

LE NUOVE TECNOLOGIE PER LA GESTIONE
DELLA LUCE SUPPLEMENTARE E LE POSSIBILI APPLICAZIONI
NELL'ORTICOLTURA PROTETTA IN ITALIA

LED INTERLIGHTING SU POMODORO IN SERRA



di Ivan Paucek, Giuseppina Pennisi,
Alessandro Pistillo, Elisa Appolloni,
Andrea Crepaldi, Barbara Calegari,
Francesco Spinelli, Antonio Cellini,
Francesco Orsini, Giorgio Gianquinto

*Gli autori appartengono al Dipartimento di Scienze
e tecnologie agrarie e alimentari dell'Alma Mater
Studiorum – Università di Bologna, fatta eccezio-
ne per Andrea Crepaldi di Flytech srl e Barbara
Calegari di I-Pom Pellerossa.*

Negli ultimi anni, l'applicazione di Led per l'illuminazione supplementare in serra si è ampiamente diffusa in Nord America, Europa settentrionale e Giappone, in sostituzione a tecnologie di illuminazione più diffuse come le lampade al sodio ad alta pressione (Gunnlaugsson & Adalsteinsson, 2005). I principali benefici offerti dalla tecnologia Led si evidenziano nella possibilità di modulare lo spettro tramite l'impiego di diodi con specifiche lunghezze d'onda, nell'elevata vita utile delle lampade e nell'efficienza di conversione dell'energia elettrica in

radiazione luminosa, riducendo così i costi energetici.

Le potenzialità offerte dalla tecnologia Led sono numerose: studi recenti hanno dimostrato che la possibilità di adattare lo spettro alle diverse specie vegetali, così come alle diverse fasi fenologiche della coltura, può consentire non solo di aumentare la resa produttiva, ma anche di migliorare le proprietà nutrizionali del prodotto, come nel caso del contenuto di sostanze antiossidanti e del profilo aromatico in basilico (Pennisi *et al.*, 2019). Inoltre, grazie alla limitata dispersione termica di queste lampade rispetto alle precedenti tipologie, è possibile posizionarle in prossimità della chioma o addirittura all'interno di essa, come nelle cosiddette lampade *interlighting* comunemente usate per la coltivazione di pomodoro (Gunnlaugsson & Adalsteinsson, 2005).

Si considera, inoltre, che la possibilità di concentrare la luce nelle regioni in cui si trovano i picchi di assorbimento della clorofilla (blu tra 400-500 nm e rosso tra 600-700 nm) possa contribuire a migliorare ulteriormente l'efficienza d'uso dell'energia, apportando significativi aumenti di resa, soprattutto in condizioni di limitato accesso alla radiazione solare diretta.

Mentre l'efficacia dei Led nell'aumentare la resa produttiva nelle serre del



nord Europa è stata validata da numerosi studi, ad esempio su pomodoro (Kaiser *et al.*, 2019; Tewolde *et al.*, 2018) e colture floricole (Bergstrand and Schussler, 2013), nell'orticoltura mediterranea l'adozione di questa tipologia di illuminazione è, ad oggi, estremamente limitata. Ciò è probabilmente associabile sia al moderato livello tecnologico del comparto serricolo nel sud Europa che a una generalmente scarsa percezione della luce come fattore limitante a queste latitudini.

Invero, a fronte della stagionalità produttiva del comparto (più remunerativa nelle stagioni invernali) e delle elevate densità colturali all'interno degli aprestamenti produttivi (al fine di massimizzare l'efficienza energetica associata alla climatizzazione della serra), si osserva spesso un forte e repentino decadimento dei tassi fotosintetici spostandosi dalla parte apicale della chioma alle foglie di altezze inferiori, ad esempio su cetriolo.

La ricerca sperimentale

Il presente studio mira alla valutazione degli effetti dell'applicazione della luce supplementare Led *interlighting*

nella produzione primaverile (marzo-giugno 2019) di pomodoro da mensa (var. Siranzo) in una serra commerciale dell'Emilia Romagna (I-Pom Pellerossa di Mezzolara di Budrio (Bo).

Il trapianto delle piantine di pomodoro è avvenuto il 3 gennaio 2019 in un sistema fuori suolo con sacchi di lana di roccia (Grodan, Roermond, Olanda) e sistema di irrigazione a goccia con ciclo semi-chiuso. All'interno della serra sono state ricavate 6 parcelle sperimentali (2 metri ciascuna, ospitanti 6 piante a una densità di 3.1 piante m^{-2}). Delle 6 parcelle, tre (denominate L) ospitavano le luci Led *interlighting*, mentre altre tre costituivano il testimone non illuminato (controllo, C). Le lampade Led *interlighting* impiegate nella sperimentazione (modello Flygrow Led technology, Flytech, Belluno) sono state posizionate a 2 metri di altezza all'interno della chioma (figura 3) e settate, sulla base di sperimentazioni precedenti, sull'emissione di radiazione rossa (picco a 465 nm) e blu (picco a 669 nm) in rapporto 3:1, con flusso fotosintetico di $170 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ a 30 cm dalla lampada e con 16 ore di fotoperiodo dalle 8 alle 24 (Pennisi *et al.*,

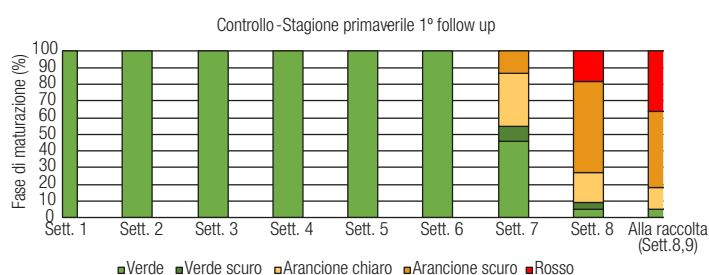
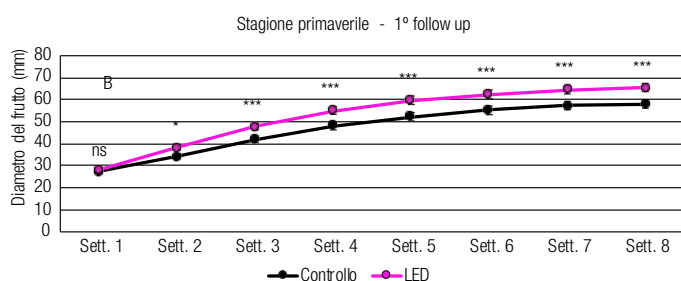
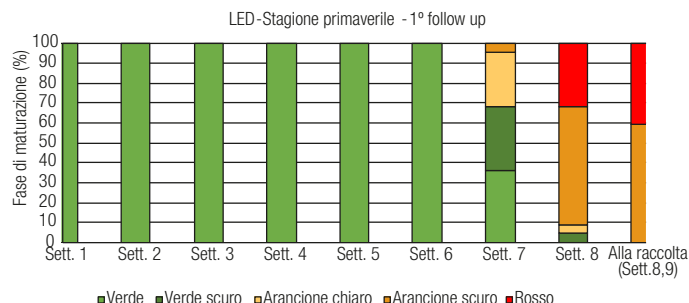
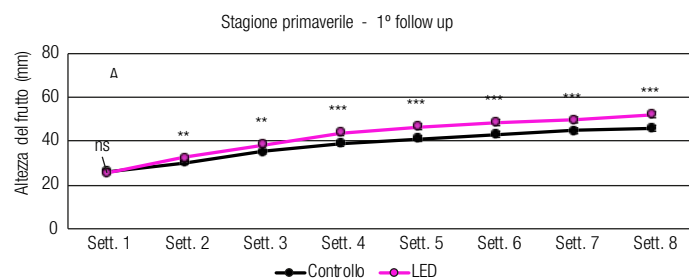
Impiego di luce Led *interlighting* all'interno della serra I-Pom Pellerossa di Mezzolara di Budrio (Bo)

2019). I trattamenti luminosi sono stati avviati a partire dal 26 febbraio 2019 (54 giorni dal trapianto, Gdt).

Il clima in serra è stato controllato attraverso un sistema computerizzato, che ha registrato per la stagione primaverile una temperatura media di $23.4^{\circ}C$ durante il giorno e $16.5^{\circ}C$ durante la notte, un'umidità relativa media del 75% e una radiazione solare di $1.8 MJ m^{-2} giorno^{-1}$. La raccolta dei dati è iniziata l'11 marzo 2019 (67 Gdt) ed è stata condotta con cadenza settimanale, fino al 21 giugno 2019 (169 Gdt). Ad ogni rilievo sono stati raccolti dati di accrescimento vegetativo e di morfologia in tre regioni di ciascuna pianta, al di sotto della lampada più bassa (altezza inferiore), tra le due lampade (altezza centrale) e al di sopra della lampada più alta (altezza superiore), come illustrato nella figura 3.

Le misure effettuate includevano parametri biometrici (es. lunghezza degli internodi e diametro dello stelo alle tre

Grafico 1 – Effetto del Led *interlighting* sui frutti di pomodoro

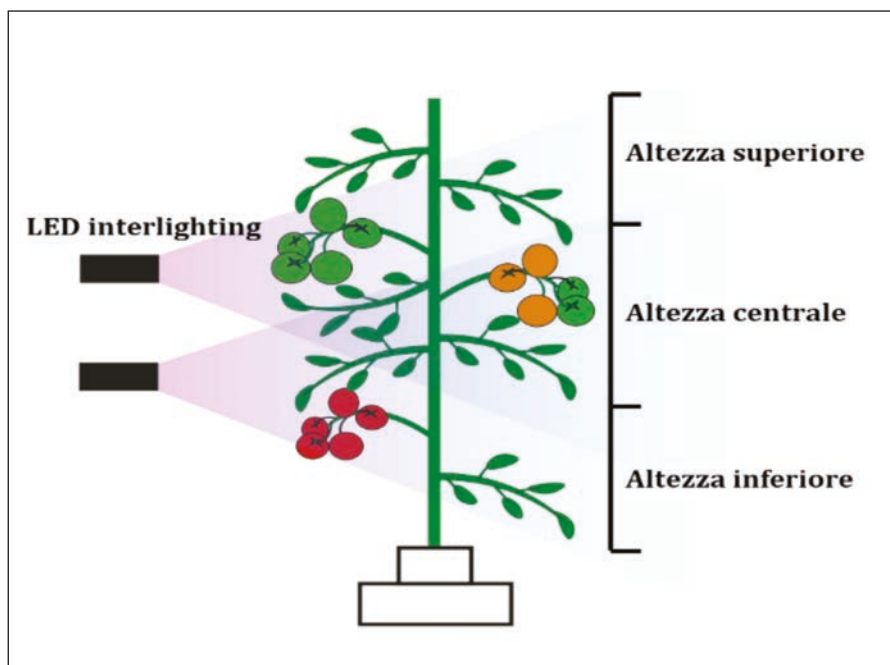


A: altezza; b: diametro; c, d: fase di maturazione

Misure prese in un *follow-up* che rappresenta la stagione primaverile

I simboli (*) indicano differenze significative a $P \leq 0.05$ (*), 0.01 (**) o 0.001 (***). Ns indica differenze non-significative a $P \leq 0.05$

altezze, diametro del colletto, crescita apicale, larghezza e lunghezza delle foglie), nonché parametri riguardanti la maturazione dei frutti (accrescimento e grado di maturazione settimanale) e la produttività finale (numero di frutti, dimensione finale dei frutti, peso dei frutti, produttività delle piante e resa accumulata). Le misure fisiologiche sono state condotte nella settimana dell'8-12 aprile 2019 (95-99 Gdt) e hanno riguardato le misure di conduttanza stomatica (effettuate tramite porometro Delta-T, Cambridge, Regno Unito), contenuto in clorofilla (tramite Yara N-tester, Oslo, Norvegia) e temperatura fogliare (tramite termometro a infrarossi Fluke 66, Everett, Wa, Usa). Nella stessa settimana sono state ef-



Schema grafico del posizionamento delle lampade Led *interlighting*



Tab.1 - Effetto del Led interlighting su stelo e internodi a diverse altezze lungo il profilo della pianta

	Altezza superiore		Altezza superiore		Altezza superiore	
	Led	Controllo	Led	Controllo	Led	Controllo
Diametro dello stelo (mm)						
10 follow-up	13,6	13,0	13,9	12,9	14,1	12,9
	ns		ns		*	
20 follow-up	12,6	12,1	13,5	12,4	14,2	12,8
	ns		**		***	
Lunghezza internodo (cm)						
10 follow-up	29,3	33,2	32,4	32,6	32,9	34,4
	***		ns		ns	
20 follow-up	38,3	34,9	33,3	35,1	33,6	34,4
	**		*		ns	

Il diametro dello stelo è stato misurato 8/7 cm sotto il grappolo e la lunghezza degli internodi appena sotto il grappolo

I simboli (*) indicano differenze significative a $P \leq 0.05$ (*), 0.01 (**) o 0.001 (***)

Ns indica differenze non-significative a $P \leq 0.05$

fettuate le valutazioni della qualità dei frutti analizzando il contenuto dei solidi solubili (espresso come °Brix) tramite rifrattometro e il colore tramite analisi Cielab color space con colorimetro. I dati sono stati analizzati mediante Anova e le medie confrontate con test Lsd per un livello di significatività del 5%.

Risultati e discussione

Le piante sottoposte ad illuminazione supplementare con Led hanno mostrato un diametro dello stelo maggiore rispetto al controllo, in particolare nella parte inferiore della vegetazione durante tutta la stagione primaverile, e nella parte centrale durante la seconda metà della primavera (tabella 1). Simili variazioni sono state riscontrate anche nel diametro del colletto (tabella 2). Inoltre, le lunghezze degli internodi sono risultate generalmente minori nel trattamento Led, con differenze significative nella parte superiore della vegetazione

Tab. 2 - Effetto del Led interlighting sullo stelo e sulle foglie

	Led	Controllo	Differenze
Diametro dello stelo alla base (mm)	14,9	12,1	***
Larghezza delle foglie (cm)	11,9	11,6	ns
Lunghezza delle foglie (cm)	24,2	23,7	ns

Il diametro dello stelo alla base è stato misurato a 1 cm sopra la superficie del cubo di crescita. La larghezza e la lunghezza delle foglie (compresa la lunghezza del picciolo) sono state misurate sulla foglia superiore del ramo.

I simboli (*) indicano differenze significative a $P \leq 0.05$ (*), 0.01 (**) o 0.001 (***)

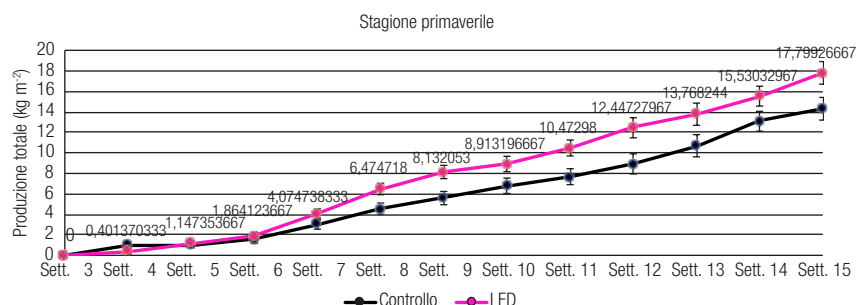
Ns indica differenze non-significative a $P \leq 0.05$

per il primo *follow-up* (settimana 1-7) e nella parte centrale per il secondo *follow-up* (settimana 8-12).

Tuttavia, nel secondo *follow-up* è stata riscontrata una tendenza opposta nella parte superiore della pianta, mostrando una lunghezza degli internodi maggiore nelle piante esposte all'illuminazione supplementare (tabella 1). Tale osservazione potrebbe essere imputata alla

presenza di giorni di bassa irradiazione in aprile-maggio (dalla settimana 5 alla settimana 12) che, relazionata a una diminuzione della temperatura, potrebbe aver determinato un allungamento dell'internodo più alto in entrambi i trattamenti, mostrando particolare vigore di crescita nelle piante sottoposte a illuminazione supplementare (Tewolde et al., 2018). >>>

Grafico 2 - Effetto del Led *interlighting* sulla produzione accumulata durante la stagione primaverile



I simboli (*) indicano differenze significative a $P \leq 0.05$ (*), 0.01 (**) o 0.001 (***)
Ns indica differenze non-significative a $P \leq 0.05$.

Tab. 3 - Effetto del Led *interlighting* sui frutti e sulla resa della pianta di pomodoro

	Led	Controllo	Differenze
Diametro polare (mm)	53,0	50,6	**
Diametro equatoriale (mm)	65,8	62,6	**
Peso medio (g frutto ⁻¹)	126,4	108,5	**
Numero di frutti (n pianta ⁻¹)	45,0	42,2	ns
Resa (kg pianta ⁻¹)	5,7	4,6	*

I simboli (*) indicano differenze significative a $P \leq 0.05$ (*), 0.01 (**) o 0.001 (***)
Ns indica differenze non-significative a $P \leq 0.05$

Le dimensioni e il tasso di crescita delle foglie sono stati analizzati valutando settimanalmente il rapporto lunghezza/larghezza. I risultati della sperimentazione non hanno mostrato modifiche significative nei tratti morfologici delle foglie (tabella 2). Questo risultato conferma studi precedenti in cui le differenze nei parametri fogliari di pomodoro non sono state associate agli effetti dell'*interlighting* (Jiang *et al.*, 2017; Tewolde *et al.*, 2018). Inoltre, in accordo con lo studio di Pepin *et al.* (2014), non sono state riscontrate differenze significative nell'altezza delle piante tra i trattamenti considerati.

L'accrescimento dei frutti è strettamente correlato all'accesso alla radiazione luminosa (Lu *et al.*, 2012). Nel corso dell'esperimento, il tasso di crescita dei frutti è stato significativamente maggiore nel primo *follow-up* (grafico 1), mentre nel secondo *follow-up* non sono state osservate differenze significative tra trattamenti (dati non presentati). La dimensione dei frutti è aumentata in proporzioni maggiori con l'illuminazione Led, come già mostrato in precedenza su pomodoro coltivato in serra (Jiang *et al.*, 2017). Le differenze sono state quindi ridotte con il passare della stagione, in risposta all'aumento del-

la ripartizione solare nel bilancio della radiazione (Lu *et al.* 2012). Inoltre, la maturazione dei frutti è stata più rapida nelle piante trattate con Led, risultando nel complesso sia in una maturazione più rapida dei frutti che in un più alto tasso di crescita (grafico 1).

L'applicazione dell'*interlighting* ha dimostrato di aumentare l'intercettazione della luce e quindi la produttività di diverse colture tra cui cetriolo e pomodoro (Lu *et al.*, 2012; Jiang, *et al.*, 2017). Nel presente studio, le piante di pomodoro sottoposte a *interlighting* hanno migliorato significativamente la loro resa durante la stagione primaverile, anche in funzione di un aumento della dimensione e del peso dei frutti (tabella 3). Infatti, fornendo luce alle foglie inferiori della pianta, la loro capacità fotosintetica aumenta; il che si traduce in frutti di diametro maggiore e rese commerciali aumentate. La ricerca ha inoltre dimostrato differenze non significative nel numero di frutti, in coerenza con evidenze precedenti (Tewolde *et al.*, 2018). La produzione accumulata nell'intera stagione ha mostrato un aumento significativo per il trattamento con Led, con un incremento di circa il 25% della resa rispetto al controllo (grafico 2).

Per quanto riguarda i parametri fisiologici, l'aumento del contenuto in clorofilla fogliare (tabella 4) in risposta all'illuminazione integrativa è coerente con quanto precedentemente riscontrato (Tewolde *et al.*, 2018). Inoltre, le piante sottoposte ad *interlighting* hanno mostrato una maggior conduttanza stomatica rispetto al controllo (tabella 4), il che suggerisce che il trattamento luminoso risulti in aumentati flussi traspirativi e, coerentemente, maggiori tassi fotosintetici. Tuttavia, è stato anche osservato un aumento di 1.4°C nelle

TerComposti, dalla natura i prodotti migliori



Tercomposti, dal 1985 è leader nella produzione di terricci e substrati professionali di coltivazione dedicati all'orto-floro vivaistica.



Oggi, grazie al nuovo ampliamento e al moderno impianto di miscelazione e pellettatura, presenta al mercato la nuova TerComposti Agri.



Linea di stallatici, pollina e organominerali pellettati ammessi in agricoltura Biologica.



Nuovi Packaging

Possibilità di personalizzazioni di Prodotto e/o Confezione

CONSENTITO IN AGRICOLTURA BIOLOGICA

Tab. 4 - Effetto del Led interlighting sui parametri fisiologici e sui parametri di qualità

		Led	Controllo	Differenze
Misurazioni fisiologiche	Contenuto di clorofilla fogliare (N-tester)	505,2	437,4	*
	Conduttanza stomatica ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	367,1	126,8	***
	Temperatura delle foglie ($^{\circ}\text{C}$)	18,0	16,6	***
Misurazioni della qualità dei frutti	Contenuto di solidi solubili ($^{\circ}\text{Brix}$)	3,7	3,9	ns
	Analisi Cielab color space			
	L*	41,3	42,4	ns
	a*	41,3	42,4	ns
	b*	18,7	17,7	ns

I simboli (*) indicano differenze significative a $P \leq 0.05$ (*), 0.01 (**) o 0.001 (***). Ns indica differenze non-significative a $P \leq 0.05$



Analisi delle bacche di pomodoro

piante illuminate (tabella 4), suggerendo che l'effetto rinfrescante associabile alla traspirazione delle foglie (Pennisi *et al.*, 2019) in risposta gli stomi più aperti non abbia completamente controbilanciato l'aumento di temperatura dovuto al calore rilasciato dalle lampade. Infine, le analisi qualitative non hanno evidenziato alcuna influenza da parte dell'illuminazione supplementare nel contenuto di solidi solubili, come già evidenziato da ricerche precedenti (Lu *et al.* 2012; Park *et al.* 2016). Nello stesso modo, l'analisi Cielab non ha

mostrato differenze significative tra trattamenti sui frutti raccolti (tabella 4).

Conclusioni

L'esposizione delle piante di pomodoro alla luce Led ha migliorato la crescita, la resa e la fisiologia durante la stagione primaverile, dunque questa tecnologia sembra presentare buone potenzialità per la coltivazione dei pomodori nelle serre mediterranee. Tuttavia, sono necessarie ulteriori ricerche integrate a un'analisi finanziaria, al fine di stabilirne le possibili applicazioni. •

Bibliografia

- Bergstrand, K.-J., & Schuler, H. K., 2013. *Growth, development and photosynthesis of some horticultural plants as affected by different supplementary lighting technologies*. *Europ. J. Hort. Sci.*, 78 (3). S. 119–125
- Gunnlaugsson, B., & Adalsteinsson, S. (2005, June). *Interlight and plant density in year-round production of tomato at northern latitudes*. In V International symposium on artificial lighting in horticulture 711 (pp. 71-76)
- Kaiser, E., Ouzounis, T., Giday, H., Schipper, R., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. (2019). *Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum*. *Frontiers in plant science*, 9, 2002
- Jiang, C., Johkan, M., Hohjob, M., Tsukagoshi, S., Ebihara, M., Nakaminami, A. and Maruo, T. (2017). *Photosynthesis, plant growth, and fruit production of single-truss tomato improves with supplemental lighting provided from underneath or within the inner canopy*. *Sci. Hortic.* 222, 221–229
- Lu, N., Maruo, T., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S. and Ito, Y. (2012). *Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (Leds) on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density*. *Environ. Control Biol.* 50, 63–74
- Pennisi, G., Blasioli, S., Cellini, A., Maia, L., Crepaldi, A., Braschi, I., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J.A., Stanghellini, C., Marcelis, L.F., Orsini, F., Gianquinto, G. (2019). *Unraveling the role of red: blue led lights on resource use efficiency and nutritional properties of indoor grown sweet basil*. *Frontiers in plant science*, 10
- Tewolde, FT., Shiina, K., Maruo, T., Takagaki, M., Kozai, T. and Yamori, W. (2018). *Supplemental Led inter-lighting compensates for a shortage of light for plant growth and yield under the lack of sunshine*. *PLoS ONE* 13(11): e0206592



LA MASSIMA PRECISIONE

per prevenire e curare la carenza di magnesio



EPOSTOP

CONCIME CE
16% MgO - 32,5% SO₂

EPOSTOP Microtop

CONCIME CE
15% MgO - 31% SO₂
0,9% B - 1% Mn