

# La sfida tecnologica di allevare piante al chiuso

LUIGI D'AQUINO

ENEA – Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile

*Allevare piante al chiuso è una sfida tecnologica non banale, come sa chiunque allevi piante in ambiente domestico ma anche chi le allevi in laboratorio o per fini produttivi. Il panorama agronomico offre diversi approcci innovativi alla problematica, approcci che si differenziano per il substrato utilizzato per allevare gli apparati radicali e, di conseguenza, per il modo di somministrare acqua e nutrienti alle piante. Questi sistemi differiscono notevolmente per sostenibilità ecologica, fabbisogni energetici, resa produttiva e qualità del prodotto. Viene fornito un inquadramento generale della problematica e descritto un nuovo Microcosmo per allevare piante, sviluppato in sinergia dalla ricerca pubblica e privata italiana.*

## La sfida

L'allevamento di piante al chiuso è un argomento molto articolato e tendenzialmente sfuggente, in quanto spazia dalla coltivazione di piante in casa alle fabbriche verticali per la produzione di verdure in città fino alle coltivazioni extraterrestri per sostenere gli astronauti, passando anche attraverso le coltivazioni per fini di ricerca nei laboratori scientifici. Allevare piante al chiuso è, infatti, una pratica corrente nei laboratori di biologia vegetale, nei quali le coltivazioni avvengono in strutture chiuse (armadi climatizzati, camere di crescita, fitotroni) che condizionano l'ambiente che circonda il vegetale con livelli di complessità e precisione vari. Ma allevare piante al chiuso è una pratica assai diffusa, tant'è che è estremamente comune rinvenire piante allevate in vaso negli ambienti stabilmente frequentati dall'uomo, siano essi domestici o lavorativi, sia per fini alimentari sia per fini ornamentali, includendo tra i fini "ornamentali" anche quelli legati

all'effetto del verde sulla psiche umana, oggetto di interessanti riscontri sperimentali (Berman *et al.* 2012; Bratman *et al.* 2015; Chang e Chen, 2005; Lohr *et al.*, 1996; Ulrich, 1984; Ulrich *et al.*, 1991). La coltivazione di piante in ambienti extra coltivo, di cui l'allevamento in vaso è stato finora il presupposto, è anche una pratica molto antica, certamente diffusa nei nostri ambienti già in epoca romana, come testimonia il ritrovamento nell'antica Pompei di ollette in terracotta con fori di drenaggio destinate all'allevamento di piante (AA. VV., 2015), e certamente anche altre aree geografiche conoscono da secoli la coltivazione in vaso, come indica, ad esempio, la millenaria coltivazione di alberelli in vaso (bonsai) in Estremo Oriente.

Di recente, l'allevamento di piante al chiuso è divenuto argomento di crescente interesse per l'opinione pubblica parallelamente all'intensificarsi dei fenomeni di inurbamento, espansione edilizia e conurbazione su scala planetaria. La quota parte della popolazione mondiale che

abbandona le aree rurali per concentrarsi nelle città, nelle metropoli e nelle megalopoli è, infatti, in crescita e questo comporta l'espansione delle aree edificate sia all'interno delle zone urbane, nelle quali le aree agricole intercluse vanno scomparendo, sia tra le aree urbane che tendono a confluire a scapito delle aree agricole poste tra esse: nel 2008, la popolazione urbanizzata nel mondo ha superato numericamente quella rurale e ci si aspetta che nel 2030 ben il 60% della popolazione mondiale vivrà in agglomerati urbani, almeno in parte in condizioni di povertà e di incertezza alimentare (FAO. Food for the cities. [www.fao.org/fcit](http://www.fao.org/fcit)). L'inurbamento della popolazione amplifica il distacco geografico tra luoghi di produzione, luoghi di trasformazione e luoghi di consumo delle derrate alimentari, imponendo movimenti di merci sul territorio che non di rado appaiono totalmente illogici e che hanno sempre un notevole impatto sull'ambiente. La distanza fisica tra luoghi di produzione delle derrate e luoghi di consumo genera, peraltro, anche una "disconnessione culturale" tra consumatore e produttore che, nel tempo, è andata assumendo connotati di vera e propria diffidenza, da una parte, e frustrazione, dall'altra. Allevare piante al chiuso in ambienti antropici può concorrere ad alleviare i danni dell'inurbamento: se allevare piante al chiuso resta semplicemente indispensabile nei laboratori di ricerca e negli ambienti estremi, in contesti territoriali soggetti alla scomparsa dei terreni agricoli, quali quelli urbani, la coltivazione al chiuso può, infatti, a) restituire territorio alla produzione di cibo, b) consentire di produrre cibo negli stessi luoghi in cui esso verrà consumato, c) rendere gli ambienti edificati psicologicamente meno aberranti per l'essere umano, d) concorrere a purificare l'aria in ambienti in cui questa è spesso inquinata da sostanze variamente tossiche per l'uomo, e) attivare nuove filiere produttive capaci di produrre reddito e generare nuovi posti di lavoro.

## Le tecnologie

In questo panorama si inserisce il fiorire di proposte per portare la produzione vegetale entro gli ambienti antropici, dai centri commerciali

ai capannoni industriali dismessi, dalle stazioni sotterranee ai siti espositivi. Spesso, queste proposte appaiono più come una rivisitazione in salsa ingegneristica del rapporto bucolico di stampo virgiliano tra uomo e natura che non come una risposta agroecologicamente corretta alle tumultuose trasformazioni della società umana: allevare con successo piante al chiuso, infatti, è un obiettivo tecnologicamente estremamente complesso, in quanto quelli al chiuso sono ambienti generalmente inadatti alla crescita delle piante, a causa della mancanza o dell'inadeguatezza di uno o più dei fattori fondamentali per la crescita delle piante stesse, quali substrato radicale, luce, temperatura, acqua, flusso d'aria ecc. ecc. (d'Aquino *et al.* 2018). Stanti le loro caratteristiche costruttive, gli ambienti al chiuso possono essere considerati come "ambienti non convenzionali per la crescita delle piante", in quanto le piante si sono evolute per milioni di anni in ambienti all'aperto laddove gli ambienti al chiuso sono il prodotto recente della tecnologia umana e sono progettati per soddisfare esigenze umane e non vegetali. Un tipo particolare di ambienti al chiuso sono, poi, quelli estremi, compresi quelli extraterrestri, in cui la possibilità di coltivare piante in pieno campo, ovviamente, non è data. La complessità della problematica è tale che spesso si assiste alla resa incondizionata del progettista dinanzi alle



Fig. 1 – Simulacri e immagini di piante a riprodurre un ambiente rilassante per la sosta dei passeggeri nell'aeroporto di Francoforte in una fotografia scattata nel 2019.

difficoltà di gestione delle piante in ambienti pensati per scopi diversi (Figura 1).

Di conseguenza, negli ultimi anni si sono intensificati gli sforzi per mettere a punto sistemi di coltivazione al chiuso che consentano di ottenere alte rese in biomassa svincolando la produzione vegetale dal fabbisogno di terreno e dai cicli delle stagioni (si veda, ad esempio, Goto, 2012).

Allo stato attuale, si hanno tre grandi approcci alle coltivazioni al chiuso che si differenziano sulla base del tipo di substrato adottato per la crescita delle radici, potendosi distinguere coltivazioni:

- A. Su substrati convenzionali, cioè con gli apparati radicali che crescono in terreni agrari, torbe, terricciati, composte o loro miscele.
- B. Idroponiche, cioè con gli apparati radicali perennemente immersi in soluzioni acquose oppure alloggiati in substrati inerti e periodicamente immersi in soluzioni acquose contenenti sostanze nutritive (Jones, 1982).
- C. Aeroponiche, cioè con gli apparati radicali esposti all'aria e periodicamente irrorati con soluzioni acquose nebulizzate contenenti sostanze nutritive (Peterson e Kruger, 1988).

## Il Microcosmo ENEA-FOS

La problematica dell'allevamento delle piante al chiuso è stata affrontata, in una sinergia pubblico-privato, da ENEA e da FOS S.p.A. con un approccio innovativo che ha condotto allo sviluppo di un *Microcosmo per allevare piante sotto condizionamento biotico e abiotico* di nuova concezione, di seguito indicato semplicemente come "Microcosmo" (d'Aquino *et al.*, 2014; 2015, 2018). Il Microcosmo, tutelato da brevetto internazionale, è un "simulatore" di campo in cui l'apparato radicale delle piante è alloggiato in substrato convenzionale, progettato per allevare le piante stesse in ambiente confinato e in condizioni ambientali controllate ma riproducendo l'ecosistema che si realizza attorno ad esse in un vero campo coltivato (Figura 2).

L'apparecchiatura è modulare (Figura 3): il



Fig. 2 – Veduta di insieme di due prototipi di Microcosmo con coltivazione di Basilico per fini di ricerca scientifica presso i Laboratori del Centro di Ricerche ENEA di Portici (Napoli).

cuore è costituito dall'insieme di una camera destinata all'allevamento della parte aerea delle piante (camera epigea) e di una destinata all'allevamento della parte radicale (camera ipogea); le due camere sono isolate l'una rispetto all'altra, sono accessibili indipendentemente e il controllo dei parametri ambientali e dello stato delle piante può avvenire in modo ergonomico in qualunque punto delle due aree, riducendo al minimo lo stress per le piante stesse; i parametri ambientali nelle camere sono gestiti e controllati indipendentemente e gli scambi gassosi tra esse avvengono solo attraverso la superficie del substrato in cui crescono le radici, come avviene in natura. Il sistema consente di controllare, anche da remoto, i principali fattori ambientali che agiscono sulla crescita e sullo sviluppo dei vegetali, compresa la somministrazione di luce, e consente di modificare la gamma di parametri ambientali controllati in funzione di particolari esigenze dell'operatore.

Le prove di coltivazione finora condotte con varie specie vegetali hanno confermato che

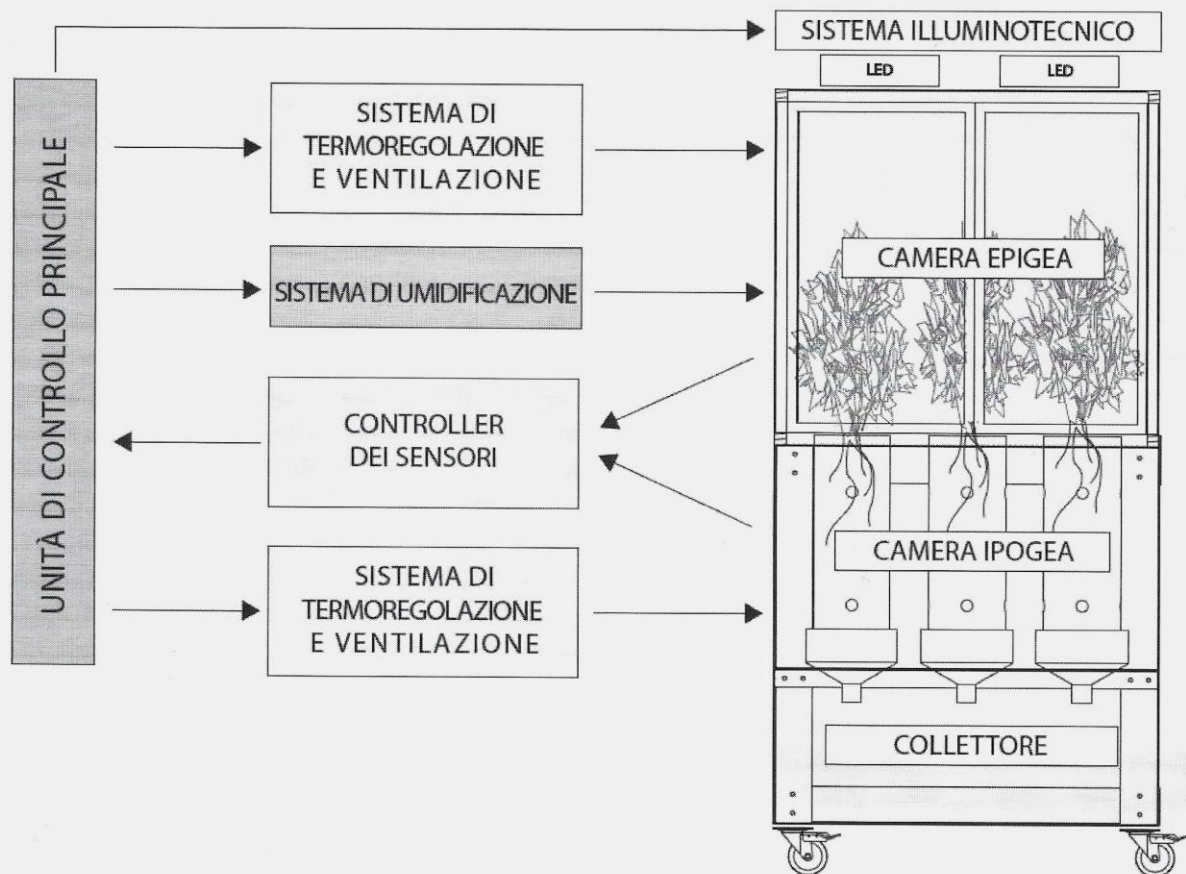


Fig. 3 – Architettura generale del Microcosmo (elaborazione FOS S.p.A.).

la particolare architettura delle due camere e quella degli alloggiamenti per la parte radicale consentono di allevare piante con forme biologiche diverse, sia erbacee sia legnose, e di effettuare cicli di allevamento anche molto duraturi nel tempo ottenendo crescite fenotipicamente e fenologicamente normali abbinate a elevate rese in biomassa e in un ambiente scarsamente induttivo rispetto alle problematiche fitosanitarie. Le rese in biomassa variano in funzione della durata del ciclo di coltivazione, dell'altezza della colonna di substrato, delle condizioni termiche e del termoperiodo nelle due camere, della qualità spettrale della luce, dell'intensità luminosa (intesa come densità di flusso fotonico fotosinteticamente attivo) e del fotoperiodo, del livello di irrigazione e del tipo di concimazione, oltre che, ovviamente, del germoplasma impiegato. Prove di coltivazione di Patata (*Solanum tuberosum* L.) nelle condizioni descritte in Paradiso *et al.* (2018) hanno consentito di ottenere fino a 270 gram-

mi di peso fresco di tuberi per pianta sotto luce contenente solo le componenti blu e rossa (Figure 4-5) mentre prove di coltivazione di Basilico (*Ocimum basilicum* L.) sotto diverse condizioni spettrali hanno consentito di ottenere sotto luce bianca fino a 300 grammi di peso fresco di parte aerea per cilindro (d'Aquino, non pubblicato) (Figura 6).

### I fabbisogni energetici e la sostenibilità di processo

Elevati fabbisogni energetici e scarsa sostenibilità di processo sono percepiti dai potenziali utenti e dal largo pubblico come fattori notevolmente limitanti per la diffusione della coltivazione di piante al chiuso, in aggiunta alla difficoltà di coltivazione delle piante in ambienti non naturali. Analisi dettagliate di confronto tra i vari sistemi di coltivazione al chiuso (su substrato convenzionale, in idroponica e in ae-



Fig. 4 – Piante di Patata in allevamento in Microcosmo.

roponica) non sono ancora disponibili, probabilmente a causa del fatto che le coltivazioni al chiuso, indipendentemente dall'approccio tecnologico su cui si basano, sono ancora poco diffuse nel mondo, ma certamente anche a causa del fatto che l'accesso ai dati tecnico-economici di soggetti imprenditoriali privati resta impervio e, quando questi dati sono divulgati, restano comunque di dubbia validazione. Ciononostante, resta evidente che i tre approcci differiscono marcatamente tra loro rispetto a:

- a. Costo di allestimento degli impianti.
- b. Facilità di gestione degli impianti.
- c. Consumo energetico.
- d. Qualità e quantità di fattori della produzione immessi nel ciclo produttivo.
- e. Resa in biomassa per unità di superficie e per unità di tempo.
- f. Qualità della biomassa prodotta.
- g. Suscettibilità delle piante ad attacchi di patogeni e parassiti.
- h. Quantità di scarti e rifiuti prodotti.
- i. Possibilità di reintegrare scarti e rifiuti nel ciclo della materia.

Se la tecnologia aeroponica resta poco diffusa, confinata prevalentemente a esperienze di nicchia, consolidate esperienze di campo indi-

cano invece chiaramente che i sistemi basati su approcci di tipo idroponico possono essere molto performanti rispetto alla resa in biomassa per unità di superficie e per unità di tempo,

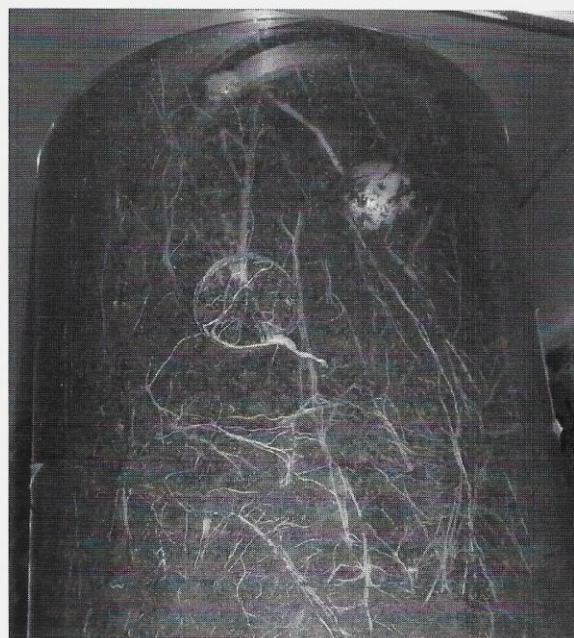


Fig. 5 – Particolare dell'apparato radicale recanti tuberi delle piante in allevamento in Microcosmo di cui alla Figura precedente.



Fig. 6 – Piante di Basilico in coltivazione nel Microcosmo per fini di ricerca scientifica sotto luce bianca.

anche in confronto a coltivazioni su terra. Tali sistemi, però, prevedono impianti costosi e di non semplice gestione, normalmente poco o per nulla adattabili a piante dalle architetture, dalle dimensioni e dalle forme biologiche differenti. Essi richiedono livelli di purezza dell'acqua somministrata alle piante molto elevati, che possono imporre processi di trattamento delle acque a monte, e anche la purezza dei concimi solubilizzati in acqua deve rispondere a standard elevati per prevenire danni alle piante. Inoltre, i sistemi di tipo idroponico creano spesso condizioni microambientali che rendono le coltivazioni suscettibili a problematiche fitosanitarie. Infine, essi generano significative quantità di scarti e rifiuti che non possono essere facilmente reintegrati nel ciclo della materia.

Il confronto sul piano dei consumi energetici dei diversi approcci appare arduo, in quanto andrebbe fatto su impianti di scala simile, difficili da reperire, inoltre, dovrebbe tenere conto del fatto che la purificazione dell'acqua, l'ottenimento di concimi a elevata purezza e l'eventuale trattamento delle soluzioni nutritive per il loro eventuale riutilizzo sono processi energeticamente dispendiosi, oltre che tecnologicamente complessi (Rufi-Salis *et al.*, 2020). Per non parlare dello smaltimento dei supporti inerti per le radici, alcuni dei quali non sono riciclabili.

Sul fronte della qualità della biomassa prodotta, il confronto appare particolarmente complesso, in quanto esso coinvolge aspetti organolettici e nutrizionali ma anche aspetti tos-

sicologici: i sistemi idroponici e aeroponici, generando condizioni colturali potenzialmente "induttive" a livello fitosanitario, possono imporre all'operatore un maggior uso di prodotti fitosanitari, che impatta sulla qualità tossicologica del prodotto vegetale oltre ad aggravare il bilancio economico ed energetico della coltivazione. A questo proposito, non è irrilevante osservare che i sistemi idroponici e aeroponici non consentono di sfruttare quella sinergia che si instaura invece tra apparati radicali e microbioma tellurico nelle piante allevate su substrati convenzionali, sinergia che migliora l'assorbimento di acqua e nutrienti da parte delle radici, le protegge dagli attacchi dei patogeni tellurici e aiuta l'apparato fogliare a difendersi dai patogeni della parte aerea.

La tecnologia del Microcosmo può consentire di ottenere rese produttive meno eclatanti se confrontata con quella dei sistemi idroponici, ma si adatta a specie vegetali dall'architettura e dalla forma biologica diverse. I consumi energetici diretti del Microcosmo sono legati essenzialmente al fabbisogno di energia elettrica necessaria ad alimentare il sistema di termoventilazione, di illuminazione, di umidificazione e di controllo attivo e passivo dei parametri ambientali. Tali consumi sono largamente dipendenti dalla differenza di temperatura tra l'ambiente che ospita il Microcosmo e i valori di temperatura nelle camere epigea e ipogea, dall'intensità luminosa, dal fotoperiodo, dall'intensità del flusso d'aria nelle due camere, dal livello di umidità relativa nella camera epigea, dalla durata del ciclo di coltivazione. In un Microcosmo con camere epigea ed ipogea di dimensioni standard, adatto per piante erbacee (1,0x0,7x1,0 e 1,0x0,7x0,6 m, rispettivamente), ad esempio, con luce bianca a 250  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  a livello del pianale epigeo, temperatura epigea ed ipogea rispettivamente di 26°C e 22°C, posto in ambiente esterno termostato a 24°C e con UR impostata di 50% l'assorbimento è inferiore a 1 KW di utenza elettrica.

Ovviamente, anche per questa tecnologia vanno considerati i fabbisogni energetici legati alla somministrazione dei fattori della produzione vegetale. Innanzitutto, va considerato che l'uso del substrato tradizionale migliora il profilo ambientale della tecnologia in quanto,

mentre la rigenerazione dei corpi idrici è un'operazione complessa, non sempre efficace e non esente, a sua volta, da costi energetici, i terreni agrari e i terricci sono indefinitamente riutilizzabili, previo arieggiamento e messa a riposo, analogamente a quanto avviene nei sistemi a campo aperto. In secondo luogo, va tenuto in conto che l'acqua impiegata per la coltivazione non richiede particolari requisiti di purezza e viene somministrata attraverso il substrato: la colonna di substrato è inizialmente caricata con acqua di fonte comune fino alla capacità di campo, in modo da assestare naturalmente la colonna stessa e costituire una riserva di acqua che le radici andranno attivamente a cercarsi esplorando la colonna, secondo i fabbisogni propri della pianta e anche beneficiando di leggere situazioni di stress idrico. Usando terricciati commerciali, una colonna di circa 60 cm di altezza può essere assestata e precaricata con circa 3-6 litri di acqua di fonte, in funzione del livello di idratazione iniziale del terriccio; a caricamento avvenuto, il consumo di acqua di fonte dipenderà dalla specie coltivata, dalla durata del ciclo di coltivazione, dalle condizioni termo-igrometriche impostate, dal livello di umidità dell'aria esterna alle camere ma anche dal livello di stress idrico che l'operatore può decidere di somministrare alle piante per migliorarne la resistenza e la qualità. In genere, pochi litri di acqua in aggiunta a quella impiegata per il caricamento della colonna sono sufficienti per portare coltivazioni di Basilico dalla fase cotiledonare fino a seme. In terzo luogo, va considerato che i terreni agrari o i terricci hanno una loro dotazione di base di elementi nutritivi, peraltro integrabile con aggiunte di concimi di fondo minerali, organici o organo-minerali a basso costo e spesso totalmente naturali (letame), pertanto l'ulteriore somministrazione di concimi durante la fase di coltivazione può essere molto ridotta o anche nulla, a seconda della dotazione iniziale del substrato, della specie vegetale, della durata del ciclo di coltivazione. Nel caso, è possibile somministrare in copertura anche solo concimi semplici comuni, con livello di purezza non particolarmente alto, la cui produzione industriale ha minori costi energetici e ambientali. Infine, va considerato

che regolando le condizioni microambientali a livello delle due camere e variando il livello di idratazione del substrato è possibile creare intorno alle piante condizioni non induttive per il complesso quadro dei patogeni e parassiti che normalmente attaccano le piante stesse a livello aereo e radicale, e questo consente potenzialmente di azzerare la somministrazione di prodotti fitosanitari, con notevole risparmio economico ed energetico, con notevole miglioramento della qualità del prodotto finale e prevenendo rischi per la sicurezza del coltivatore e del consumatore. In questo equilibrio tra le piante e i loro patogeni e parassiti, svolge, poi, un ruolo non secondario anche il microbioma che inevitabilmente si instaura a livello del substrato, che può essere fatto evolvere in direzione favorevole arricchendo il substrato stesso con sostanza organica e gestendo oculatamente la somministrazione di acqua al substrato.

## Il fattore luce

Analogamente a quanto avvenuto per la tecnica idroponica, messa a punto inizialmente per indagare sperimentalmente i rapporti tra piante e nutrienti, anche la tecnologia del Microcosmo nasce per fini di ricerca, con l'obiettivo di condurre esperimenti inerenti l'interazione tra piante e ambiente circostante con un livello di complessità tale da consentire un più agevole trasferimento dei risultati della ricerca alla pratica di campo. Tra i fattori ambientali, la luce (declinata come spettro delle lunghezze d'onda, intensità della radiazione e fotoperiodo) intercetta particolarmente l'interesse dei ricercatori in quanto è tra quelli che maggiormente incidono sulla crescita e sullo sviluppo vegetale. L'interazione tra piante e luce è a tal punto complessa dall'essere ben lungi dall'essere completamente decodificata e, pertanto, non si può derubricare al fatto che le piante fotosintetizzano utilizzando luce di lunghezza d'onda all'incirca tra 400 e 700 nm, in quanto, oltre alle clorofille e agli altri pigmenti fotosintetici, le piante presentano numerosi fotosensori, dei quali quelli finora scoperti sono sensibili alle lunghezze d'onda dell'ultravioletto A

e B, del blu, del verde, del rosso e del rosso lontano, che consentono alle piante di percepire intensità, qualità, direzione e durata della luce. Nonostante sia disponibile un'ampia letteratura sull'interazione tra piante e luce, allo stato, non sono disponibili protocolli di illuminazione di precisione che garantiscano una sicura efficacia in termini di produzione di biomassa e di qualità nutrizionale delle piante allevate: i risultati riportati in letteratura appaiono molto diversi, spesso discordanti, lasciando chiaramente emergere come gli effetti dell'applicazione di luce a lunghezza d'onda selezionata possa influenzare positivamente la produzione vegetale, sia a livello qualitativo sia a livello quantitativo, ma che gli effetti non dipendono solo dalle lunghezze d'onda prescelte e dal rapporto tra esse ma anche dagli allestimenti sperimentali, dai protocolli di dosaggio e di somministrazione, dal germoplasma vegetale (finanche al livello varietale), dal parametro di valutazione degli effetti prescelto (si vedano, ad esempio, Darko *et al.*, 2018; Folta e Childers, 2008; Morrow, 2008; Olle e Viršilė, 2013; Viršilė *et al.*, 2017).

In questo contesto, sarebbe molto utile impiegare allestimenti sperimentali che rappresentino meglio delle comuni attrezzature da laboratorio la complessità ambientale in cui le piante vivono. In generale, infatti, gli effetti dei fattori ambientali sulla crescita delle piante non dipendono solo dalla quantità del fattore somministrato e dal modo in cui esso viene somministrato ma dipendono anche largamente dalla possibilità della pianta di esprimere appieno sul piano fenotipico il suo potenziale genotipico, ad esempio dalla possibilità di accrescere senza limitazione e secondo un'architettura naturale sia la parte aerea sia quella radicale. Un apparato strumentale che costituisca un più realistico ambiente di crescita per le piante, quindi, consente di valutare meglio gli effetti del fattore somministrato e, in prospettiva, di sviluppare protocolli di coltivazione di più facile applicazione in campo.

L'invenzione del sistema illuminotecnico basato su diodi a emissione di luce (*light emitting diodes*, LED) risale agli anni Sessanta del secolo scorso ma l'uso dei LED in agricoltura è

iniziato solo a partire dalla metà dei successivi anni Ottanta, allorché sono iniziati esperimenti finalizzati a verificare l'adeguatezza di tali sistemi di illuminazione per sostenere la coltivazione delle piante in stazioni extraterrestri. I sistemi di illuminazione basati su LED hanno rivoluzionato l'illuminazione artificiale delle piante in quanto:

- a) Sono molto più compatti di quelli tradizionali.
- b) Presentano un'efficienza fotonica molto più elevata.
- c) Emettono calore prevalentemente a livello della connessione del LED sulla scheda recante il circuito stampato, quindi dalla parte opposta rispetto alla copertura vegetale.
- d) Emettono meno calore rispetto alle lampade tradizionali.
- e) All'accensione, consentono di raggiungere rapidamente lo stato stazionario del flusso di energia radiante.
- f) Sono più facilmente integrabili nei sistemi di controllo digitale.
- g) Hanno una durata di vita superiore rispetto alle lampade tradizionali.
- h) Consentono di selezionare le lunghezze d'onda che si vogliono usare per irradiare le piante, oltre a potere somministrare anche luce bianca.
- i) Possono essere scelti in modo da evitare l'emissione di pericolose radiazioni nelle lunghezze d'onda dell'ultravioletto.
- j) Possono essere assemblati in sistemi puntiformi, la cui architettura può essere progettata in funzione delle specifiche esigenze della coltivazione.
- k) Sono componibili, quindi è possibile realizzare allestimenti con un gran numero di sorgenti luminose per unità di superficie emittente, cosa che consente di ottenere una maggiore uniformità di irraggiamento della copertura vegetale.

Conseguentemente, il Microcosmo ENEA-FOS è allestito con un sistema illuminotecnico a LED altamente performante dedicato, sviluppato da BECAR S.r.l. (Gruppo Beghelli), che offre la possibilità di modificare in continuo la qualità spettrale della luce emessa e l'intensità luminosa, oltre al fotoperiodo, e caratterizzato da elevata uniformità di distribu-



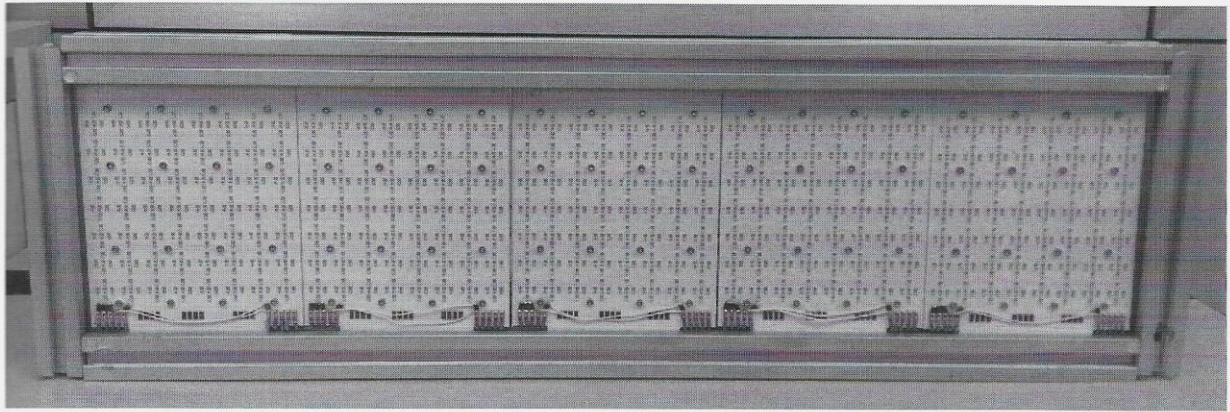


Fig. 7 – Lampade a LED ad alta prestazione sviluppata da BECAR S.r.l. per il Microcosmo ENEA-FOS.



Fig. 8 – Piante di Basilico in coltivazione nel Microcosmo per fini di ricerca scientifica sotto luce blu e rosso. Particolare della fioritura.

zione sul piano orizzontale (Figura 7).

Prove di allevamento in Microcosmo sotto luce di precisione emessa da lampade BECAR sono in corso presso i Laboratori del Centro di Ricerche ENEA di Portici per individuare qualità spettrali, intensità luminose e fotoperiodi adatti alla coltivazione al chiuso del Basilico (Figura 8).

## Conclusioni

In sintesi, il Microcosmo ENEA-FOS è un apparato per coltivare piante al chiuso che si basa sull'allevamento degli apparati radicali su

substrato convenzionale e che si differenzia dai comuni sistemi di allevamento di piante al chiuso per l'architettura a doppio stadio, il controllo indipendente dei parametri ambientali nei comparti aereo e radicale, il peculiare sistema di flussaggio dell'aria, la versatilità del sistema illuminotecnico, l'architettura colonnare dei contenitori per allevare le radici, il rapporto aero-radiale consentito alle piante, l'ergonomia generale, il controllo da remoto. Esso si propone come strumentazione per la sperimentazione avanzata in numerosi campi di ricerca (agroecologia, agronomia, chimica e biochimica del suolo, difesa fitosanitaria, ecofisiologia, ecologia chimica, ecologia tellurica, ecologia vegetale, ecotossicologia, fisiologia vegetale, microbiologia ambientale, parassitologia vegetale, patologia vegetale), ma la tecnologia che sta concettualmente alla base del funzionamento del Microcosmo può essere applicata anche per coltivare piante in ambienti al chiuso. Rispetto ai sistemi di tipo idroponico e aeroponico, la tecnologia del Microcosmo consente di allevare le piante riproducendo fedelmente le reali condizioni ambientali in cui le piante vivono ma presenta anche un profilo energetico complessivo molto favorevole, legato ai bassi consumi di energia elettrica, di acqua e di fertilizzanti, e potenzialmente nulli di prodotti fitosanitari. Pertanto, questa tecnologia di coltivazione al chiuso si propone come alternativa a quelle più note per fare fronte alla richiesta di prodotti vegetali di elevata qualità ottenuti mediante processi energeticamente ed ecologicamente sostenibili.

## Lecture

1. AA.VV. 2015. *Uomo e ambiente nel territorio vesuviano. Guida all'antiquarium di Boscoreale*. Ed. Flavius, Torre del Greco, p. 41. ISBN 88-88419-33-0.
2. BERMAN M.G., KROSS E., KRPAK K.M., ASKREN M.K., BURSON A., DELDIN P.J., KAPLAN S., SHERDELL L., GOTLIB I.H., JONIDES J. 2012. Interacting with nature improves cognition and affect for individuals with depression. *Journal of Affective Disorders* 140: 300-305.
3. BRATMAN G.N., DAILY G.C., LEVY B.J., GROSS J.J. 2015. The benefits of nature experience: Improved affect and cognition. *Landscape and Urban Planning* 138: 41-50.
4. CHANG C., CHEN P. 2005. Human Response to Window Views and Indoor Plants in the Workplace. *HortScience* 40: 1354-1359.
5. D'AQUINO L., LANZA B., ATRIGNA M., DE FILIPPO G., PANDOLFI G., GIANNOTTA G., PEDICINI A., MINARINI C. 2014. *Stress of plant systems*. Atti della Conferenza Internazionale NanotechItaly 2014, Venezia, Italia 26-28/11/2014, p. 75.
6. D'AQUINO L., LANZA B., PANDOLFI G., DE FILIPPO G., PEDICINI A., GENTILCORE R., ALLASIA G., MINARINI C. 2018. A new concept field simulator to grow plants in unconventional sites. Proceedings of the Joint AgroSpace-MELiSSA Workshop - Current and future ways to Closed Life Support Systems, Rome, Italy 16-18/05/2018, p. 162.
7. D'AQUINO L., MAGLIONE M.G., LANZA B., ATRIGNA M., DE FILIPPO G., PANDOLFI G., GIANNOTTA G., PEDICINI A., APRANO S., MINARINI C. 2015. Un microcosmo per l'allevamento di piante in condizioni controllate. *Energia Ambiente Innovazione - Speciale III-2015 ENEA per EXPO 2015*, 98-99.
8. DARKO E., HEYDARIZADEH P., SCHOEFS B., SABZALIAN M. R. 2018. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical transactions of the Royal Society B* 369:20130243.
9. FOLTA K.M., CHILDERS K.S. 2008. Light as a Growth Regulator: Controlling Plant Biology with Narrow-bandwidth Solid-state Lighting Systems. *HortScience* 43:1957-1964.
10. GOTO E. 2012. Plant Production in a Closed Plant Factory with Artificial Lighting. *Acta Horticulturae* 956:37-50.
11. JONES J.B. JR. 1982. Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies. *Journal of Plant Nutrition* 5:1003-1030.
12. LOHR V.I., PEARSON-MIMS C.H., GOODWIN G.K. 1996. Interior Plants May Improve Worker Productivity and Reduce Stress in a Windowless Environment. *Journal of Environmental Horticulture* 14: 97-100.
13. MORROW R.C. 2008. Led Lighting in Horticulture. *HortScience* 43:1947-1950.
14. OLLE M., VIRŠILĖ A. 2013. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agriculture and Food Science* 22:223-234.
15. PARADISO R., ARENA C., ROUPHAEL Y., D'AQUINO L., MAKRIKIS K., VITAGLIONE P., DE PASCALE S. 2018. *Growth, photosynthetic activity and tuber quality of two potato cultivars in controlled environment as affected by light source*. Plant Biosystems. 1-11.
16. PETERSON L.A., KRUGER R. 1988. An intermittent aeroponics system. *Crop Science* 28:712-713.
17. RUFÍ-SALÍS M., CALVO M.J., PETIT-BOIX A., VILLALBA G., GABARRELL X. 2020. Exploring nutrient recovery from hydroponics in urban agriculture: An environmental assessment. *Resources, Conservation and Recycling* 155:104683.
18. ULRICH R.S. 1984. View Through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science* 224: 420-421.
19. ULRICH R.S., SIMONS R.F., LOSITO B.D., FIORITO E., MILES M.A., ZELSON M. 1991. Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology* 11: 201-230.
20. VIRŠILĖ A., OLLE M., DUCHOVSKIS P. 2017. LED Lighting in Horticulture. In *Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting.*, Springer, Singapore, pp. 113-147.

Contatto autore: luigi.daquino@enea.it

Lavoro svolto nell'ambito del Progetto ISA-AC [Programma Operativo Nazionale "Imprese e Competitività" 2014-2020 FESR - F/050119/03/X32].