In verticale, dove si ottimizza lo spazio e la resa aumenta, anche la tecnologia Led sta migliorando

Luce, migliorare l'efficienza nelle vertical farm

di **Luigi Giuseppe Duri**, Dipartimento di scienze agrarie, alimenti, risorse naturali e ingegneria - Università degli Studi di Foggia

A cura della sezione ortoflorovivaismo

Nel 2024 la produzione di ortaggi freschi ha fatto registrare un aumento del 3.8%, con un incremento medio del prezzo dei prodotti del 2,9% (Istat 2025). La quota maggiore di tale produzione proviene da coltivazioni di pieno campo, ma le colture protette rappresentano un asse strategico dell'orticoltura nazionale, garantendo una produzione continua con una qualità standardizzata.

Negli ultimi anni il ***vertical farming*** ha attirato un interesse sempre maggiore, in quanto consente di migliorare l'efficienza d'uso delle superfici coltivate grazie alla disposizione verticale di più strati di coltivazione. L'agricoltura verticale è indicata soprattutto per specie a ciclo breve, di dimensioni contenute e capaci di adattarsi a densità di impianto elevate. Attualmente, si posiziona in nicchie di mercato di alta qualità e valore aggiunto e in progetti di riqualificazione urbana per recuperare aree dismesse e creare spazi produttivi che generano anche valore sociale. Il ***vertical farming*** in ambiente controllato, in camere di crescita o vere e proprie ***plant factory***, offre produzioni continue con una resa più elevate rispetto alle tecniche convenzionali ma con costi energetici maggiori, in particolare per l'illuminazione artificiale.

In orticoltura protetta, la produttività e l'efficienza energetica possono essere sensibilmente aumentate attraverso l'integrazione di sistemi di coltivazione verticale, concepiti per sfruttare al meglio lo spazio disponibile nelle serre. Tuttavia, l'ombreggiamento dei piani inferiori dei ***layout*** verticali risulta un limite che ne riduce l'efficienza. Infatti, la luce rappresenta un fattore essenziale per lo sviluppo e l'accrescimento delle piante e garantire un'illuminazione adeguata costituisce una delle sfide principali nella realizzazione di sistemi produttivi efficienti in agricoltura controllata, soprattutto ***indoor***.

Negli ultimi vent'anni, la tecnologia Led (***light emitting diodes***, diodi a emissione luminosa) ha determinato notevoli avanzamenti in questo campo. Rispetto alle tradizionali fonti di illuminazione artificiale, i Led offrono una più elevata efficienza energetica e una ridotta dispersione di calore, con conseguente maggiore flessibilità nella disposizione delle lampade (anche in prossimità della coltura), e una precisa regolazione di intensità e spettro luminoso, che consente la realizzazione di ricette luminose basate sulle esigenze specifiche delle diverse colture in funzione anche delle fasi di crescita.

Il progetto e le colture studiate

Smart-Light - "***Smart systems for improving artificial light use efficiency in controlled environment agriculture"*** (coordinatore nazionale professoressa Roberta Paradiso, Università degli Studi di Napoli Federico II) è un progetto finanziato dall'Unione europea - Next Generation Eu, nell'ambito dei Progetti di ricerca di rilevante interesse nazionale del Piano nazionale di ripresa e resilienza del 2022 (Prin 2022 Pnrr). Obiettivo principale è identificare strategie per migliorare la sostenibilità della produzione di ortaggi coltivati verticalmente in serra e in ***indoor***, ottimizzando l'efficienza d'uso dei Led come fonte di luce integrativa o unica.

Le colture modello studiate, scelte in base al diverso fabbisogno luminoso, sono lattuga, cavolo nero, bietola, pomodoro, patata e micro-ortaggi di crescione. Le attività di ricerca sono condotte presso le strutture del Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II, il Dipartimento di scienze agrarie, forestali e alimentari dell'Università di Torino (responsabile Roberta Bulgari) e l'Istituto per il sistema produzione animale in ambiente mediterraneo - Ispaam del Consiglio nazionale delle ricerche (Cnr) (responsabile Simonetta Caira).

La ricerca si concentra su due aspetti principali (***figura 1***):

- la disposizione verticale delle piante in serra per migliorare l'efficienza d'uso del suolo, utilizzando l'illuminazione supplementare con lo scopo di compensare la radiazione naturale ridotta dai piani di coltivazione, per garantire il soddisfacimento dei fabbisogni luminosi delle diverse colture;
- la modulazione dello spettro luminoso in sistemi ***indoor*** per aumentare la produttività e contenere l'impatto ambientale, con una conseguente riduzione dei costi energetici.

Entrambi i tipi di impianto, in serra e ***indoor***, utilizzano Led con emissione nelle lunghezze d'onda del rosso (R) e del blu (B), che sono le

Figura 1 SCHEMA DEL PROGETTO PRIN 2022 PNRR SMART-LIGHT

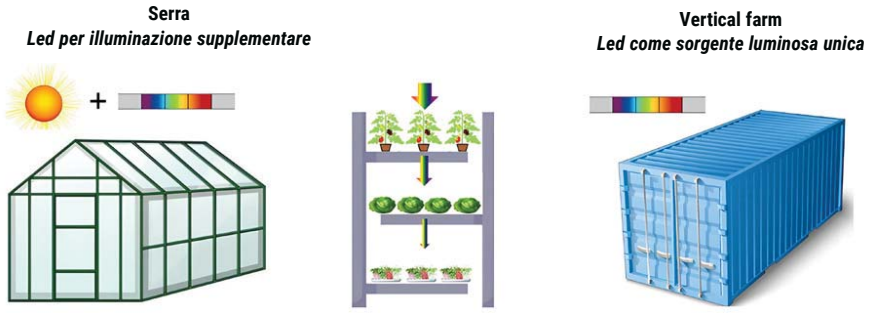
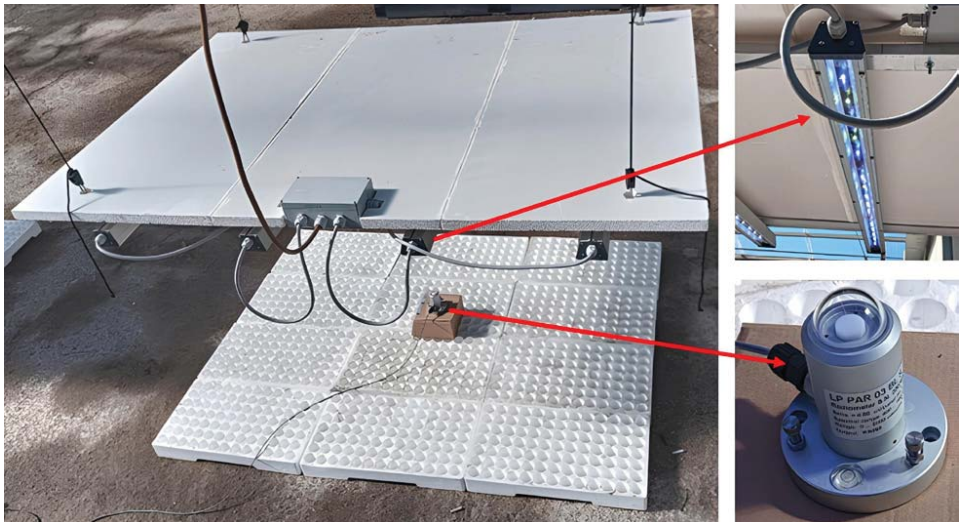


Figura 2 UNITÀ DI COLTIVAZIONE COLLEGATA A SENSORE PAR PER MONITORARE LE VARIAZIONI DELL'INTENSITÀ LUMINOSA DOVUTE ALL'OMBREGGIAMENTO



Unità equipaggiata con barre Led a quattro canali: bianco 5000K, R 660 nm, B 450 nm, FR 730 nm. impianto Meg Phyto 4 Led system prodotto da Meg Science srl, Milano.

più efficienti nel promuovere la fotosintesi e l'accumulo di biomassa, stimolano l'allungamento dei fusti e l'espansione delle foglie, e influenzano il metabolismo primario e secondario delle piante.

Diversi studi hanno evidenziato che la combinazione di luce rossa e blu determina i migliori risultati per molte colture, ottimizzando sia la crescita vegetale che il consumo energetico. Poiché l'intensità luminosa, lo spettro e la durata della luce incidono non solo sulla produttività, ma anche sul contenuto nutrizionale e sulla sintesi di composti bioattivi con proprietà antiossidanti, il progetto adotta un approccio multidisciplinare, per valutare oltre ai parametri agronomici e fisiologici anche aspetti metabolici e qualitativi. Infatti, per fornire un'analisi dettagliata del legame multidimensionale tra il genoma e il fenotipo delle piante coltivate sono adottati approcci multi-omici, che combinano genomica funzionale e trascrittomica con altre scienze -omiche (come proteomica e metabolomica). Queste ultime discipline utilizzano tecnologie di analisi capaci di fornire ampi flussi di dati utili per studiare l'insieme completo di componenti biologiche (come geni, Rna proteine, metaboliti). L'approccio multi-omico, pertanto, è uno strumento straordinariamente utile per decifrare i principali ***target*** regolatori delle risposte delle piante ai fattori di ***stress*** biotico. L'interpolazione di questi dati amplia quanto già presente in letteratura per identificare geni chiave potenzialmente legati ad aspetti specifici riconducibili all'impiego di illuminazione suplementare e i loro ***pathway*** metabolici.

Cosa è stato fatto

Per testare il ***layout*** verticale proposto per applicazioni in serra, presso il Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli, sono stati condotti esperimenti preliminari per valutare le risposte specifiche di colture modello.

Le piante sono state collocate in unità di coltivazione, che simulavano l'effetto dei ripiani di coltivazione verticale, ciascuno ombreggiato del ripiano superiore ed equipaggiato con illuminazione integrativa Led con rapporto R:B 2:1 (***figura 2***). Ciascuna unità era munita di un sensore di Par (***photosynthetically active radiation***, radiazione fotosinteticamente attiva), per monitorare l'intensità luminosa, e un ***software*** in grado di integrare in tempo reale la luce naturale ridotta dall'ombreggiamento del ripiano superiore, in base ai valori rilevati sotto i pannelli e nel controllo non ombreggiato. L'illuminazione integrativa era somministrata fino ad una intensità massima compresa tra 250 e 400 µmol m^{-2} s^{-1}, in funzione della coltura, per garantire un adeguato integrale luminoso giornaliero (Dli). Contemporaneamente, piante controllo erano coltivate in pieno sole.

Nel corso del progetto, all'interno della serra è stato condotto anche uno studio di ***Sunlight Ray Trace Simulation***, finalizzato a studiare le variazioni della luce naturale in base ai movimenti del sole durante il giorno e nel corso delle stagioni, anche in funzione dell'architettura della serra, per prevedere gli effetti a livello colturale in termini di ombreggiamento. Inoltre, l'efficienza complessiva e la sostenibilità delle strategie proposte su scala commerciale sono valutate attraverso un'analisi economica dei costi di realizzazione e di esercizio e dei benefici in termini di valore delle produzioni.

Basandoci su osservazioni biometriche e sulle risposte fisiologiche delle colture oggetto di studio (***figura 3***), è possibile affermare che in patata, caratterizzata da un elevato fabbisogno luminoso, le piante hanno risposto meglio al trattamento con luce integrativa Led rispetto al controllo (***figura 3D***), sia in termini di fotosintesi netta (parametro che permette di valutare l'efficienza di conversione dell'energia luminosa in biomassa), che di resa in tuberi. Inoltre, è rilevante sottolineare che nei tuberi ottenuti da piante coltivate sotto luce Led integrativa

è stata osservata una riduzione dei glicoalcaloidi, composti prodotti dalle solanacee come meccanismo di difesa a condizioni di stress, che a concentrazioni elevate possono essere tossici per l'uomo. Pertanto, è verosimile ipotizzare che la luce rossa e blu somministrata in un Dli moderato permetta di ridurne l'accumulo nei tuberi.

Al contrario, il pomodoro (anche essa coltura ad alto fabbisogno luminoso), la lattuga e il cavolo nero (piante con un fabbisogno luminoso più modesto) hanno prodotto maggiore biomassa edibile in condizioni di luce naturale (controllo) rispetto alle piante trattate con luce integrativa Led (***figure 3E, 3A, 3B***, rispettivamente per pomodoro, lattuga e cavolo nero). Discorso a sé è quello della bietola, che non ha mostrato variazioni significative di biomassa legate alle condizioni di illuminazione (***figura 3C***). È interessante notare che per i principali parametri fisiologici analizzati non sono emerse differenze tra controllo e trattamento Led nelle colture da foglia.

Nel complesso, i dati raccolti sulle specie prese in esame mostrano risposte specie-specifiche alla quantità e qualità della luce. Dunque, negli impianti verticali in serra è fondamentale analizzare il comportamento delle colture per ottimizzare l'efficienza d'uso della luce e ridurre i costi dell'illuminazione artificiale. Infatti, mentre le piante di pomodoro, lattuga e cavolo nero hanno risposto meglio alla luce naturale, quelle di patata hanno tratto vantaggio dalla luce Led, con l'ulteriore beneficio della riduzione di composti indesiderati.

L'approccio multidisciplinare, che integra valutazioni agronomiche, fisiologiche e metaboliche, rappresenta uno strumento avanzato per interpretare le risposte delle piante e guidare l'adozione di pratiche colturali più efficaci. In prospettiva, la combinazione tra colture e innovazioni tecnologiche potrà contribuire a rendere l'orticoltura italiana più resiliente, efficiente e capace di rispondere alla crescente domanda di alimenti sani e di qualità.

Per scaricare la bibliografia completa inquadra il codice qr

Figura 3 CONFRONTO TRA PIANTE CONTROLLO (SINISTRA) E PIANTE ALLEVATE NELL'UNITÀ DI COLTIVAZIONE CON ILLUMINAZIONE INTEGRATIVA LED (DESTRA) DELLE COLTURE MODELLO

Rispettivamente A) Lattuga cv. Grand Rapids, B) Cavolo nero cv. Nero Palmizio di Toscana, C) Bietola cv. Verde liscia (da taglio), D) Patata cv. Colomba ed E) Pomodoro cv. San Marzano Nano.