



VFARM

Vertical Farming Sostenibile

D2.6 PRODUZIONE DI FUNGHI IN VERTICAL FARM



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

	Caratteristiche documento
Titolo del documento	PRODUZIONE DI FUNGHI IN VERTICAL FARM
Work Package:	WP 2.6
Partner responsabile:	University of Padova
Autori principali:	Paolo Sambo, Carlo Nicoletto, Giampaolo Zanin, Marco Birolo
Altri autori:	Ilaria Zauli, Francesco Orsini
Numero di pagine:	20



Indice dei contenuti

1. Introduzione	4
1.1 Obiettivi del progetto.....	4
1.2 Obiettivi del Deliverable	5
1.3 Funghi coltivati in vertical farming	6
1.4 Applicazione dell'illuminazione artificiale durante la coltivazione di funghi coltivati.....	7
2. Materiali e metodi.....	8
2.1 <i>Pleurotus spp.</i> in vertical farming	8
2.2 Misurazioni e rilievi	10
2.3 Applicazione di illuminazione artificiale durante la coltivazione di <i>Pleurotus spp.</i>	11
2.4 Misurazioni e rilievi	11
3. Risultati	13
3.1 <i>Pleurotus spp.</i> in vertical farming	13
3.1.1 <i>P. ostreatus</i> e <i>P. cornucopiae</i>	13
3.1.2 <i>P. ostreatus</i> e SPOPPO	15
3.2 Applicazione di illuminazione artificiale durante la coltivazione di <i>Pleurotus spp.</i>	16
4. Bibliografia	20



1. Introduzione

1.1 Obiettivi del progetto

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

Gli obiettivi specifici del progetto sono:

- Studiare l’adattabilità di 7 tipologie di prodotti al *vertical farming* (WP2)
- Progettare soluzioni tecnologiche ottimali in termini di sistemi di coltivazione, gestione della luce e controllo del clima (WP3)
- Valutare la sostenibilità, sociale, ambientale ed economica delle *vertical farm* (VF) tramite analisi del ciclo di vita (LCA, eLCC e S-LCA) e con riferimento all’uso delle risorse (energia, acqua e nutrienti) (WP4)
- Definire le tecnologie ottimali, integrandole sia a VF di piccola scala realizzate all’interno di container sia a quelle a grande scala realizzate all’interno di magazzini industriali (WP5).



1.2 Obiettivi del Deliverable

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

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

Nello specifico, l'obiettivo di questa deliverable (2.6) è l'analisi dell'applicazione di un sistema di *vertical farming* nella coltivazione di *Pleurotus* spp. e *Cyclocybe aegerita* sotto diversi aspetti:

- studio dei gradienti termici e luminosi presenti in un sistema di scaffali posizionati in una fungaia industriale sulla produzione e morfologia delle specie di funghi allo studio.
- osservazione dell'effetto della diversa disposizione di moduli di coltivazione verticale su produzione, morfologia e qualità.
- Applicazione di trattamenti luminosi con luci LED durante la coltivazione di *P. ostreatus* e *C. aegerita*
- Studio degli effetti di diverse lunghezze d'onda (650 nm e 450 nm) sulle caratteristiche produttive, morfologiche e nutrizionali dei funghi eduli coltivati.

1.3 Funghi coltivati in vertical farming

Il consumo annuale pro capite di funghi coltivati negli ultimi 20 anni è passato da 1 kg a 4.7 kg (Zied e Pardo-Giménez, 2017). Il crescente interesse verso questo prodotto rende necessaria l'implementazione ed ottimizzazione dei sistemi produttivi usati. Il vertical farming è un sistema produttivo le cui caratteristiche sono facilmente applicabili al mondo dei funghi coltivati. Già per molteplici specie di funghi si utilizzano sistemi di coltivazione definibili verticali come per *Agaricus bisporus* coltivato su letti di crescita a scaffali. Per altre come *Pleurotus* spp. e *Cyclocybe aegerita* invece, la coltivazione si sviluppa su sacchi che raramente sono disposti in sistemi a sviluppo verticale e vanno ad occupare solo la porzione inferiore dell'ambiente di coltivazione (Fig. 1).



Figura. 1 Disposizione dei sacchi di coltivazione per la produzione di *Pleurotus ostreatus*.

L'applicazione dei principi del *vertical farming* ai sistemi di coltivazione di *Pleurotus* spp. e *Cyclocybe aegerita* permetterebbe l'implementazione di questi settori produttivi aumentandone la produzione per unità di superficie.



1.4 Applicazione dell'illuminazione artificiale durante la coltivazione di funghi coltivati.

L'utilizzo di illuminazione artificiale ha ampia applicazione nel settore dell'orticoltura, ma l'effetto della luce artificiale sullo sviluppo dei funghi eduli è ancora poco conosciuto. Molteplici studi hanno dimostrato che l'applicazione in post-raccolta della luce UV determini un'accentuazione del valore nutrizionale del prodotto con un aumento della vitamina D₂ e un miglioramento della shelf-life (Feng et al., 2023), al contrario l'effetto della luce artificiale in fase di coltivazione è ancora poco studiato. Alcuni studi hanno determinato che la luce non influenza la crescita di alcune specie come *Agaricus bisporus*, ma sia determinante nella fase di crescita del corpo fruttifero su *Pleurotus spp.* Inoltre, è poco esplorato l'effetto delle specifiche lunghezze d'onda appartenenti al fascio di luce visibile sulle caratteristiche morfo-ponderali e nutrizionali dei principali funghi eduli che, se conosciuto permetterebbe una più efficiente illuminazione di questa coltura. L'applicazione di illuminazione artificiale durante la coltivazione di funghi coltivati soprattutto di specie appartenenti al genere *Pleurotus spp.* ha un effetto su morfologia e profilo nutrizionale del prodotto (De Bonis et al., 2024). L'applicazione di luci LED a diversa lunghezza d'onda (es. rosso, blu) può favorire lo sviluppo morfologico del corpo fruttifero, la differenziazione dei corpi fruttiferi e la sintesi di vitamina D₂.



2. Materiali e metodi

2.1 *Pleurotus* spp. in vertical farming

Nella fungaia dell'azienda agricola sperimentale "L. Toniolo" dell'università di Padova sono stati osservati due distinti cicli di coltivazione di specie appartenenti al genere *Pleurotus* spp. coltivati su un sistema verticale a scaffali (Tab.1).

Tabella 1. Specifiche dei due cicli di coltivazione osservati con specie appartenenti al genere *Pleurotus* spp.

CICLO DI COLTIVAZIONE	SPECIE ALLO STUDIO	DATA INIZIO PROVA	DATA FINE PROVA	N° SACCHI
1	<i>P. ostreatus</i>	Dicembre 2022	Marzo 2023	106
	<i>P. cornucopiae</i>			106
2	<i>P. ostreatus</i>	Dicembre 2023	Marzo 2024	96
	SOPPO			96

Tale sistema prevedeva l'aumento della densità di coltivazione dei sacchi da 4 sacchi m⁻² a 12 sacchi m⁻². In figura 2 sono visibili gli scaffali costruiti per la coltivazione verticale.

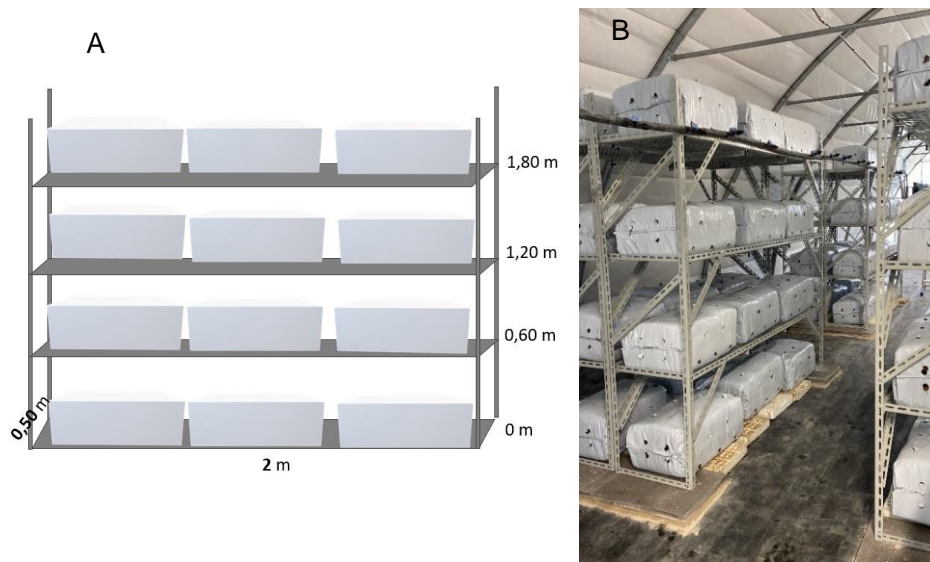


Figura 2. A) Progettazione del modulo per la coltivazione verticale; B) moduli posizionati nella fungaia sperimentale.

Gli scaffali costruiti sono stati posizionati nella fungaia a moduli singoli o doppi per andare a valutare come una diversa disposizione potesse influire sulla produzione e sviluppo della specie. La disposizione dei moduli ha seguito uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con 3 repliche che è stato mantenuto per entrambi i cicli osservati.

Trattamenti allo studio

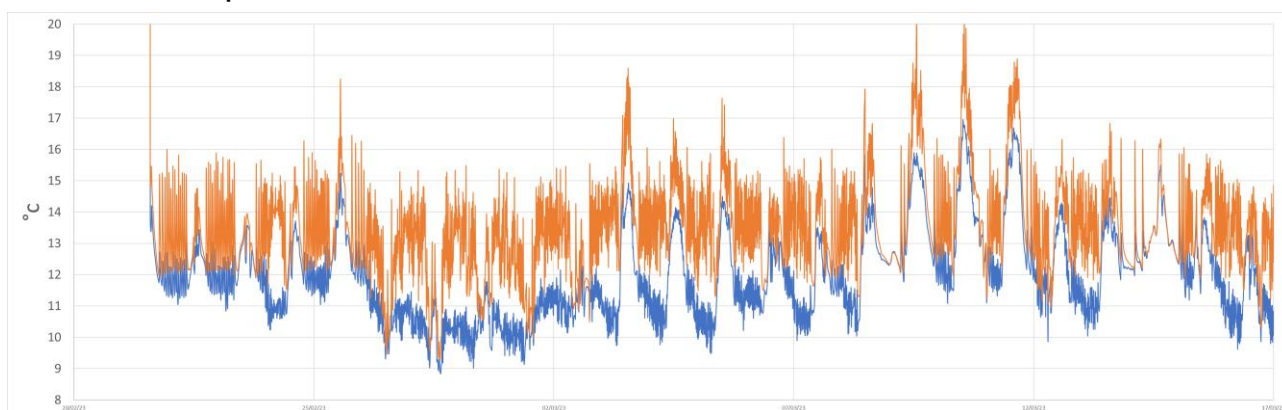
1. Specie
2. Disposizione scaffali
 - Doppio
 - Singolo
3. Ripiani di coltivazione
 - G (Piano terra)
 - 1F (1° piano)
 - 2F (2° piano)



- 3F (3° piano)

2.2 Misurazioni e rilievi

Durante entrambi i cicli di coltivazione sono stati rilevati i valori termici della fungaia a diverse altezze dello scaffale (Fig.3) dove si è riscontrato un gradiente termico medio di +1.5°C fra i ripiani superiori (2F e 3F) e inferiori (G e 1F). Sono stati inoltre monitorati i valori di CO₂, temperatura dell'aria e umidità generali dell'ambiente di produzione. Inoltre, 3 volte al giorno sono stati presi i valori della temperatura del substrato di sacchi campione appartenenti alle diverse specie allo studio.



- RIPIANO G-1F
- RIPIANO 2F-3F

Figura 3. Differenza di temperatura rilevata durante il primo ciclo di coltivazione fra i ripiani inferiori (G-1F) in blu e superiori (2F-3F) in arancio.

Inoltre, per le due volate osservate sono stati presi campioni di corpi fruttiferi rappresentativi di ogni trattamento allo studio che sono stati posti a -20°C per effettuare successive analisi qualitative (pH, Ec, Acidità titolabile, contenuto di antiossidanti e polifenoli).



2.3 Applicazione di illuminazione artificiale durante la coltivazione di *Pleurotus* spp.

In una stanza di crescita sono stati disposti 5 scaffali con 5 trattamenti luminosi: Rosso (R), Blu (B), Bianco (W), Buio (Dark, completa oscurità) e un trattamento combinato di R (in fase di crescita vegetativa) e B (in fase di crescita del corpo fruttifero). Le caratteristiche dei trattamenti luminosi sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Caratteristiche dei trattamenti luminosi applicati

Luce	Lunghezza d'onda (nm)	Intensità ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)	Fotoperiodo (h day ⁻¹)	N° di sacchi
ROSSO (R)	650 nm	26-28	8	12
BLU (B)	450 nm			12
BIANCO (W)	Blu 23% + Verde 17% + Rosso 56% + Rosso lontano 4%			12
(ROSSO-BLU) R→B	650 nm (R) fino alla formazione dei primordi → 450 nm (B) durante la crescita del frutto			12
BUIO (D)	/			0.05

Sono stati prodotti 60 sacchi da 3 kg, inoculati con 90 g di *P. ostreatus* (123 Lambert spawn), composti da due diversi substrati: 65% cotone + 25% paglia (CH+CS) e 100% paglia (CS).

2.4 Misurazioni e rilievi

Durante la fase di produzione per entrambe le volate sono stati contati i primordi, mentre in fase di raccolta sono state pesate le famiglie e misurate le principali caratteristiche morfologiche: n° corpi fruttiferi, diametro, spessore,



lunghezza del gambo. Per ogni volata sono stati liofilizzati campioni di ogni trattamento per la determinazione della vitamina D₂ e degli aminoacidi.

3. Risultati

3.1 *Pleurotus* spp. in vertical farming

3.1.1 *P. ostreatus* e *P. cornucopiae*

Durante la coltivazione nel primo ciclo delle specie *P. ostreatus* e *P. cornucopiae* si sono riscontrate differenze nelle rese delle volate osservate. La disposizione degli scaffali non ha influito sulla resa, al contrario l'altezza in cui si posizionavano i sacchi delle due specie ha avuto un effetto significativo: il *P. cornucopiae* ha avuto una resa più alta nei ripiani superiori dove le temperature erano più elevate rispetto al *P. ostreatus* che, crescendo meglio a temperature inferiori, ha avuto una performance produttiva elevata nei ripiani più bassi dello scaffale (Fig. 4).

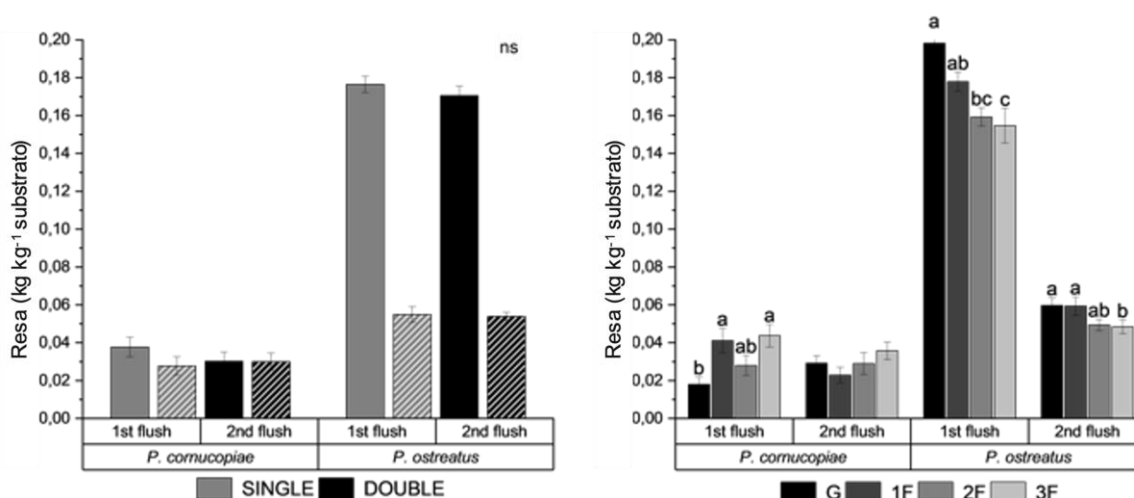


Figura 4. Resa di *Pleurotus ostreatus* e *cornucopiae* nelle due volate osservate. Effetto della disposizione (sinistra) e dei ripiani degli scaffali (destra). Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative con $p\text{-value} < 0.05$ secondo il test HSD di Tukey.

Le caratteristiche morfologiche delle due specie sono state influenzate dai trattamenti allo studio. Il numero dei corpi fruttiferi medio di ogni famiglia è stato maggiore nei ripiani superiori dello scaffale per entrambe le specie. Al contrario il diametro ha avuto un effetto specie specifico: per il *P. cornucopiae* è



aumentato nei ripiani più alti dello scaffale mentre per il *P. ostreatus* si è osservato l'effetto inverso (Tab. 3, 4).

Tabella 3. Effetto sulle caratteristiche morfologiche della specie *P. cornucopiae* e *P. ostreatus* dei diversi ripiani degli scaffali (G, 1F, 2F, 3F) e della disposizione degli scaffali (singolo, doppio). Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative con p -value < 0.05 secondo il test HSD di Tukey.

<u><i>P. cornucopiae</i></u>												
	N° corpi fruttiferi		Diametro corpi fruttiferi (cm)		Spessore corpi fruttiferi (mm)							
	1 ^a volata	2 ^a volata	1 ^a volata	2 ^a volata	1 ^a volata	2 ^a volata						
RIPIANI												
G	20±1.5	15±0.8	b	5.17±0.17	b	4.52±0.12	5.3±0.15	3.8±0.11				
1F	16±0.9	15±0.8	b	5.95±0.17	a	4.33±0.11	5.3±0.13	3.7±0.09				
2F	17±0.9	21±1.2	a	5.52±0.22	ab	4.86±0.17	5.4±0.20	3.6±0.11				
3F	17±0.8	23±1.3	a	5.76±0.10	ab	4.75±0.13	5.5±0.41	3.9±0.10				
DISPOSIZIONE SCAFFALI												
SINGOLO	17±0.8	19±1.0		5.81±0.17		4.48±0.11	5.5±0.15	3.6±0.08	b			
DOPPIO	17±0.6	18±0.6		5.57±0.10		4.67±0.08	5.3±0.07	3.8±0.06	a			
<u><i>P. ostreatus</i></u>												
	N° corpi fruttiferi		Diametro corpi fruttiferi (cm)		Spessore corpi fruttiferi (mm)							
	1 ^a volata	2 ^a volata	1 ^a volata	2 ^a volata	2 ^a volata	1 ^a volata						
RIPIANI												
G	10±0.3	5±0.3	c	5±0.3	b	8.92±0.15	14.1±0.32	a	5.0±0.08	c	4.3±0.08	b
1F	10±0.3	6±0.3	bc	6±0.3	b	9.14±0.15	13.0±0.27	ab	5.8±0.10	b	4.2±0.09	b
2F	12±0.4	6±0.3	ab	6±0.3	ab	9.04±0.14	12.6±0.31	b	5.9±0.12	b	4.9±0.10	a
3F	13±0.4	7±0.4	a	7±0.4	a	8.85±0.14	11.5±0.30	c	6.3±0.11	a	4.7±0.08	a
DISPOSIZIONE SCAFFALI												
SINGOLO	11±0.3	6±0.3		9.14±0.13		12.6±0.25	5.8±0.09		4.4±0.08			
DOPPIO	11±0.2	6±0.2		8.91±0.09		13.0±0.20	5.7±0.07		4.5±0.05			

3.1.2 *P. ostreatus* e SPOPPO

Nel secondo ciclo di produzione i diversi ripiani degli scaffali hanno avuto un effetto significativo sulla resa dello SPOPPO con produzioni maggiori nei ripiani più bassi (Fig. 5). La specie *P. ostreatus* non ha ottenuto un risultato simile a quello del primo ciclo: in questo caso la resa non è stata significativa per quanto riguarda il ripiano, ma si sono ottenute rese maggiori nella disposizione doppia rispetto alla singola.

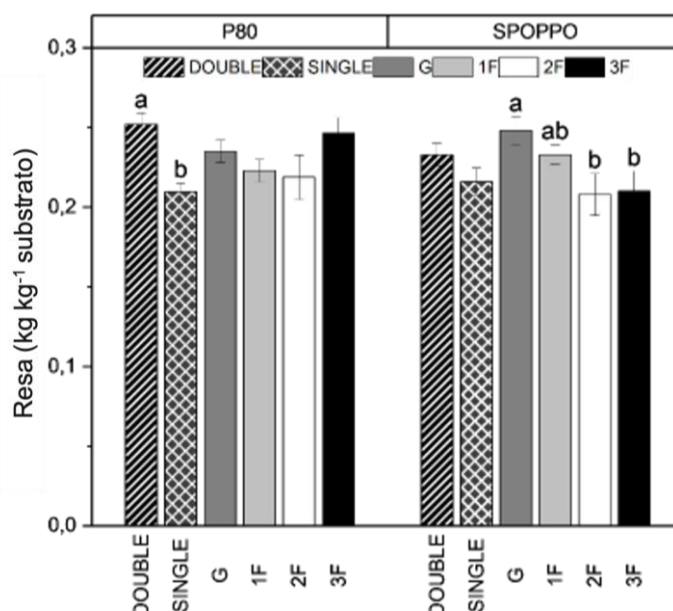


Figura 5. Resa di *Pleurotus ostreatus* (P80) e SPOPPO nella prima volata. Effetto della disposizione (singolo e doppio) e dei ripiani degli scaffali (G, 1F, 2F, 3F). Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative con p -value < 0.05 secondo il test HSD di Tukey.

Le caratteristiche morfologiche dei corpi fruttiferi per queste due specie hanno avuto risultati simili. Il numero dei corpi fruttiferi per famiglia in entrambe le specie è stato più alto nel ripiano più basso mentre il diametro e lo spessore si sono sviluppati maggiormente nei ripiani più alti (Tabella 4).

Tabella 4. Effetto sulle caratteristiche morfologiche delle specie (*P. ostreatus* e SPOPPO) dei diversi ripiani degli scaffali (G, 1F, 2F, 3F) e della disposizione degli scaffali (singolo,



doppio). Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative con $p\text{-value} < 0.05$ secondo il test HSD di Tukey.

<u><i>P. ostreatus</i></u>					
	N° corpi fruttiferi		Diametro corpi fruttiferi (cm)		Spessore corpi fruttiferi (mm)
	1 ^a volata		1 ^a volata		1 ^a volata
RIPIANI					
G	33±1.34	a	8.9±0.09	ab	7.4±0.11 b
1F	29±1.19	ab	8.6±0.15	b	7.6±0.10 b
2F	30±1.47	ab	9.2±0.12	a	7.8±0.11 b
3F	27±1.35	b	9.0±0.08	a	8.3±0.14 a
DISPOSIZIONE SCAFFALI					
SINGOLO	30±0.93		8.8±1.99 b		7.5±0.07 b
DOPPIO	29±1.04		9.0±2.22 a		8.2±0.10 a
<u><i>SPOPPO</i></u>					
	N° corpi fruttiferi		Diametro corpi fruttiferi (cm)		Spessore corpi fruttiferi (mm)
	1 ^a volata		1 ^a volata		1 ^a volata
RIPIANI					
G	39±1.65	a	5.3±0.04	b	8.2±0.36 c
1F	32±1.14	b	5.2±0.03	b	9.2±0.36 b
2F	28±1.03	bc	5.3±0.04	b	10±0.43 a
3F	25±0.91	c	5.6±0.06	a	8.3±0.44 a
DISPOSIZIONE SCAFFALI					
SINGOLO	32±0.83		5.5±0.03 a		9.5±0.3
DOPPIO	30±0.93		5.2±0.03 b		9.5±0.3

3.2 Applicazione di illuminazione artificiale durante la coltivazione di *Pleurotus* spp.

Durante l'esperimento sono stati riscontrati effetti significativi sia della luce che del substrato di coltivazione sulle diverse caratteristiche morfoponderali. In particolare, la resa è stata maggiore in entrambe le volate sotto i trattamenti



luminosi W, R→B e B (Tab. 5). Mentre il trattamento R e D ha avuto un effetto negativo sulla resa con valori totali finali inferiori del -20.4% e -21.7% rispetto al W. Il substrato che ha ottenuto performance maggiori è stato Cotone+Paglia che si è distinto in seconda volata con il +60% rispetto alla sola Paglia (Tab. 5).

Tabella 5. Effetto sulla produzione totale dei due substrati e delle diverse lunghezze d'onda allo studio. Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative con $p\text{-value} < 0.05$ secondo il test HSD di Tukey.

Trattamenti	Resa totale	
	kg kg ⁻¹ substrato	
Substrato (S)		
Paglia (CS)	0.273±0.01	b
Cotone + Paglia (CH+CS)	0.311±0.01	a
Lunghezza d'onda		
Rosso (R)	0.256±0.02	b
Blu (B)	0.306±0.01	a
Rosso-Blu (R→B)	0.324±0.01	a
Bianco (W)	0.322±0.01	a
Buio (D)	0.252±0.02	b

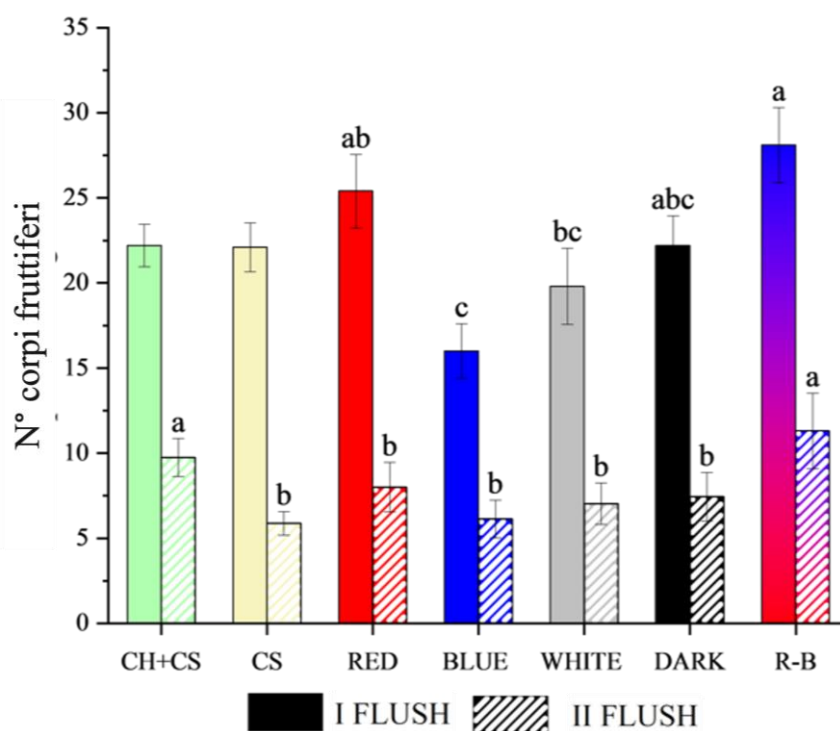


Figura 6. Numero dei corpi fruttiferi per famiglia nelle due volate. Effetto del substrato di coltivazione (CH+CS: cotone+paglia e CS: paglia) e delle diverse lunghezze d'onda (Red, blue, white, dark, R-B). Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative con $p\text{-value} < 0.05$ secondo il test HSD di Tukey.

Nella figura 6 è osservabile l'effetto del substrato e della luce sullo sviluppo dei corpi fruttiferi. Per quanto riguarda il trattamento luminoso la luce rossa nella fase di differenziazione del primordio e in generale durante tutta la fase di sviluppo ha influenzato positivamente il numero di corpi fruttiferi rispetto agli altri trattamenti luminosi. Il substrato con cotone invece ha ottenuto un numero medio di corpi fruttiferi maggiore in seconda volata rispetto alla sola paglia. In Tabella 6 si possono osservare gli effetti dei trattamenti sulle caratteristiche morfologiche: il B e il trattamento W hanno influenzato positivamente lo sviluppo del diametro mentre il rosso e il trattamento al buio hanno permesso lo sviluppo maggiore del gambo del corpo fruttifero.



Tabella 6. Effetto sulle caratteristiche morfologiche del substrato e delle diverse lunghezze d'onda applicate durante la coltivazione. Lettere diverse indicano differenze statisticamente significative con $p\text{-value} < 0.05$ secondo il test HSD di Tukey.

Trattamenti	Diametro corpo fruttifero (cm)		Spessore corpo fruttifero (mm)		Lunghezza gambo (cm)	
	1 ^a volata	2 ^a volata	1 ^a volata	2 ^a volata	1 ^a volata	2 ^a volata
Substrato (S)						
Paglia (CS)	6.33±0.09 a	7.66±0.14 b	3.93±0.06 a	4.00±0.10	2.66±0.06 b	2.40±0.06 b
Cotone + paglia (CH+CS)	5.92±0.09 b	8.21±0.15 a	3.53±0.06 b	3.91±0.09	2.92±0.07 a	3.37±0.11 a
Lunghezza d'onda						
Red (R)	5.44±0.14 c	7.43±0.22 c	3.45±0.08 bc	3.56±0.09 c	3.66±0.09 a	4.02±0.14 a
Blue (B)	6.86±0.20 a	9.14±0.24 a	3.98±0.11 a	4.70±0.14 a	2.40±0.10 b	2.29±0.08 bc
Red-Blue (R-B)	6.01±0.11 b	7.63±0.19 bc	3.76±0.09 ab	4.27±0.13 ab	2.03±0.06 c	1.91±0.10 c
White (W)	6.63±0.11 a	8.36±0.21 ab	4.02±0.09 a	3.43±0.19 c	2.52±0.07 b	2.54±0.10 b
Dark (D)	5.35±0.14 c	7.12±0.24 c	3.24±0.09 c	3.96±0.11 bc	3.79±0.09 a	3.69±0.17 a



4. Bibliografia

De Bonis, Marina, Silvia Locatelli, Paolo Sambo, Giampaolo Zanin, John A. Pecchia, e Carlo Nicoletto. 2024. «Effect of Different LED Light Wavelengths on Production and Quality of *Pleurotus Ostreatus* Grown on Different Commercial Substrates». *Horticulturae* 10 (4): 349. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040349>.

Feng, Yao, Heran Xu, Yong Sun, Rongrong Xia, Zhenshan Hou, Yunting Li, Yafei Wang, et al. 2023. «Effect of Light on Quality of Preharvest and Postharvest Edible Mushrooms and Its Action Mechanism: A Review». *Trends in Food Science & Technology* 139 (settembre):104119. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104119>.

Zied, Diego Cunha, e Arturo Pardo-Giménez. 2017. *Edible and Medicinal Mushrooms*.