

UN'INDAGINE SUL SUO POSSIBILE UTILIZZO È STATA FATTA DAI RICERCATORI CONFRONTANDOLA CON LA LUCE CONTINUA E VALUTANDO MORFOLOGIA, FISIOLOGIA E QUALITÀ

EFFETTI DELLA LUCE LED PULSATA NELLE COLTIVAZIONI INDOOR

di Giacomo Cocetta¹
e Roberta Bulgari²

¹Dipartimento di Scienze agrarie e ambientali – Produzione, territorio, agroenergia – Disaa, Università degli Studi di Milano

²Dipartimento di Scienze sgrarie, forestali e alimentari – Disafa, Università degli Studi di Torino

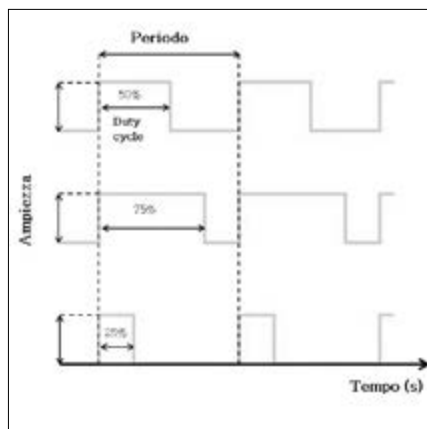
Contributo realizzato a cura della sezione Ortoflorovivaismo della Soi



■ Piante di lattuga a cespo coltivate indoor con luce Led
Fonte: Roberta Bulgari

La crescente domanda di ortaggi di alta qualità è uno dei fattori determinanti nello sviluppo dei più moderni sistemi di orticoltura, realizzati anche attraverso coltivazioni indoor. Numerose fonti di illuminazione artificiale sono state utilizzate in diversi settori produttivi e nella ricerca. Tra le varie tipologie di lampade oggi a disposizione, i Led sono molto interessanti grazie alla disponibilità di sistemi operanti a varie lunghezze d'onda come l'infrarosso (Nir), il rosso, il verde, il blu e l'Uv, che possono operare singolarmente o in combinazione, per creare delle spe-

cifiche ricette luminose. Inoltre, i Led hanno un costo energetico più basso rispetto alle altre tipologie di lampade, una maggiore efficienza di conversione dell'energia ed una maggiore durata. Tuttavia, vi è ancora spazio per ulteriori miglioramenti in questo campo, soprattutto per ciò che riguarda il risparmio energetico. Diversi studi hanno dimostrato il ruolo di trattamenti luminosi con luci Led nel promuovere la pigmentazione delle foglie, che influenza la qualità estetica del prodotto e quindi le scelte dei consumatori. Anche la coltivazione di prodotti innovativi, come fiori eduli,

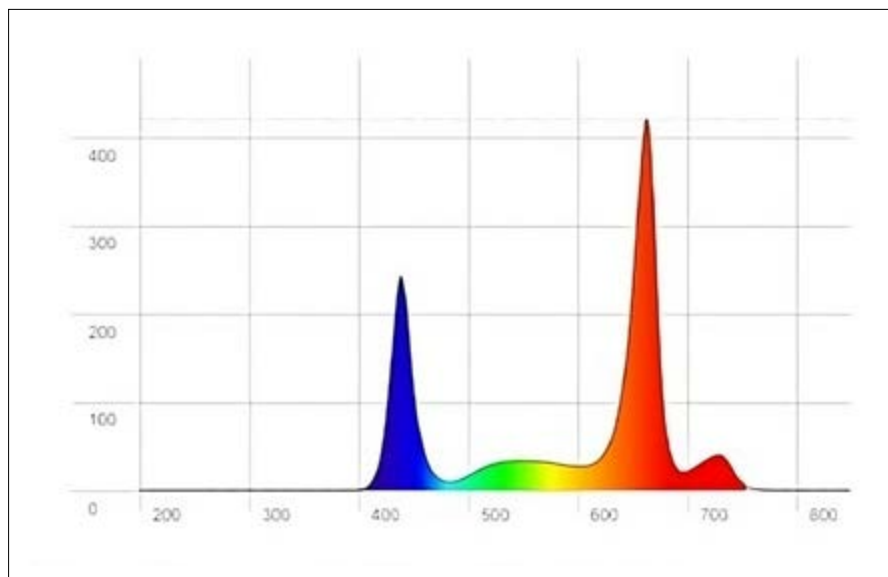


1 - La somministrazione di luce Led pulsata può essere realizzata modulando la frequenza di pulsazione (Hz) che corrisponde al numero di pulsazioni per unità di tempo. Il periodo che intercorre tra una pulsazione e l'altra può essere descritto in base alla sua durata e al *Duty cycle* (Dc), come rappresentato in figura. A parità di frequenza e di ampiezza della pulsazione, variazioni nel *Duty cycle* possono influenzare significativamente i parametri fisiologici e qualitativi in pianta, le rese e i consumi energetici del sistema produttivo. (Fonte: Cocetta, immagine originale)

piante officinali o microgreens, può trarre beneficio da tali trattamenti, in particolare grazie a un maggiore accumulo di sostanze antiossidanti.

La luce in coltura protetta

Fotoperiodo, intensità luminosa e distribuzione spettrale influenzano lo sviluppo e la fisiologia delle piante coltivate in ambiente protetto. La luce induce risposte a livello fisiologico e morfologico, influenza il comportamento delle piante e ne regola il metabolismo, oltre a fornire l'energia necessaria per la fotosintesi. I moderni sistemi di illuminazione utilizzati nelle coltivazioni indoor permettono di ottenere delle produzioni di alta qualità in tempi brevi, massimizzando l'uso delle risorse e degli input produttivi. Tuttavia, il costo dell'energia necessaria per l'illuminazione è un ostacolo al futuro sviluppo di tali tecnologie.



2 - Spettro di illuminazione Led utilizzato nella prova (Ali et al., 2023)

La possibile somministrazione di luce Led pulsata può essere un'opportunità per risparmiare energia.

I Led

Sono numerosi gli studi sull'utilizzo dei Led nelle coltivazioni in ambiente protetto e nelle produzioni indoor. I Led influenzano i parametri di crescita e la qualità. È ormai noto come la luce rossa migliori l'accumulo di biomassa, l'allungamento degli internodi e l'espansione delle foglie, mentre la luce blu sia coinvolta nella produzione di pigmenti, nella regolazione stomatica e nella stimolazione della fotosintesi. I benefici delle luci monocromatiche oggi sono combinati in sistemi di illuminazione complessi che consentono di creare degli spettri in grado di soddisfare al meglio le esigenze delle colture.

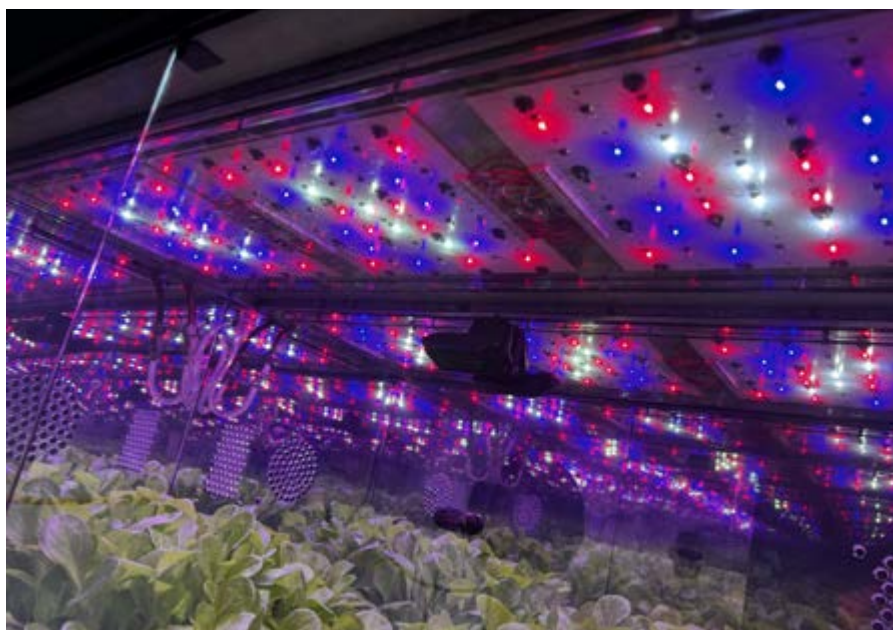
La gestione e l'utilizzo di questi sistemi di illuminazione richiedono un uso rilevante di energia elettrica; pertanto, la riduzione dei costi energetici attraverso l'adozione di strategie che permettano di razionalizzare l'uso della

luce è oggi un obiettivo primario. Una strategia che permetterebbe di ridurre i consumi prevede la somministrazione di luce pulsata durante il periodo luminoso. La gestione della luce pulsata implica la definizione e la modulazione di importanti parametri che riguardano la frequenza, il *duty cycle* e l'ampiezza del segnale luminoso (fig. 1).

Lo scopo della ricerca

Nell'ambito di una recente sperimentazione realizzata presso il Dipartimento di scienze agrarie e ambientali dell'Università di Milano, piante di lattuga (*Lactuca sativa* L. var. *Acephala*) sono state coltivate in una camera di crescita dotata di luci Led, impiegate in modalità pulsata e continua, con una densità media di flusso di radiazione fotosinteticamente attiva di $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e un fotoperiodo di 16 ore, per un ciclo della durata di 30 giorni.

Lo scopo dello studio è stato quello di osservare gli effetti dei diversi trattamenti luminosi sulla crescita e sulla qualità del prodotto alla raccolta. I dati



3 - Piante di lattuga da taglio coltivate in camera di crescita con luce Led (Meg Science).
Fonte: Ali et al., 2023

ottenuti sono stati confrontati con quelli misurati in piante coltivate in serra tradizionale, senza illuminazione artificiale. Sia con luce Led continua che pulsata, si è registrato un incremento nella resa e nella lunghezza e larghezza delle foglie di lattuga rispetto al controllo. Il trattamento a luce pulsata ha determinato un grosso calo nei consumi. In aggiunta, l'analisi fisiologica e qualitativa della lattuga ha rivelato una risposta migliore del trattamento con luce Led continua in termini di zuccheri totali, saccarosio, concentrazione di clorofilla, carotenoidi e indice fenolico. Il trattamento ha an-

che indotto una significativa riduzione del contenuto di nitrato, parametro importante quando si parla di qualità degli ortaggi a foglia. I livelli di antociani sono invece aumentati in condizioni di luce Led pulsata.

Luce pulsata

In un recente studio, pubblicato dal gruppo di ricerca in orticoltura del Dipartimento di scienze agrarie e ambientali dell'Università degli Studi di Milano, il trattamento con luce Led pulsata è stato testato come alternativa alla somministrazione continua di luce. I para-

metri scelti per la luce pulsata erano: 2 Hz di frequenza e 50% di *Duty Cycle* e, a parità di quantità ($150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e qualità di radiazione (fig. 2), l'illuminazione Led continua è stata utilizzata come confronto (fig. 3). Un ulteriore confronto è stato fatto con piante coltivate per lo stesso periodo di tempo in una serra in vetro (fig. 4), con controllo dei parametri ambientali e illuminazione naturale.

Le prove sono state realizzate grazie a una piccola camera di crescita (Meg Multi Disaa) in cui è possibile avere il pieno controllo della componente luminosa. La camera è caratterizzata da due volumi di crescita da circa 0,3 mq di superficie coltivabile.

Entrambi i volumi di coltivazione sono dotati di un sistema di illuminazione Led a spettro variabile, raffreddato a liquido, capace di raggiungere valori di irradianza sul target ≥ 500 micro moli s/m^2 con diverse configurazioni di spettro luminoso (Sq_d – Spectral quantum distribution). Meg Multi Disaa è dotata di un innovativo software di controllo dinamico della luce, Digital Lambda, capace di creare programmi luminosi dinamici dando origine a condizioni luminose non presenti in natura. Meg, acronimo di Mutable efficient growing, è una società di consulenza che opera nel settore della fotobiologia applicata all'agro industria.

I parametri monitorati

Le risposte fisiologiche e la qualità della lattuga sono state valutate studiando diversi parametri, tra cui il contenuto in clorofilla, zuccheri totali, saccarosio, nitrato, carotenoidi, antociani e l'indice fenolico. Inoltre, gli effetti dei trattamenti sono stati studiati utilizzando dei sistemi non distruttivi, come la misura dei pigmenti fogliari e della fluorescenza della clorofilla *a*, che permette di valutare *in*

Tabella 1 - Consumo di energia

Condizioni operative	Energia elettrica (W/h)	Lunghezza del fotoperiodo (ore)	Durata del ciclo produttivo (giorni)
Led continuo	39,8	16	30
Led pulsato (2 Hz, 50% DC)	24	16	30



Prodotto fitosanitario autorizzato dal Ministero della Salute.
Prima dell'uso leggere sempre l'etichetta e le informazioni sul prodotto

OIKOS

STATE IN CAMPANA... NEMATODI E NON SOLO!

OIKOS innova la difesa dai nematodi delle orticole con la soluzione più completa.

- **Nematocida multi-sito ed insetticida ad ampio spettro** efficace contro *Tuta absoluta*, tripidi, mosca bianca, afidi
- **Uso in fertirrigazione**, per interventi agevoli e flessibili durante tutto il ciclo colturale
- **Selettività** perfetta e rispetto degli insetti utili
- **Principio attivo naturale (azadiractina A)** in un formulato innovativo di elevatissima purezza e qualità

SCOPRI SUL SITO



vivo diversi parametri e indici legati alla funzionalità fogliare e all'efficienza d'uso della radiazione luminosa. Durante il ciclo è stato valutato il consumo di energia per ogni condizione (pulsata vs. continua), sono stati registrati alcuni parametri morfologici (lunghezza e larghezza delle foglie) e alla raccolta è stata determinata la resa.

Valutazioni con tecniche non distruttive

È stata effettuata un'analisi non distruttiva dei livelli di pigmenti utilizzando lo strumento Mpm-100. Questo dispositivo portatile permette di misurare la quantità di clorofilla nelle foglie e di stimare il contenuto di antociani e flavonoli. Nello studio è stato registrato un valore più elevato di clorofilla nelle piante sottoposte al Led continuo rispetto al Led pulsato. Tuttavia, valori più elevati sono stati osservati nel controllo. Per quanto riguarda gli antociani, le misurazioni condotte *in vivo* hanno rivelato livelli più elevati nel trattamento con Led pulsato. Tali valori variano in funzione



4 - Piante di lattuga da taglio coltivate in serra. Fonte: Ali et al., 2023

dei parametri della pulsazione, come precedentemente osservato su piante di peperoncino da Olvera-Gonzalez e altri (2021). L'aumento di flavonoli osservato in lattuga è in linea con l'andamento osservato per gli antociani. Tali variazioni a carico dei composti fenolici sono verosimilmente dovute all'effetto della regione blu dello spettro.

La misura della fluorescenza della clorofilla nelle piante è un indicatore dell'efficienza del funzionamento del processo fotosintetico. Le piante verdi assorbono la luce, utilizzandone parte per la fotosintesi e dissipandone una parte sottoforma di calore e una parte come fluorescenza. Il rapporto Fv/Fm determina l'efficienza quantica massima del fotosistema II. La luce Led pulsata ha mostrato valori di Fv/Fm lievemente più elevati rispetto ai trattamenti Led a luce continua; pertanto, il Led pulsato risulta efficace nel mantenere attivo il fotosistema. Analogamente, nessuna differenza significativa è stata osservata nei valori di efficienza quantica del PsII da parte di Son e altri (2018) in una ricerca su lattuga trattata con luce Led continua e pulsata, confermando l'importanza della selezione appropriata del *duty cycle* e della frequenza della pulsazione.

Resa, risparmio energetico e risposta morfologica

Secondo lo studio di Ali e colleghi, la lattuga coltivata con illuminazione Led continua ha raggiunto rese superiori rispetto a quella coltivata con illuminazione pulsata, ma confrontabili con la produzione in serra. Dal punto di vista della morfologia, sono stati osservati valori maggiori per lunghezza e larghezza delle foglie nelle piante sottoposte a luce Led continua mentre, nel caso della luce pulsata, i valori erano simili o superiori (nel caso della larghezza)

a quelli misurati in serra. Oltre alle variazioni nelle dimensioni delle foglie, si sono osservate delle differenze nel portamento delle piante. Tale fenomeno è stato confermato anche in altri studi ancora in corso, condotti dallo stesso gruppo di ricerca, su piante di lattuga a cespo coltivate in condizioni di luce Led continua o pulsata, ad alta frequenza (1 KHz), come riportato nella *figura 5*. L'analisi dei costi energetici ha mostrato una riduzione del consumo di energia nel trattamento pulsato, come indicato nella *tab. 1*.

Qualità del prodotto

L'accumulo di carotenoidi nella lattuga ha mostrato una tendenza simile a quella della clorofilla, con un leggero calo (non significativo dal punto di vista statistico) nelle condizioni di luce pulsata. L'uso dei Led per incrementare la concentrazione di carotenoidi ha ricevuto ampia attenzione nel corso degli ultimi anni, e molti ricercatori hanno dimostrato che le piante esposte a combinazioni di luce Led rossa e blu mostrano un aumento considerevole dei suddetti pigmenti.

La maggiore produzione di pigmenti fogliari stimola nelle piante un migliore assorbimento della luce, un miglior controllo delle specie reattive dell'ossigeno e una maggiore vigoria. Nello studio condotto su lattuga da taglio è stato osservato un accumulo maggiore di zuccheri nel trattamento a luce Led continua rispetto a quello a impulsi e nei trattamenti in serra (controllo). Gli zuccheri sono un ruolo importante, assistendo le piante in una vasta gamma di processi strutturali, funzionali e di difesa, oltre a influenzarne il profilo nutrizionale. Uno studio ha anche rilevato alti contenuti di zuccheri solubili nella lattuga sottoposta a trattamenti con

Led rosso/blu e rosso.

I composti fenolici, e tra questi gli antociani, sono i metaboliti secondari maggiormente presenti nelle piante. Il loro ruolo è quello di protezione dalle radiazioni ultraviolette e da diversi fattori di stress, nonché quello di fornire colorazioni tipiche a fiori, foglie e frutti. Inoltre, alcuni composti fenolici sono ampiamente riconosciuti come componenti chiave del profilo nutrizionale degli alimenti di origine vegetale, grazie alle loro importanti proprietà salutistiche. Si è osservato un leggero incremento dell'indice fenolico nel trattamento a Led continuo rispetto al controllo in serra, ed una diminuzione dell'indice fenolico nel trattamento a impulsi. Gli antociani, invece, sono risultati più bassi nei trattamenti Led rispetto al controllo, e ciò potrebbe essere dovuto alla fluttuazione della densità di flusso di fotoni fotosintetici (Ppfd) in serra, che ha indotto le piante a un maggior accumulo di composti antiossidanti, per sostenere la crescita e lo sviluppo. La biosintesi e l'accumulo di metaboliti secondari sono processi fortemente dipendenti dalla luce. Secondo molti studi, la regione spettrale corrispondente alla luce blu sarebbe più efficace nel promuovere l'espressione dei geni responsabili per la sintesi e l'accumulo di composti fenolici.

I nitrati sono presenti in tutti i tessuti delle piante e sono importanti per la crescita e lo sviluppo delle colture. Gli ortaggi a foglia verde, come spinaci e lattuga, contengono un alto contenuto di nitrati. A causa degli effetti dannosi dei nitrati sulla salute umana, il contenuto fogliare di tali sostanze è soggetto ad una regolamentazione europea (UE: 1258/2011). È stato dimostrato che diversi ortaggi a foglia verde, considerati degli iper-accumulatori di nitrato,



5 - Alterazioni morfologiche di lattuga a cespo, coltivata con illuminazione Led continua (in alto) e pulsata ad alta frequenza (1KHz) (in basso).

Fonte: Awais Ali e Giacomo Cocetta

ne accumulano meno se coltivati con specifici regimi di illuminazione Led. Il trattamento continuo a Led, in questo esperimento, ha mostrato una riduzione significativa di nitrato rispetto ai valori riscontrati nelle condizioni di serra e nel trattamento a luce pulsata. Si ritiene che la componente rossa dello spettro luminoso sia la più efficace nel potenziare l'attività dell'enzima nitrato reductasi (Nr), principale responsabile dei processi di assimilazione ed utilizzo del nitrato in pianta. Oltre alla qualità e all'intensità della luce, alcuni autori ipotizzano che lo stadio di sviluppo della lattuga sia un fattore chiave per l'accumulo di nitrati. Inoltre, anche la lunghezza del ciclo ha un impatto significativo sull'attività della NR, fattore che in alcuni casi prevale rispetto al trattamento luminoso stesso, come osservato per esempio in *Valeriana locusta*. Per raggiungere l'obiettivo di una concentrazione di nitrati più bassa, sono in corso ulteriori ricerche per regolare la frequenza, il *duty cycle* e l'intensità del trattamento a impulsi Led

nelle future sperimentazioni riguardanti la coltivazione indoor di lattuga.

I vantaggi della luce pulsata

Il rendimento e la composizione nutrizionale della lattuga sono notevolmente influenzati dalla qualità e dalla distribuzione quantica spettrale della luce Led. Tra i trattamenti Led studiati, a parità di intensità luminosa, spettro e lunghezza del ciclo di coltivazione, il Led con un'esposizione continua è stato il più efficace nell'aumentare l'output complessivo della lattuga in termini di resa, lunghezza e larghezza delle foglie. Anche gli aspetti qualitativi delle piante cresciute in condizioni di luce pulsata non hanno eguagliato i risultati del trattamento in continuo. Tuttavia, il trattamento a Led pulsato ha mostrato in alcuni casi dei risultati migliori rispetto alle condizioni di controllo in serra, ad esempio in termini di resa, della produzione di composti antiossidanti, mostrando migliori prestazioni del fotosistema II. Ciò suggerisce una buona capacità di adattamento della coltura, e crea un'opportunità per ampliare la ricerca utilizzando questa modalità di applicazione della luce, al fine di ottenere delle produzioni qualitativamente soddisfacenti, a fronte di una riduzione significativa dei consumi. Una stima preliminare della domanda energetica ha mostrato infatti una significativa riduzione nel consumo grazie all'uso della luce pulsata. Ulteriori studi (attualmente in corso) consentiranno di approfondire questa tematica, con l'obiettivo di determinare le migliori condizioni di pulsazione (in termini di frequenza, *duty cycle* e durata del ciclo di crescita) e garantire una maggiore sostenibilità economica delle produzioni orticole indoor. ●

Se ti interessa la bibliografia, puoi contattare gli autori o la redazione