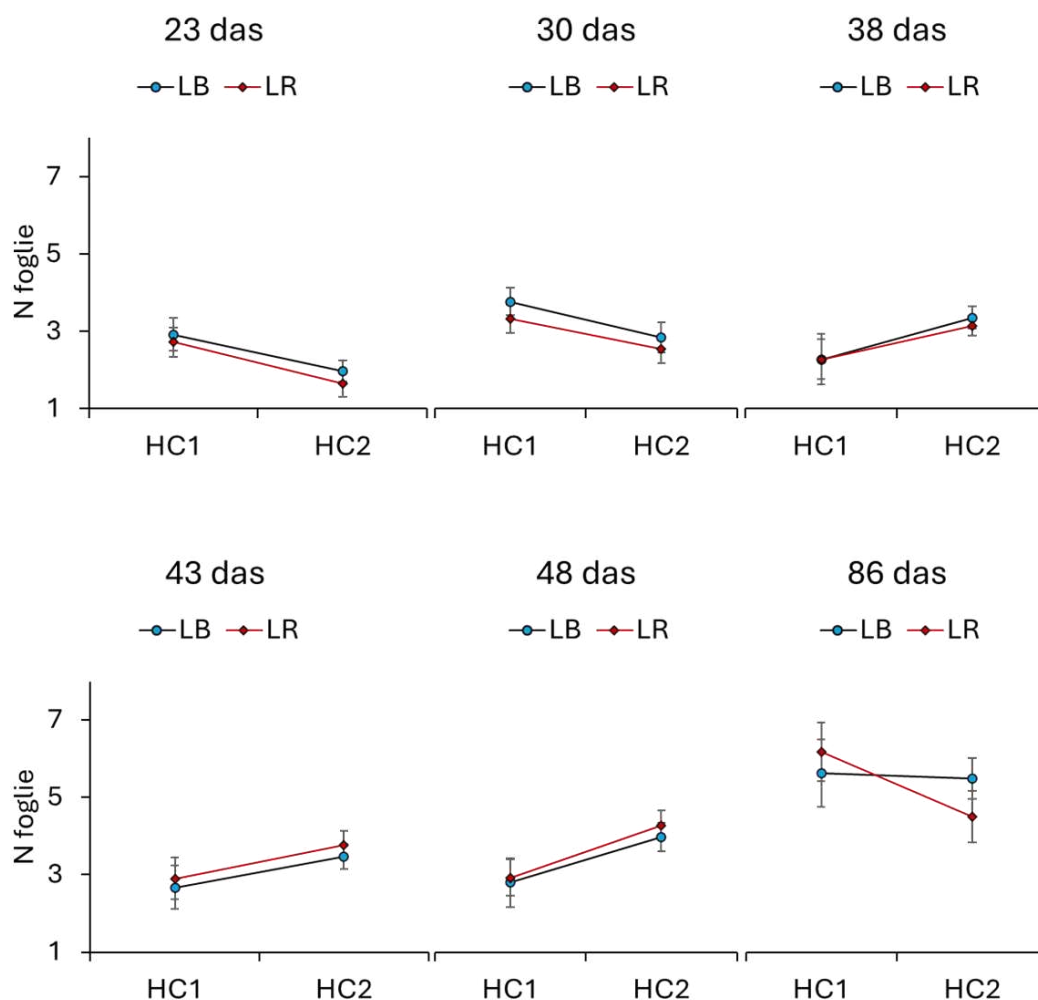
*Figura 4-1: Numero di sfalci cumulati nel corso della prova.*



## 4.2 Numero foglie

Il numero di foglie per pianta di ciascuna tesi in funzione del fotoperiodo è riportato nella Figura 4-2. Fino ai 30 giorni dopo la semina, il lattughino biondo ha registrato un numero di foglie maggiore rispetto al lattughino rosso in entrambi i fotoperiodi. Fino a 30 giorni dalla semina, le tesi di lattughino biondo e rosso condotte con un fotoperiodo di 18 ore registravano un numero di foglie maggiore rispetto a quelle cresciute con 12 ore di luce. A 38 giorni dalla semina, in seguito agli eventi di sfalcio, le tesi presenti negli HC2 registravano un numero di foglie superiore rispetto a quelle nell'HC1.

L'analisi delle correlazioni lineari di Pearson ha rilevato inoltre una correlazione positiva e significativa tra il numero di foglie e l'altezza a 23, 30 e 38 giorni dalla semina con valori di 0.90, 0.85 e 0.81 rispettivamente.



**Figura 4-2** Evoluzione del numero di foglie delle varie tesi in funzione del fotoperiodo. Nella parte superiore, i risultati a 23, 30, 38, 43, 48 e 86 giorni dalla semina (das).

A 43 giorni dalla semina e fino a 48 giorni dalla semina, le tesi di lattughino rosso cresciuti in entrambi i fotoperiodi hanno registrato un numero medio di foglie superiore rispetto alle tesi di lattughino biondo. A 86 giorni dalla semina, giorno di chiusura della prova, le tesi cresciute in condizioni di fotoperiodo di 18 ore hanno registrato un numero di foglie superiore a quelle cresciute con 12 ore di luce. In questa data è osservata una correlazione positiva tra numero di foglie con il peso secco (0,59), peso fresco (0,52) e superficie fogliare (0,55). Viene registrata una interazione tra i trattamenti di fotoperiodo e le specie coltivate: in condizioni di fotoperiodo alto (18 h) il lattughino rosso ha registrato un numero di foglie superiore a quelle di lattughino biondo. Andamento inverso è stato osservato con 12 h di fotoperiodo (HC2) in cui il lattughino biondo ha registrato un numero di foglie superiore a quello rosso.

### **4.3 Altezza**

La figura 4-3 riporta le altezze rilevate delle varie tesi. A 23 e 30 giorni dalla semina le tesi cresciute nell'HC1 hanno registrato altezze superiori a quelle cresciute nell'HC2. In particolare, nelle condizioni di fotoperiodo di 18 ore, il lattughino biondo ha registrato un'altezza superiore al lattughino rosso.

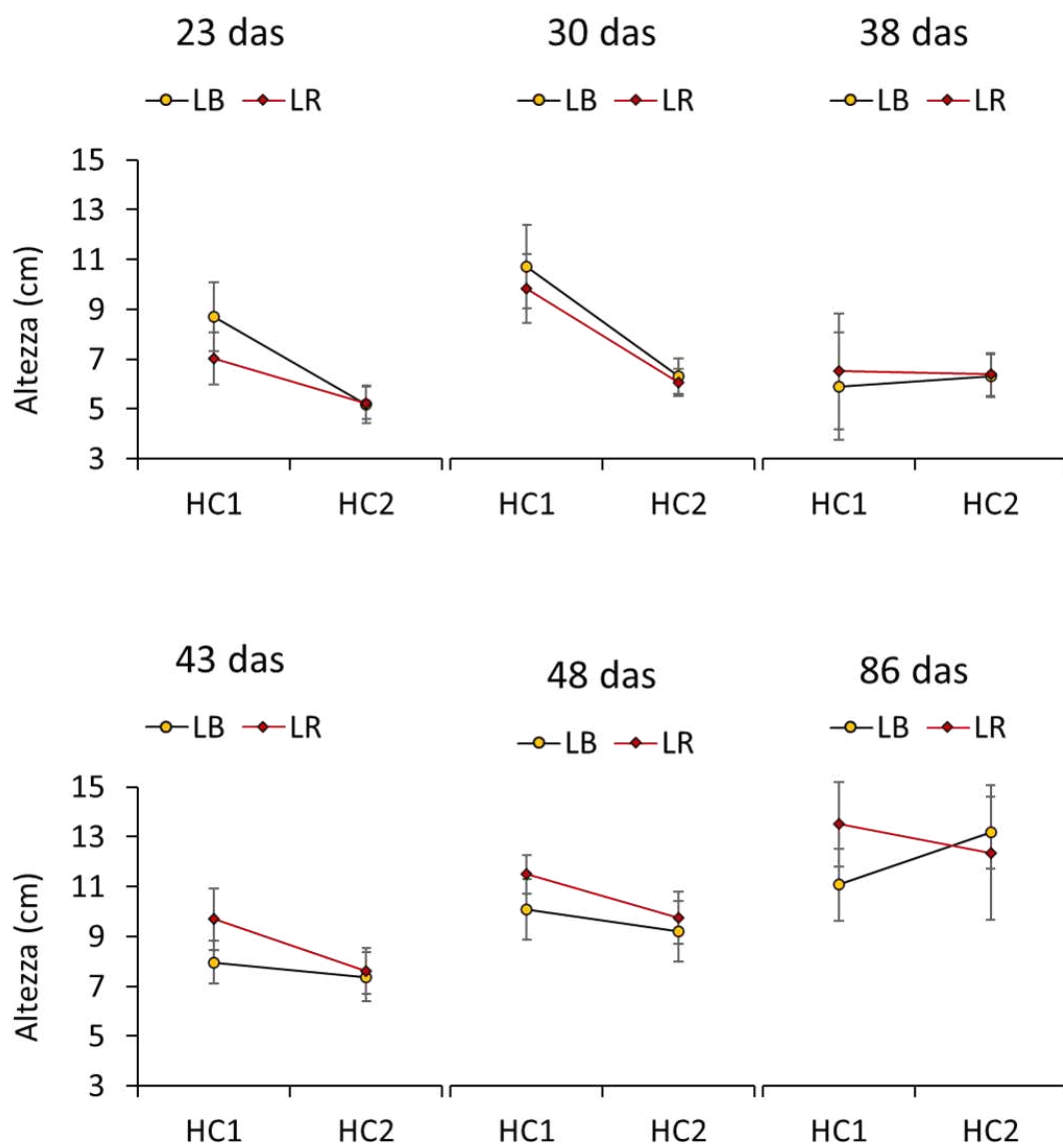
Nelle condizioni di fotoperiodo di 12 ore, le differenze in altezza non erano significative. A 38 giorni dalla semina, l'altezza delle piante cresciute in entrambi i fotoperiodi è risultata simile. La cv bionda cresciuta a 18 h ha registrato un'altezza inferiore alla rossa cresciuta nelle stesse condizioni.

Nei rilievi a 43 e 48 giorni dalla semina le tesi nell'HC1 hanno nuovamente registrato un'altezza superiore alle tesi presenti nell'HC2.

In entrambi gli HC, il lattughino rosso ha registrato una dimensione superiore rispetto al biondo.

A 86 giorni dalla semina, il lattughino rosso a 18 h di luce ha registrato una dimensione maggiore rispetto al biondo; evento inverso è stato osservato a 12 h.

Complessivamente il lattughino rosso cresciuto a 18 h è stata la tesi con dimensioni maggiori tra tutte quelle rilevate.

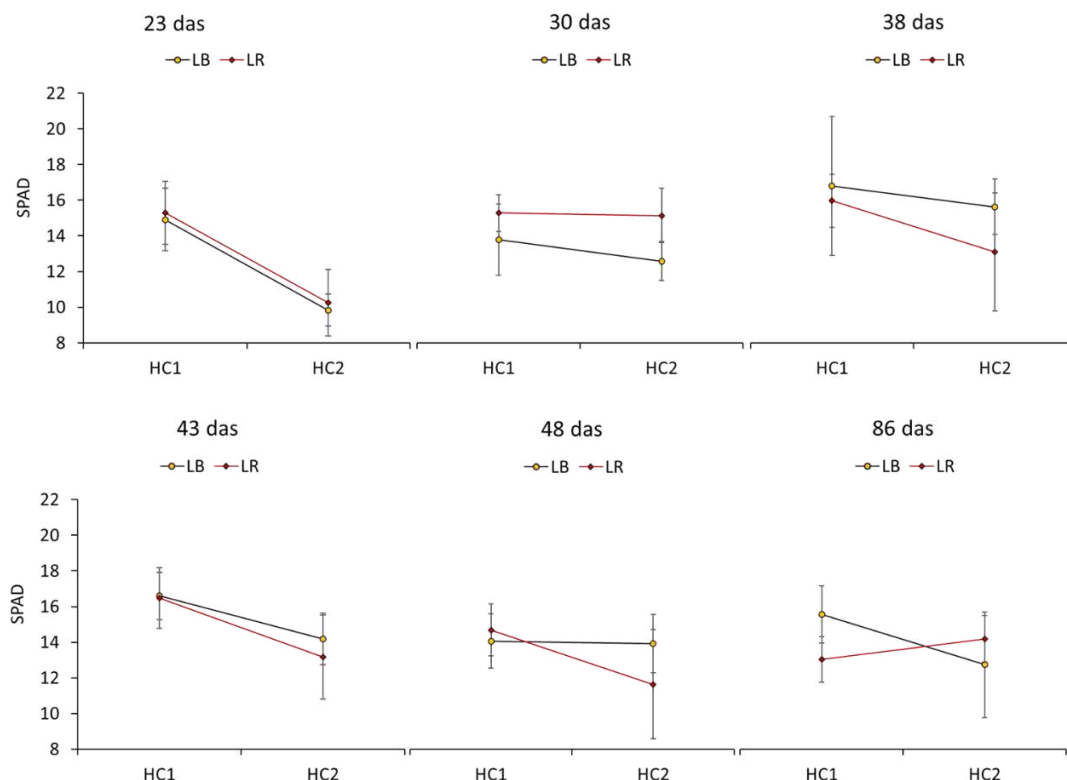


**Figura 4-3** Evoluzione delle altezze rilevate durante la prova. In alto, altezze delle piante registrate a 23, 30, 38, 43, 48 e 86 giorni dalla semina (das).

#### 4.4 SPAD

I livelli di clorofilla registrati dallo SPAD nelle tesi studiate sono riportati nella figura 4-4. A 23 giorni dalla semina, i livelli di SPAD delle tesi all'interno dell'HC1 sono stati superiori rispetto alle tesi nell'HC2. Non sono state osservate differenze significative tra le cultivar cresciute all'interno del medesimo HC. A 30 giorni dalla semina, lo SPAD di LR ha registrato i valori maggiori in entrambi gli HC. Il LB dell'HC1 ha registrato valori di SPAD superiori rispetto al LB dell'HC2, ma comunque inferiore rispetto ai valori del LR. A 38 giorni dalla

semina la tendenza si è invertita; entrambe le tesi di LB hanno registrato SPAD superiore alle tesi di LR. Le tesi condotte nell'HC1 hanno registrato valori di SPAD maggiori rispetto alle loro controparti nell'HC2. A 43 giorni dalla semina, le tesi in HC1 hanno continuato a registrare valori di SPAD superiori alle tesi in HC2. Sia LR che LB cresciute in HC1 hanno registrato valori simili. In HC2, LB ha registrato valori maggiori rispetto a LR. A 48 giorni, nell'HC1 il LR ha registrato valori di SPAD superiori al LB.



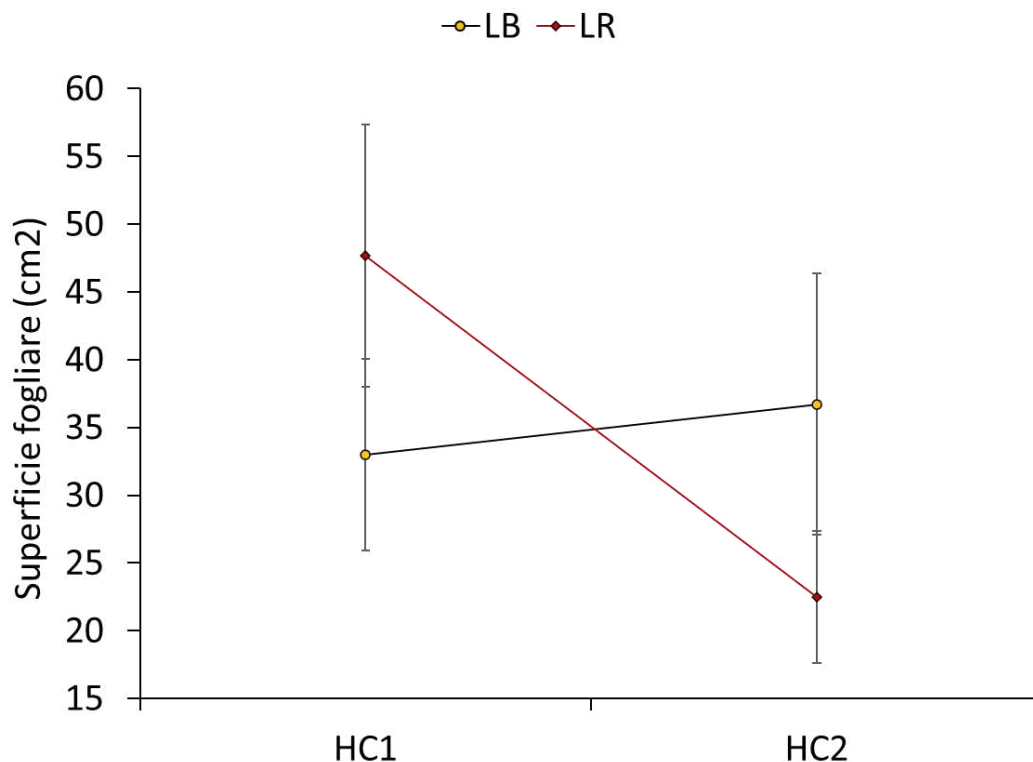
**Figura 4-4** *Evoluzione dell'indice di clorofilla fogliare SPAD durante i campionamenti effettuati a 23, 30, 38, 43, 48 e 86 giorni dalla semina (das).*

Nell'HC2 invece il LB ha registrato valori superiori al LR. Nell'HC1 sono stati osservati i valori di SPAD superiori mentre non è stata osservata alcuna differenza significativa tra lo SPAD registrato del LB in HC1 piuttosto che in HC2. A 86 giorni dalla semina, il LB cresciuto nell'HC1 ha registrato valori superiori al LR mentre nell'HC2 il LR ha registrato valori maggiori. Il LB cresciuto nell'HC1 ha registrato i valori massimi di SPAD mentre il LR cresciuto nell'HC2 ha registrato SPAD più alti tra le varie repliche di LR.

#### 4.5 Superficie fogliare

Il valori di superficie fogliare a 86 giorni dalla semina sono riportati nella figura 4-5. Il LR cresciuto in HC1 ha registrato superficie fogliare più alta; viceversa, il LB dell'HC2 ha mostrato un superficie fogliare superiore al LB cresciuto in HC1.

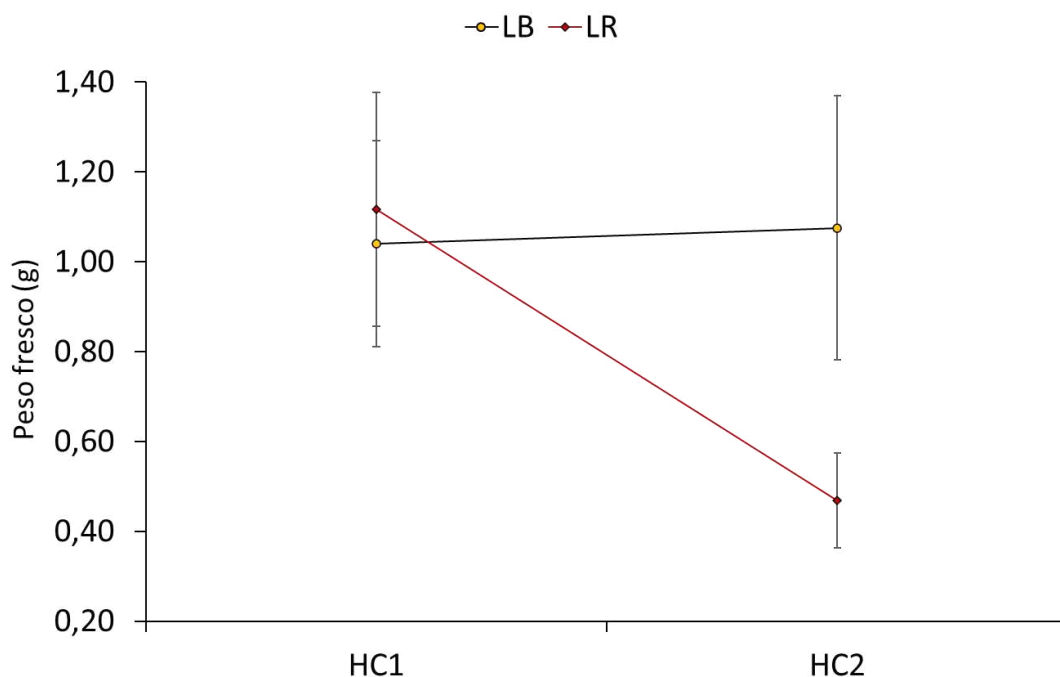
È stata riscontrata una correlazione positiva tra superficie fogliare con altezza, peso secco e fresco con valori di 0.53, 0.69 e 0.93 rispettivamente.



*Figura 4-5: Superficie fogliare (cm<sup>2</sup>) delle due cultivar allevate in diverse condizioni di fotoperiodo a 86 giorni dalla semina.*

#### 4.6 Peso fresco e peso secco

Il peso fresco delle piante a 86 giorni dalla semina è riportato in figura 4-6. Nell'HC1 il LR ha registrato un peso fresco maggiore rispetto al LB mentre viceversa nell'HC2 il LB era nettamente maggiore. Inoltre, il LB dell'HC2 ha registrato un peso maggiore rispetto allo stesso coltivato nell'HC1. È osservabile una interazione tra i trattamenti, in particolare le condizioni di fotoperiodo in HC1 hanno promosso la crescita del LR molto di più rispetto alle condizioni in HC2.



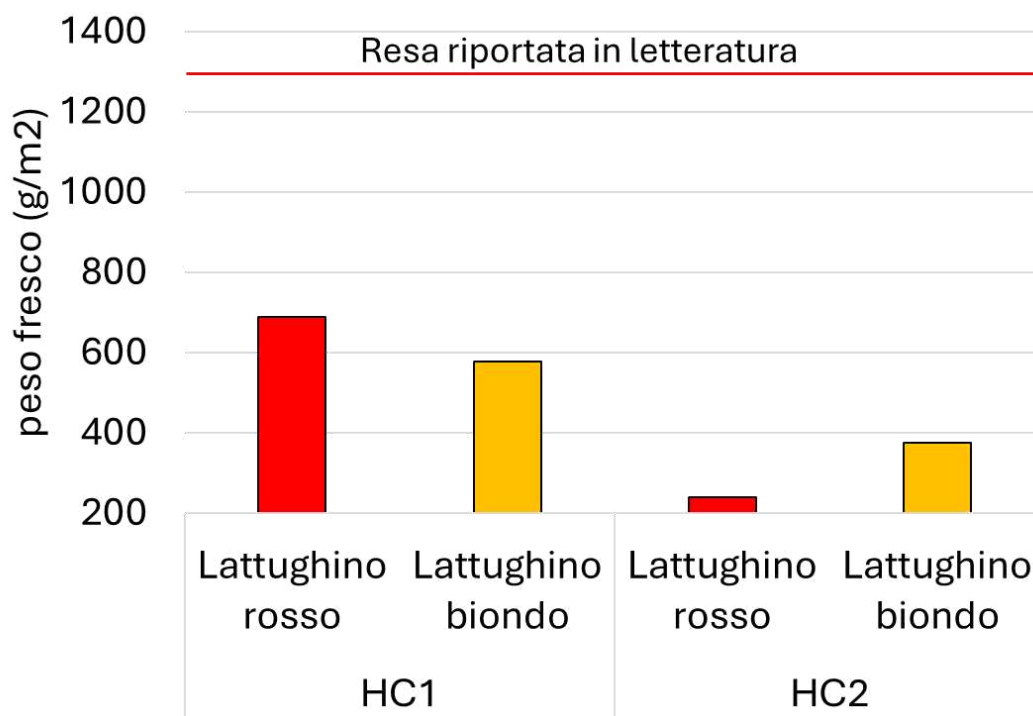
**Figura 4-6: Peso fresco per pianta delle due cultivar allevate in diverse condizioni di fotoperiodo a 86 giorni dalla semina.**

Per quanto riguarda i pesi secchi delle piante risultati molto simili a quelli del peso fresco sono stati osservati. Infatti, nel HC1, il LR aveva un peso secco maggiore rispetto al LB nelle medesime condizioni, viceversa in HC2 il LB ha registrato un peso secco maggiore rispetto al LR. Complessivamente, le condizioni di HC1 hanno permesso un maggiore accumulo di sostanza secca rispetto all'HC2. È stata riscontrata una correlazione positiva tra peso fresco e peso secco a 86 giorni dalla semina con un valore di 0.76.

#### **4.7 Produzione biomassa totale**

La produzione di biomassa fresca per unità di superficie dei rispettivi trattamenti è riportata in figura 4-7.

Le tesi condotte nell'HC1 avevano una produzione fresca maggiore. È stato possibile osservare un'interazione significativa tra cultivar e fotoperiodo. Nelle condizioni di fotoperiodo elevato il LR ha prodotto la maggior biomassa. Con fotoperiodo a 12 h di luce è stato invece il LB a produrre meglio. Inoltre, comparando le produzioni areiche ottenute dalle varie tesi, è stato osservato che queste risultano inferiori a quelle riscontrate in bibliografia stimate intorno ai 1300 g/m<sup>2</sup> (Ntinas et al., 2021).

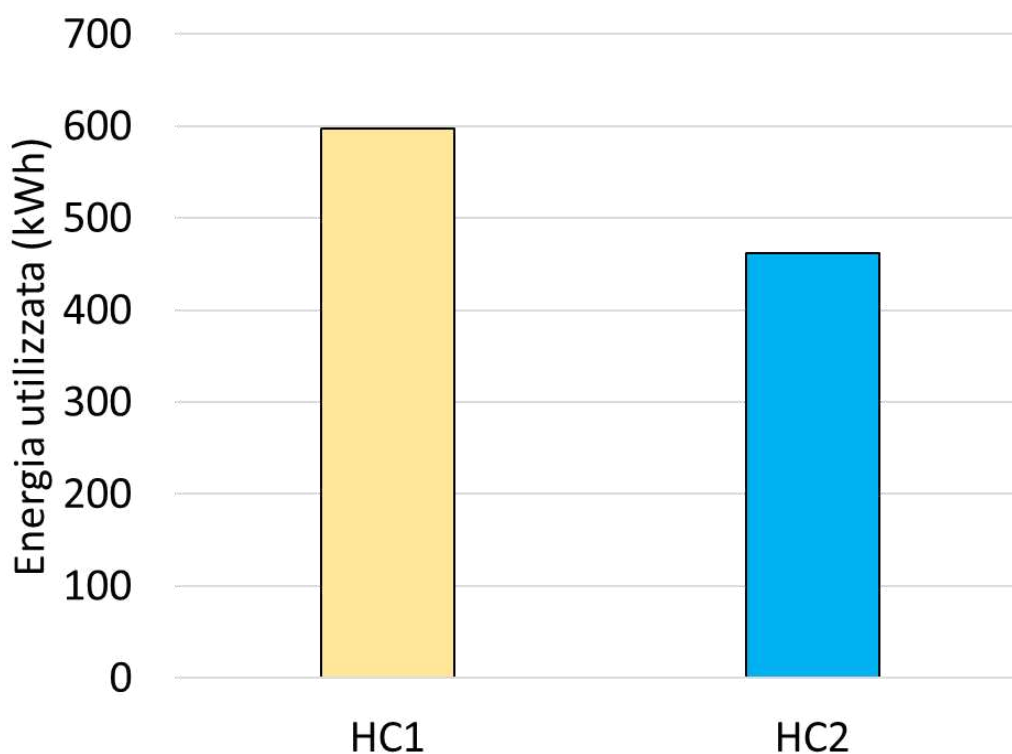


*Figura 4-7: Produzione areica delle due cultivar allevate in diverse condizioni di fotoperiodo. A sinistra sono riportate le rese areiche di LR e LB con fotoperiodo di 18 ore, a destra le rese con fotoperiodo 12 ore.*

#### 4.8 Consumi energetici

I consumi energetici (kWh) osservati durante l'intero ciclo colturale sono rappresentati in figura 4-8.

L'HC1, utilizzando un'illuminazione di 18 ore al giorno pari al 25% in più rispetto all'HC2, ha mostrato consumi energetici superiori del 20% rispetto a quelli impiegati dall'HC2.

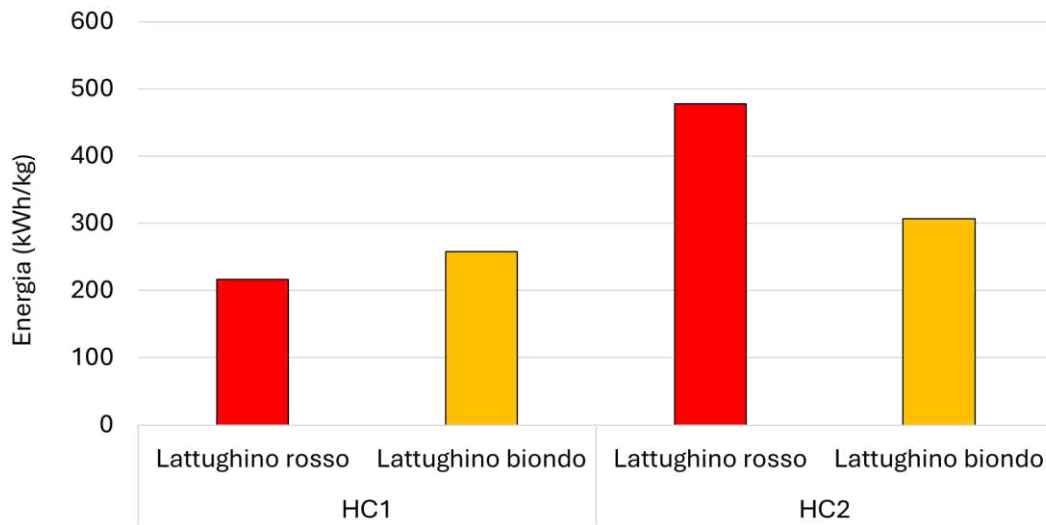


***Figura 4-8 Rappresentazione grafica dei consumi energetici (kWh) dei due HC calcolati a 86 giorni dalla semina.***

Nella figura 4-9 sono invece rappresentati i consumi energetici unitari per kg di biomassa fresca prodotta da ciascuna tesi. Nelle tesi in HC1, il LR ha registrato dei costi energetici per kg di produzione inferiori agli altri (217 kWh/kg), viceversa in HC2 il costo energetico per kg di prodotto è risultato il più alto di tutti (478 kWh/kg).

Il LB ha registrato il valore di 257 kWh/kg nell'HC1 e 307 kWh/kg nell'HC2. Le tesi cresciute nell'HC1 hanno registrato i costi energetici unitari inferiori.





**Figura 4-9: Consumi energetici per unità di biomassa prodotta dalle cultivar oggetto di studio. A sinistra sono rappresentati i consumi di LB e LR nell'HC1, a destra i consumi di LR e LB in HC2.**

[OBJ]

## Capitolo 5

### DISCUSSIONE

Il presente progetto ha testato le potenzialità produttive di due apparati di tipo commerciale per la produzione di lattuga da consumo fresco allo stadio di baby leaf, secondo le tecniche del vertical farming variando parametri come la durata del fotoperiodo.

L'obiettivo della tesi era valutare quale delle due diverse tipologie di fotoperiodo selezionate risultasse più vantaggioso sia per la produzione di prodotto fresco e sia per gli eventuali consumi energetici.

Partendo dai risultati riguardanti il numero di sfalci, è stato possibile constatare come le tesi sottoposte a condizioni di fotoperiodo di 18 ore sono state sfalciate più volte rispetto a quelle con 12 ore di fotoperiodo. Inoltre, nell'HC1 è stato possibile sfalciare fino a 14 giorni prima del HC2, poiché è stato possibile raggiungere prima le condizioni minime per eseguire lo sfalcio rappresentate da piante con una altezza minima di 9 cm e almeno tre foglie.

Possiamo concludere pertanto che una condizione di fotoperiodo pari a 18 ore permette sia un maggior numero di sfalci e sia un anticipo della data di raccolta di quest'ultimi rispetto ad una condizione di 12 ore di luce come già riportato in letteratura (Yudina *et al.*, 2023).

Per quanto riguarda le differenze tra cultivar, è stato osservato che il lattughino rosso garantiva complessivamente più sfalci rispetto al lattughino biondo. Un andamento altalenante è stato comunque osservato nelle prime fasi. Il LB presentava una certa precocità con un maggior numero di sfalci rispetto al lattughino rosso, un andamento opposto invece è stato registrato nella parte finale del ciclo colturale in cui il LR era sfalciato maggiormente. Questo andamento può essere spiegato da differenti caratteristiche di comportamento varietale; in quanto già nelle prove di germinabilità si era osservato come il LB fosse più precoce rispetto al LR. Il LB tende a crescere più rapidamente ma è meno tollerante agli sfalci in quanto probabilmente accumula meno sostanza di riserva rispetto al LR che giova invece di un maggiore periodo di crescita prima di essere sfalciabile ed accumula eventualmente maggiori sostanze di riserva.

Tale accumulo di sostanza di riserva ha permesso al LR di riprendersi meglio dagli eventi di sfalcio successivi permettendo di produrre complessivamente una maggiore biomassa sia per pianta che totale rispetto al LB.

In particolare, il LR in condizioni di fotoperiodo lungo ha registrato una biomassa maggiore rispetto al LB presente nelle stesse condizioni di crescita. Discorso opposto invece è avvenuto nell'HC2, dove il lattughino rosso ha registrato le rese più basse in assoluto. Una spiegazione per tale fenomeno può essere imputata analogamente ad una caratteristica varietale legata all'efficienza dell'attività fotosintetica in condizioni diverse di luce. Il LR è sfavorito in condizioni di crescita con 12 ore di luce a differenza del lattughino biondo ed avendo anche un insediamento più lento, ha di conseguenza rese molto marginali in queste condizioni.

Confrontando la resa in biomassa fresca per m<sup>2</sup> di superficie, è stato osservato che le tesi studiate sono risultate poco produttive e non sono riuscite a raggiungere i livelli riscontrati in letteratura riguardanti il vertical farming (valori superiori ai 1300 grammi /m<sup>2</sup>) (Ntinis *et al.*, 2021), attestandosi al di sotto di questi. Tra tutte le tesi, il LR in condizioni di fotoperiodo lungo è stato quello che si è più avvicinato a questi livelli superando i 650 grammi/m<sup>2</sup> di resa. In generale, un maggiore apporto di luce tende a favorire una resa per superficie maggiore ma subentrano anche altri fattori come ben evidenziato dai nostri risultati.

Analizzando i rilievi riguardanti il numero di foglie per pianta, anche in questo caso è stato possibile osservare come le tesi presenti negli HC1 hanno registrato un numero di foglie maggiore rispetto alle tesi negli HC2. Solo in alcuni rilievi le tesi in HC2 presentavano un numero di foglie maggiore; questo potrebbe essere molto probabilmente dovuto agli sfalci eseguiti nelle tesi in HC1 nei giorni precedenti. Avendo subito un numero maggiore di sfalci ed essendo state recise molte più foglie, le piante negli HC1 erano ancora in fase di recupero della superficie fogliare persa e pertanto registravano durante questi rilievi un numero di foglie inferiore alle tesi in HC2. Nell'ultimo campionamento, infatti, le tesi in HC1 hanno recuperato ed avevano un numero medio di foglie superiore alle tesi in HC2.

Anche nel caso del numero di foglie era osservabile la stessa tendenza descritta precedentemente per altri parametri: il LR ha registrato il numero di foglie maggiore in assoluto in condizioni di fotoperiodo lungo mentre registra il numero di foglie minimo con fotoperiodo medio. Lo stesso fenomeno era osservabile anche per quanto riguarda l'altezza delle piante; è stata rilevata una fase in cui gli HC1 avevano altezze superiori, un'altra fase in cui le tesi in HC2 iniziano ad avere le massime altezze e, in fase di raccolta finale, le tesi in HC1 mostravano nuovamente le altezze maggiori (Yudina *et al.*, 2023).

Inoltre, esaminando le differenze tra le cultivar per il parametro altezza come per il numero di foglie, è stato rilevato anche in questo caso che le altezze del LR erano superiori a tutte le altre nell'HC1 mentre nel HC2 le altezze del LR risultavano veramente ridotte.

Per quanto riguarda il contenuto in clorofilla, possiamo affermare come condizioni di fotoperiodo maggiore siano correlate positivamente al contenuto di quest'ultima; in tutte le tesi in HC1, i valori SPAD sono stati sempre maggiori rispetto alle tesi in HC2.

Unica eccezione è avvenuta nel giorno di chiusura della prova, in cui le letture SPAD in HC2 di LR sono risultate maggiori rispetto al LR presente in HC1. Tale evento potrebbe essere legato alla superficie fogliare. Nelle tesi in HC1 l'area fogliare del LR era nettamente superiore rispetto al LR presente in HC2; pertanto, la concentrazione di clorofilla nei tessuti potrebbe essere andata incontro ad una riduzione a seguito di eventuali fenomeni di ombreggiamento tra le varie piante. Questi fenomeni non erano evidenti nelle tesi in HC2 e, in particolar modo nel caso di LR, le varie piante erano ancora molto spaziate e pertanto potevano beneficiare al massimo delle 12 ore di fotoperiodo.

Per quanto riguarda il peso fresco per pianta durante l'ultimo campionamento, in linea generale le piante coltivate con 18 ore di luce hanno fatto registrare un peso maggiore rispetto a quelle coltivate nell'HC2 come riportato anche in letteratura (Abdullah *et al.*, 2023).

In particolare, il lattughino rosso nell'HC1 è stata la cultivar con peso maggiore per singola pianta nell'ultimo sfalcio, mentre la stessa cultivar nell'HC2 aveva un peso per pianta inferiore di circa un terzo di quello registrato nell'HC1; il LB invece ha registrato un peso fresco per pianta simile in entrambi le condizioni di luce.

Per quanto concerne la sostanza secca, il LR ha seguito la stessa tendenza osservata per il peso fresco, situazione differente è stata riscontrata per il peso secco del LB, dove i valori massimi sono stati registrati nell'HC1 (Abdullah *et al.*, 2023).

Analizzando le eventuali correlazioni, possiamo osservare una forte correlazione tra il numero di foglie e l'altezza nei primi rilievi eseguiti. Questa correlazione non è stata osservata nei rilievi successivi, probabilmente a causa degli sfalci eseguiti che hanno ridotto drasticamente il numero di foglie presenti nelle tesi sfalciate.

Peso secco e peso fresco risultano essere correlati tra loro, un risultato già riportato in letteratura visto che il peso secco di una piantina è normalmente correlato al suo peso fresco (Farooq *et al.*, 2023).

La superficie fogliare è correlata positivamente all'altezza, al peso secco e al peso fresco; in particolare la correlazione tra superficie fogliare e peso fresco risulta essere molto alta (0,90). Tale correlazione è spiegata dal fatto che i suddetti parametri sono tutti direttamente proporzionali alla superficie fogliare. Stessa spiegazione interessa anche la correlazione che descrive il numero di foglie con il peso secco, peso fresco e superficie fogliare; questi parametri sono direttamente proporzionali al numero di foglie presenti su una pianta.

Infine, analizzando i consumi energetici di entrambi gli HC, è stato osservato che la differenza in consumo elettrico tra un fotoperiodo 18 e 12 ore non è troppo marcata con un consumo stimato maggiore del 20% circa nell'HC con fotoperiodo più lungo.

Invece, una differenza notevole è stata rilevata nelle rese dell'HC2 e, di conseguenza, nel costo energetico per kg di prodotto fresco. Infatti, nell'HC1 il consumo energetico per unità di prodotto si aggirava intorno ai 240 kWh/kg di prodotto sia per LB che LR, mentre nell'HC2 per produrre 1 kg di LR e LB sono stati necessari 478 kWh e 307 kWh rispettivamente; pertanto, anche se l'HC1 presentava dei costi energetici superiori rispetto all'HC2, la resa in prodotto per input energetico risultava essere notevolmente superiore nell'HC1. I consumi rilevati dallo studio risultano essere comunque molto superiori a quelli riportati nella scheda tecnica del macchinario (180 kWh secondo il manuale, contro i 600 e 450 kWh con fotoperiodo 18 ore e fotoperiodo 12 ore, rispettivamente). Questo è uno dei primi tentativi di analisi dei consumi energetici per questo tipo di macchinari poiché in letteratura non sono ancora presenti informazioni a riguardo.

Per quanto riguarda invece le cultivar, possiamo dire che in condizioni di fotoperiodo esteso a 18 ore sia LB che LR performano in maniera simile sia in termini di biomassa fresca prodotta che di efficienza energetica. Nell'HC2 invece, il LB ha performato in maniera non troppo lontana da quello nell'HC1 per l'aspetto energetico. Questo non può essere affermato per il LR presente nell'HC2 in quanto l'efficienza energetica risultava troppo bassa, tanto che per produrre lo stesso quantitativo di massa fresca è stato necessario un input energetico doppio rispetto al LR cresciuto con fotoperiodo lungo.

## CAPITOLO 6

### CONCLUSIONI

Lo studio dimostra che la produzione in vertical farming è una tecnica innovativa ma ha bisogno di essere ottimizzata al fine di essere competitiva e sostenibile. L'ottimizzazione deve riguardare sia la scelta di cultivar idonee alla produzione in questo ambiente sia le tecniche di produzione.

La scelta varietale è ovviamente correlata al fotoperiodo che si vuole o si può sostenere; inoltre, alcune cultivar possono essere meno resilienti agli sfalci di altre e questo condiziona di conseguenza la durata ideale del ciclo colturale. Inoltre, gli aspetti energetici in questo tipo di coltivazione sono molto importanti in quanto questi input rappresentano quelli che maggiormente incidono sui costi di produzione. L'aspetto dei consumi energetici può diventare un fattore limitante e compromettere le redditività della coltura.

Dai risultati delle prove sperimentali condotte si evince che entrambe le cultivar di lattughino coltivate con un fotoperiodo di 18 ore hanno prodotto maggiore quantità di biomassa fresca rispetto al fotoperiodo di 12 h. Pertanto, in queste condizioni testate, un fotoperiodo lungo risulta essere la scelta più vantaggiosa per l'ottenimento di prodotto fresco edibile.

Considerando anche i costi energetici, nonostante il maggior consumo di energia osservato, nell'home cultivator con fotoperiodo lungo è stato possibile ottenere produzioni molto più vicine a quelle che vengono riportate in letteratura rispetto all'home cultivator con fotoperiodo medio. In particolare, il lattughino cresciuto con un fotoperiodo di 18 ore presenta un costo energetico per kg di prodotto fresco nettamente inferiore al lattughino cresciuto con 12 ore di luce.

L'analisi delle performance produttive delle due cultivar testate ha rivelato che, in condizioni di fotoperiodo di 18 ore, il lattughino rosso risulta essere la specie più performante mentre in condizione di fotoperiodo di 12 ore il lattughino biondo risulta essere più produttivo. Va sottolineato che ulteriori ricerche con fotoperiodi diversi, con altre varietà e tecniche di produzione ottimizzate potrebbero evidenziare migliori combinazioni di resa e costi energetici.

## BIBLIOGRAFIA

- Abdullah, A. A., Lee, C. L., Wong, S. K., Osman, A. F. A., Sum, Z. L., & Chan, K. Y. (2023). The Effect of LED Grow Light Photoperiods on Indoor Hydroponic Lettuce Farming. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 32(1), 368–377.
- De Saulieu, G., & Testart, A. (2015). Innovations, food storage and the origins of agriculture. *Environmental Archaeology*, 20(4), 314–320.
- Eco, U. (2014). Il fenomeno della deruralizzazione. <https://www.treccani.it/enciclopedia/tag/deruralizzazione/>.
- Pardossi, A., Gianquinto, P.G., Santamaria, P., Incrocci, L. (2018). *Orticoltura: Principi e pratica*. Edagricole editore, pp. 388.
- GAUTAM, R., SINGH, P. K., KUMAR, P., R, S., SINGH, M. C., DHITAL, S., RANI, M., SHARMA, V. K., H, J. K., & KUMAR, J. (2022). Advances in soilless cultivation technology of horticultural crops: Review. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 91(4).
- Farooq, A., Khattak, A. M., Gul, G., Habib, W., Ahmad, S., Asghar, M., & Rashid, T. (2023). Effect of Moringa Leaf Extract on the Performance of Lettuce Cultivars. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), 1449–1459.
- Fonzo, E. (2022). *L'invenzione dell'agricoltura è all'origine della civiltà*. <https://www.geopop.it/https://www.studiarapido.it/agricoltura-storia-sviluppo/>.
- Giordano, A. (2023). Vertical farming: brevi spunti di riflessione. <https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agronomia/2023/03/13/vertical-farming-brevi-spunti-di-riflessione/78612>.
- Mattson, N. S., Allred, J. A., de Villiers, D., Shelford, T., & Harbick, K. (2022). Response of hydroponic baby leaf greens to LED and HPS supplemental lighting. In *Acta Horticulturae* (Vol. 1337).
- Ntinas, G. K., Bantis, F., Koukounaras, A., & Kougias, P. G. (2021). Exploitation of liquid digestate as the sole nutrient source for floating hydroponic cultivation of baby lettuce (*Lactuca sativa*) in greenhouses. *Energies*, 14(21).
- Pardossi, A., Gianquinto, P.G., Santamaria, P., Incrocci, L. (2018). *Orticoltura: Principi e pratica*. Edagricole editore, pp. 388.
- Pfaffen, E., Ineichen, A. (2012). *Economia di sussistenza*. <https://hls-dhs-dss.ch/it/articles/013835/2012-07-20/>. Yudina, L., Sukhova, E., Gromova, E., Mudrilov, M., Zolin, Y., Popova, A., Nerush, V., Pecherina, A., Grishin, A. A., Dorokhov, A. A., & Sukhov,

V. (2023). Effect of Duration of LED Lighting on Growth, Photosynthesis and Respiration in Lettuce. *Plants*, 12(3).



## RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare la mia relatrice, la professoressa Paola Deligios, per avermi offerto l'opportunità di svolgere questa tesi e per la sua disponibilità nel risolvere ogni mio dubbio o bisogno.

Ringrazio il mio correlatore Gianluca Brunetti per il prezioso aiuto e la presenza in tutte le fasi della sperimentazione e nella stesura di questa tesi.

Ringrazio Matteo Francioni per l'aiuto fornitomi riguardante le varie analisi statistiche svolte e per la stesura dei grafici.

Ringrazio il professore Luigi Ledda per avermi accolto nel dipartimento e avermi convinto nel perseguire questo percorso fino alla fine.

Vorrei ringraziare infine tutto il gruppo di agronomia che è stato presente indirettamente e direttamente nell'aiutarmi nella sperimentazione e nella stesura della tesi.

Ringrazio tutta la mia famiglia per avermi dato la possibilità di proseguire gli studi e inseguire i miei sogni, per avermi spronato nei momenti di maggiore sconforto e per essermi stati vicino sia nei momenti belli che quelli brutti.

La persona che sono oggi e di cui inizio ad esserne fiero è dovuta a tutti voi.

Vorrei infine ringraziare tutte le persone che, dopo questi otto anni, sono entrate nella mia vita e hanno deciso di restare rendendo le giornate più felici e spensierate. Grazie a tutti voi!

La ricerca è stata finanziata dall'Unione Europea – NextGenerationEU tramite il Ministero Italiano per la Ricerca ed Università (MUR) – National Innovation Ecosystem grant ECS0000004 1 -Vitality – CUP I33C22001330007. Lo studio è stato inoltre condotto nell'ambito del Centro Nazionale Agritech, finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU (PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) – MISSIONE 4 COMPONENTE 2, INVESTIMENTO 1.4 - D.D. 1032 17/06/2022, CN00000022).