

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

**Progetto “Fully Automated Growth Chamber”
Sperimentazione e Validazione
Abstract**

Ricerca preliminare di laboratorio e di campo per l'analisi comparativa delle specie vegetali da considerare per la fase sperimentale; scelta di un numero limitato di specie (da 4 a 10) di specie vegetali da utilizzare per la sperimentazione.

La scelta per testare la validità del nuovo apparato per l'allevamento “controllato” è caduta sulle seguenti specie: *Arbutus unedo* L., *Myrtus communis* L., *Pinus pinea* L. e, in subordine, *Quercus ilex* L. e *Fagus sylvatica* L. e *Carpinus betulus* L., tutte specie della dendroflora italiana e, in particolare laziale, di grande importanza ambientale e commerciale. Si tratta, infatti, di piante che vengono prodotte in significative quantità nei vivai regionali e nazionali, sia per sostenere i vari programmi di rimboschimento sia per scopi ornamentali.

Il mirto (*Myrtus communis* L.) è un arbusto sempreverde tipico della flora mediterranea appartenente alla famiglia delle *Mirtaceae*. La coltivazione di questa pianta è stata incoraggiata dalla PAC (Politica Agricola Comune) europea come specie “alternativa” per le sue proprietà farmacologiche e medicinali. I semi del mirto sono dormienti e, pertanto, richiedono specifici trattamenti come prerequisito per ottenere una germinazione completa e omogenea. La germinabilità media si aggira intorno al 50-80%. Il pretrattamento necessario per rompere la dormienza prevede la conservazione del seme a 4°C per quattro mesi. Poi i semi sono lavati in acqua e scarificati per 15 minuti con H₂SO₄ al 96% e reimmersi per 24 ore in acqua distillata. Dopo questo trattamento i semi germinano in circa 20 giorni a 25 °C.

Il corbezzolo (*Arbutus unedo* L.) è un arbusto o un piccolo albero mediterraneo appartenente alla famiglia delle *Ericaceae*. La specie è molto apprezzata a livello ornamentale per i fiori e i suoi frutti eduli, ma è anche di notevole importanza per le opere di rimboschimento o rinaturalizzazione di ambienti degradati e suoli soggetti ad erosione anche per via della sua capacità di emettere ricacci dopo il passaggio del fuoco. Anche il legno sembra avere interessanti prospettive di utilizzazione.

La germinabilità media del seme è intorno al 60-90%. I semi presentano dormienza che può essere interrotta mediante stratificazione a 5°C per 20-60 giorni su substrati umidi e aerati. Dopo la germinazione si ha in 30-40 giorni a 20°C. Un metodo alternativo prevede l'impiego di acido gibberellico (GA₃). Il trattamento con 300mg.L⁻¹ GA₃ garantisce la germinazione dell'84% dei semi dopo 4 settimane.

Il pino domestico (*Pinus pinea* L.) è un albero, appartenente alla famiglia delle *Pinaceae*, ampiamente coltivato nei vivai italiani e dell'Europa meridionale e ha una enorme importanza commerciale per la produzione di pinoli. Questi, oltre all'uso alimentare che se ne fa abitualmente sono oggi richiesti dall'industria per le loro proprietà medicinali (alto contenuto di acido linoleico, proteine, vitamine B1 e B2). L'importanza forestale del pino domestico è nota: il legno è impiegato per la costruzione di imbarcazioni, produce resina, caratterizza il paesaggio costiero e quello urbano di molte città.

La specie non presenta dormienza fisiologica e mostra una germinabilità media intorno all'80-90%. Prima di essere posti a germinare, generalmente a 20°C, è buona norma tenerli immersi in acqua per un giorno.

Il faggio (*Fagus sylvatica* L.), albero di prima grandezza appartenente alle *Fagaceae*, si può definire, insieme con le querce caducifoglie, la specie forestale per eccellenza, sia per la sua diffusione in Europa sia per l'impiego del suo legno. In Italia è presente nella fascia alpina e lungo tutta la catena appenninica. Il legno viene ampiamente usato nell'industria del mobile e dell'oggettistica. Il seme presenta dormienza fisiologica e richiede per germinare una stratificazione

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

a (3) 5°C da due a sei mesi. Tale temperatura sembra essere quella ottimale anche per la germinazione. La germinabilità comunque difficilmente supera il 75%.

Il leccio (*Quercus ilex* L.) è una quercia sempreverde della famiglia delle *Fagaceae* e rappresenta il principale componente dei boschi mediterranei. E' ampiamente utilizzata nei parchi, nei giardini e nelle alberature stradali, oltre che nei lavori di restauro ambientale, e fornisce la migliore legna da ardere o da carbonificazione di tutto il mediterraneo. Il seme non presenta dormienza e possiede una facoltà germinativa pari al 60 – 70%. Per aumentare l'energia germinativa è opportuna l'immersione in acqua per due giorni prima della semina.

Il carpino (*Carpinus betulus* L.), appartenente alla famiglia delle *Betulaceae*, è un'importante specie forestale ampiamente diffusa nell'Europa centro-orientale mentre in Italia si ritrova principalmente in area padana e sporadicamente sull'Appennino. In Italia è da oltre un decennio oggetto di particolare interesse come specie ornamentale e, per tale motivo, è largamente coltivato nei vivai. Il seme è dormiente con la peculiarità che la dormienza non è solo fisiologica, ma anche tegumentaria sicché, insieme con la stratificazione, occorrono trattamenti di scarificazione chimica o meccanica. La germinabilità è compresa tra 50 e 60%.

Il seme utilizzato per le prove è stato raccolto nelle seguenti località:

Mirto: Località Manarola presso Formia (Parco regionale dei Monti Aurunci); loc. Lama Coppa presso Ostuni (Puglia); Poggio Mirteto (Rieti). Purezza del seme pari al 100%.

Corbezzolo: Località Lama Coppa presso Ostuni (Puglia). Purezza del seme pari al 100%.

Pino domestico: Duna Feniglia presso Orbetello (Grosseto), Bosco n.5 del Libro Nazionale dei Boschi da Seme. Purezza del seme pari al 98%.

Faggio: Località Monte Venere presso Caprarola (Viterbo). Purezza del seme pari al 100%.

Leccio: Località santa Teresa presso Caprarola (Viterbo). Purezza del seme pari al 100%.

Carpino bianco: Monti Cimini (Viterbo). Purezza del seme pari al 100%.

Test di vitalità e impostazione delle prove di germinazione

Prima di procedere alle prove comparative per l'allevamento nella camera di crescita e avviare la messa a punto dei protocolli di produzione delle piantine, sono state condotti saggi di vitalità del seme utilizzando il metodo colorimetrico dei Sali di tetrazolo (topographical tetrazolium test, TTZ). I semi, dopo immersione per 24 ore in acqua a temperatura ambiente, sono stati liberati dei tegumenti, immersi in una soluzione allo 0.5% di 2,3,5-triphenyl tetrazolio cloruro e lasciati all'ombra per 24 ore. Quindi, ricordando che i semi vitali si colorano in rosso, se ne è valutata la vitalità.



Fig. 1. Test di vitalità con i sali di tetrazolo.

Per la durata del test e per le altre condizioni della prova sono stati usati, come confronto, i protocolli ufficiali dell'ISTA (International Seed Testing Association, Associazione Internazionale per le Prove sui Semi), ultimo aggiornamento (Seed Science and Technology, 2007). Tali standard, che nel caso particolare casualmente coincidono per le varie specie, vengono di seguito riportati.

Myrtus communis

Durata: 28 giorni

Luce 8h, temperatura 20°C

Ombra 16h, temperatura 20°C

Arbutus unedo

Durata: 28 giorni

Luce 8h, temperatura 20°C

Ombra 16h, temperatura 20°C

Pinus pinea

Durata: 28 giorni

Luce 8h, temperatura 20°C

Ombra 16h, temperatura 20°C

Quercus ilex

Durata: 28 giorni

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

Luce 8h, temperatura 20°C
Ombra 16h, temperatura 20°C

Fagus sylvatica
Durata: 28 giorni
Luce 8h, temperatura 20°C
Ombra 16h, temperatura 20°C

Carpinus betulus
Durata: 28 giorni
Luce 8h, temperatura 20°C
Ombra 16h, temperatura 20°C

Redazione dei requisiti operativi per i moduli G e S specificando i parametri foto-termo-igrometrici da controllare, i limiti e l'accuratezza di misura, i margini di regolazione.

Le prime prove mirate a definire i parametri foto-termo-igrometrici in termini di efficacia per l'allevamento delle specie selezionate, hanno riguardato prima i valori di temperatura e di umidità e successivamente quelli relativi alla luce.

I vari confronti per la scelta del migliore pretrattamento del seme atto a romperne la dormienza hanno dimostrato che la variabile più importante per ottenere risultati significativi è il tempo di stratificazione. Solo *Arbutus unedo*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica* e *Myrtus communis*, essendo semi *dormienti*, hanno bisogno di essere pretrattati per poter germinare. Dai vari test è risultato che i semi di mirto, corbezzolo, carpino e faggio vanno stratificati a 3°C su un letto di perlite e torba (50:50), in condizioni di umidità costante e per un periodo di tempo di 4 settimane per il mirto, di circa 6 settimane per il corbezzolo e per il carpino e di 8 settimane per il faggio. Comunque, per tutte le specie, il periodo di pretrattamento può variare in funzione della provenienza e dello stato fisiologico del campione e si ritiene terminato allorché sono visibili i primi segni di germinazione.



Fig. 2. Allestimento per la stratificazione a 3 °C in torba/perlite al 50% in condizioni umide. L'umidità era garantita attraverso un collegamento fatto di stringhe di cotone che, pescando sul fondo della vasca contenente 5 cm di acqua, manteneva saturo il substrato posto sulla griglia. Infine, i semi sono stati coperti con uno strato di perlite umida.

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

I semi di *Pinus pinea* e *Quercus ilex* germinano prontamente quando posti nelle migliori condizioni di germinazione.

Le prove di germinazione sono state condotte su quattro repliche di 100 semi per ciascuna delle specie considerate in una camera di crescita della ditta AHSI-Angelantoni di Perugia (Intelligent Lighting Incubator Model 300B). I semi, trattati con fungicida Benlate (0.6g/l), sono stati posti su dischi di carta bibula saturata di acqua distillata all'interno di capsule Petri autoclavate. I migliori risultati sono stati ottenuti eseguendo la germinazione nelle camere di crescita per un periodo di circa 30 giorni sotto condizioni di illuminazione di 20.000 lux (lampade HID), ad una temperatura di $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ed un fotoperiodo di 18 ore. L'irrigazione è stata fornita per aspersione a giorni alterni e non è stata effettuata alcuna concimazione. L'umidità relativa è stata mantenuta intorno all' $80\% \pm 10\%$.



Fig. 3. Semi di *Myrtus communis* lavati e preparati per le prove di germinazione

I semi delle specie esaminate, con o senza pretrattamento, sono stati posti a germinare in contenitori di plastica denominati QuickPot della ditta Herkuplast-Kubern (Germania) costituiti da un numero variabile di celle con diverse dimensioni; i vari tipi di contenitori proposti dalla ditta vengono selezionati in base alla grandezza del seme e al tipo di sviluppo iniziale presentato dalle plantule. I contenitori possono essere forniti provvisti di un particolare terriccio a base di torba, resa compatta da un legante per facilitare le successive fasi di trapianto (PF, Preforma – mixture PP01, Jiffy®), o vuoti.

Sono stati impiegati i seguenti contenitori, sia già provvisti di terriccio Preforma che vuoti (in quest'ultimo caso si è adoperato un terriccio commerciale fornito dal vivaio Torsanlorenzo):

QPD 160 (27 mm diam. x 37 mm h) con densità di 975 semenzali/ m² e 18.0 cc ; QPD 240 (22x60 mm h), 1460 semenzali/ m² e 9.0 cc; QPD 360 (20x40 mm h) , 1820 semenzali/ m² e 9.0 cc; QPD 576 (13x30 mmh) con densità di 3500 semenzali/ m².

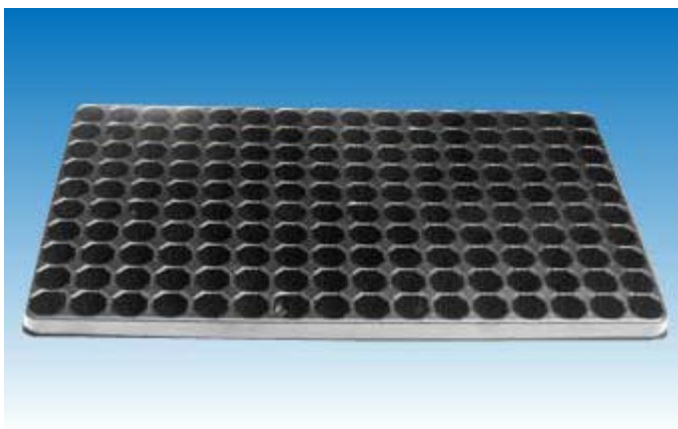
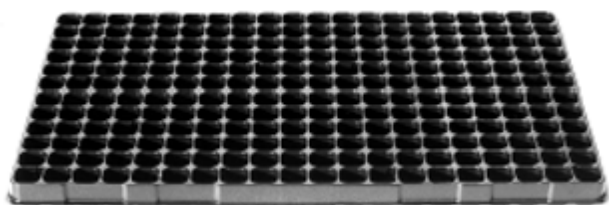
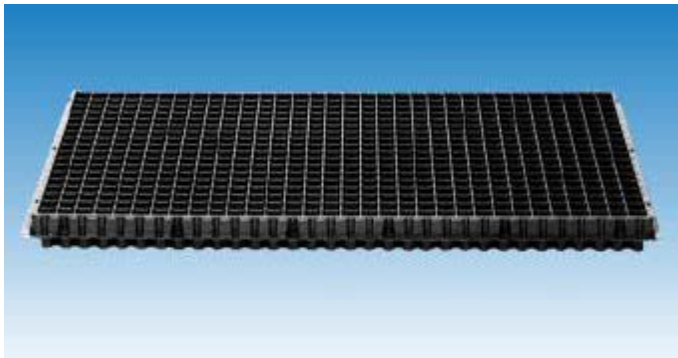


Fig. 4. I tre tipi di contenitori testate. In alto QPD 576 (D1), al centro QPD 360 (D2), in basso QPD 160/3.7 (D3).

La migliore performance delle plantule è stata registrata con il terriccio Preforma e con densità che varia con le specie:

- *Arbutus unedo* e *Myrtus communis* : Preforma e QPD 576.
- *Carpinus betulus*: Preforma e QPD 240/6
- *Fagus sylvatica*: Preforma e QPD 160/5.5R
- *Quercus ilex*: Preforma e QPD 240/6

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell' Ambiente e
delle Foreste

- *Pinus pinea*: Preforma e QPD 160/5.5R

Al termine del periodo di germinazione le plantule ottenute sono state trapiantate in contenitori di maggiori dimensioni, per favorire il successivo sviluppo, e trasferite in serra. Le immagini che seguono illustrano i risultati ottenuti con le diverse specie.



Fig. 5. Determinazione del tasso di sopravvivenza delle piantine di pino domestico



Fig. 6. Stato delle piantine di corbezzolo dopo tre settimane dalla nascita

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell' Ambiente e
delle Foreste



Fig. 7. Semenzali di *Quercus ilex* in contenitori QPD 240/6 e substrato Preforma.



Fig. 8. Semenzali di *Fagus sylvatica* in contenitori QPD 160/5.5R e substrato Preforma.

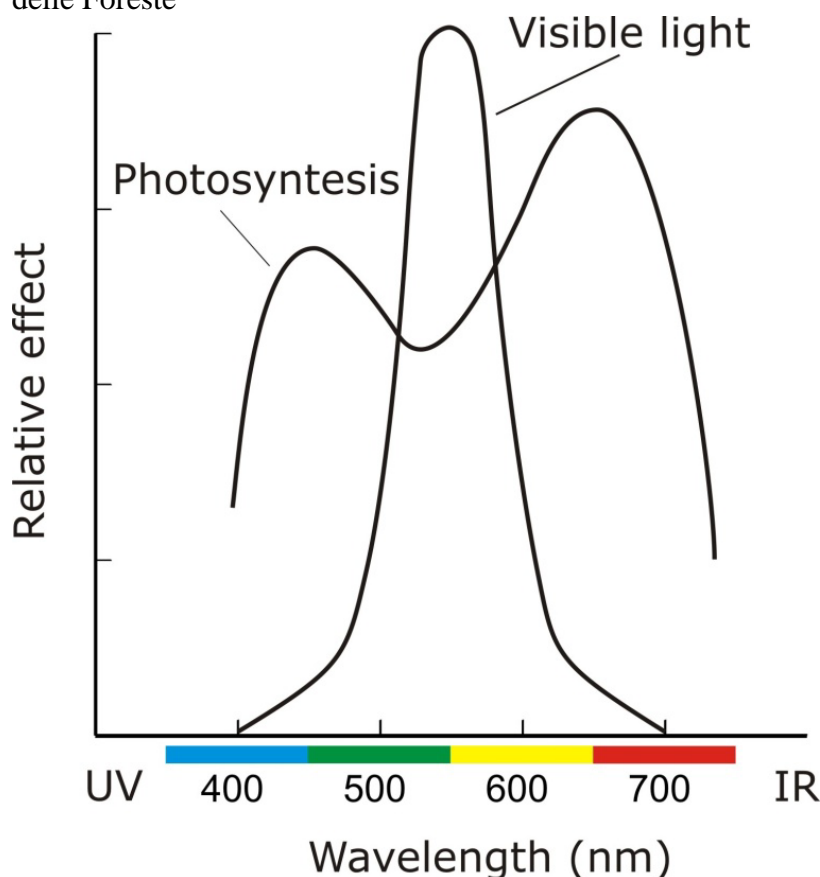
Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell' Ambiente e
delle Foreste



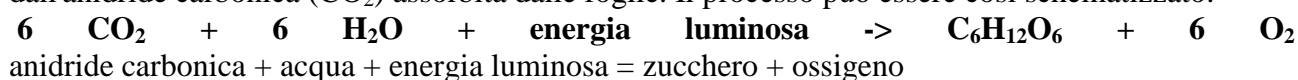
Fig.9. Semenzali di *Carpinus betulus* in contenitori QPD 240/6 e substrato Preforma.

L'illuminazione di una camera di crescita destinata alla produzione di piantine (o fitotrone) rappresenta sempre il problema di più difficile soluzione giacché occorre trovare la giusta combinazione di lunghezze d'onda e intensità luminosa che consentano lo svolgimento della fotosintesi ai più alti livelli di efficienza. Infatti, l'intero ciclo di vita delle piante è condizionato dalla luce. Per garantirne una crescita rapida e armoniosa è necessario che la radiazione luminosa sia corretta qualitativamente (intensità luminosa) e quantitativamente (spettro di emissione). La luce è composta da fasci di colore distinti, che corrispondono a determinate lunghezze d'onda. La loro presenza invia alla pianta un determinato segnale e promuove un certo processo di sviluppo.

Rispetto agli esseri umani, le piante hanno una diversa reazione sensibile alla luce con varie lunghezze d'onda. Solo una frazione della luce visibile all'occhio umano contribuisce alla crescita (fotosintesi) delle piante, cioè la luce con lunghezze d'onda comprese tra 400 e 700 nm. Si tratta della cosiddetta **zona PAR** (PAR = Photosynthetic Active Radiation). Circa il 45% delle radiazioni complessive della luce diurna è compreso tra 400 e 700 nm. Quindi, circa il 45% delle radiazioni complessive è PAR.



Come è noto, la **fotosintesi** è un processo fotochimico nel quale l'energia luminosa è assorbita dalla clorofilla e dai carotenoidi presenti nelle foglie. Questa energia è utilizzata per produrre zuccheri dall'anidride carbonica (CO₂) assorbita dalle foglie. Il processo può essere così schematizzato:



Tutti gli organismi vegetali provvisti di clorofilla necessitano di energia radiante fotosinteticamente attiva per vivere e accrescersi. Le migliori condizioni per la sopravvivenza e per l'accrescimento sono condizionate da intensità luminose i cui livelli "cardinali" (minimum, optimum e maximum) si diversificano a seconda del genotipo ma possono variare anche in relazione all'età, alla posizione sociale e alle condizioni vegetative della pianta.

La grande distinzione "storica" sul foto temperamento delle specie vegetali è quella in **eliofile** e **sciafile**. Le prime, fin dalla nascita, necessitano di piena luce per sopravvivere; le seconde, invece, traggono vantaggio dall'ombreggiamento o comunque vi si adattano.

Differenti risposte ai vari livelli di energia radiante fotosinteticamente attiva sono riscontrabili non solo fra specie o individui diversi, ma anche tra foglie della stessa pianta. Ogni individuo è infatti in possesso di foglie di luce e di foglie d'ombra. Le prime sono situate nelle posizioni periferiche della chioma e sono spesso fornite di PAR in eccesso rispetto alle loro necessità fisiologiche; le seconde si localizzano invece all'interno o alla base della chioma, dove fruiscono di scarsi livelli di PAR.

Fra i due tipi di foglia esistono importanti differenze fisiologiche. Si intende per **punto di saturazione luminoso** l'irradianza oltre la quale non si ha più incremento di fissazione della CO₂ netta e in corrispondenza della quale si raggiunge la massima velocità di fotosintesi.

Il **punto di compensazione** è invece l'irradianza alla quale le perdite di CO₂ per respirazione sono esattamente bilanciate dai guadagni foto sintetici. Si tratta di un parametro di grande

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

importanza; infatti, affinché si possa avere la formazione di nuovi tessuti, il bilancio fotosintesi/respirazione deve essere in attivo (esso è comunque negativo durante la notte, in cui ha luogo la respirazione).

Il punto di saturazione è più alto per le foglie di luce, in cui la fotosintesi netta aumenta con l'aumentare della disponibilità luminosa, fino ad alti valori di quest'ultima. Le foglie d'ombra delle specie arboree generalmente arrivano al punto di saturazione luminosa attorno a 200-300 μmol di fotoni $\times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$, mentre per quelle periferiche a maggior resa, si oscilla fra 600 e 1000 (a volte anche oltre) μmol di fotoni $\times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$.

Anche il punto di compensazione delle foglie di luce corrisponde a intensità luminose elevate, mentre le foglie d'ombra hanno una respirazione meno intensa di quelle di luce e raggiungono così la compensazione in corrispondenza di minori apporti di energia radiante: le foglie d'ombra a bassa irradianza presentano una velocità di fotosintesi netta più elevata di quella delle foglie di luce, rispetto alle quali sono più efficienti.

L'influenza della luce sulla vita delle piante dipende anche dall'interazione con altri fattori (fertilità del suolo, disponibilità idriche etc.).

Le reazioni di una pianta alle varie intensità luminose possono essere legate anche alla sua storia ecologica.

Anche all'interno dell'intervallo PAR, non tutte le piante sono egualmente sensibili alle lunghezze d'onda. Ciò è dovuto, tra l'altro, all'assorbimento specifico di ogni tipo di pigmenti delle foglie, dei quali la clorofilla è solo il più noto. A causa di una riflessione e di una trasmissione relativamente forti, la luce verde è quella utilizzata meno efficacemente dalla foglia. Questo spiega perché le foglie sono percepite come verdi dall'occhio umano. L'effetto delle radiazioni con varie lunghezze d'onda sulla crescita delle piante è illustrato dalla curva di sensibilità di un vegetale. Poiché la fotosintesi è il più importante processo di crescita, si utilizza uno spettro di azione che descrive il modo in cui si determina il tasso di fotosintesi con le varie lunghezze d'onda. Questo spettro di azione della fotosintesi è basato sul numero di fotoni (quanti leggeri) assorbito per lunghezza d'onda. Tale spettro di azione è noto anche con il nome di '**efficienza quantica spettrale**'.

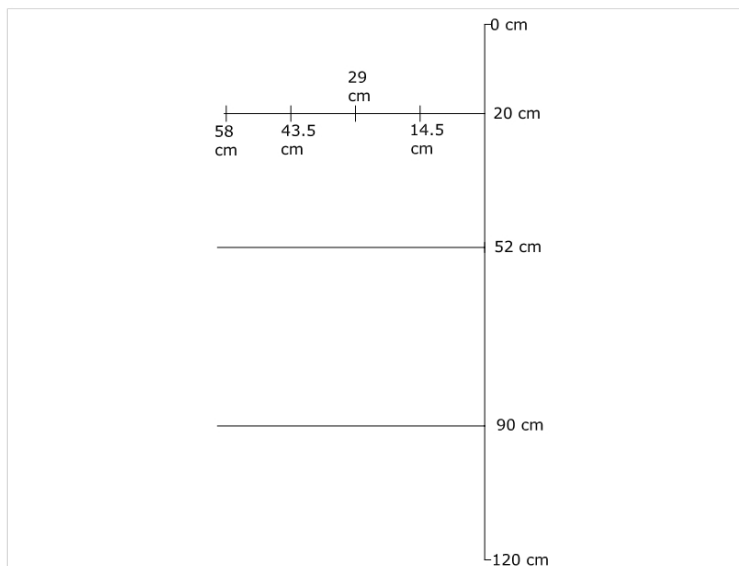
Le ricerche (McCree 1972) hanno dimostrato che lo scostamento medio rispetto al valore medio di varie specie vegetali non supera il 5%. È stato anche illustrato che l'efficienza quantica è maggiore nella zona arancione-rossa; in altre parole, questo tipo di luce assicura la fotosintesi più efficace. Questo non significa però che le piante possano crescere utilizzando esclusivamente questo colore dello spettro luminoso. Per svilupparsi normalmente, è estremamente importante che le piante ricevano uno spettro ben equilibrato. La quota di luce blu è molto importante ai fini di un sano sviluppo delle piante. Una carenza di luce blu provoca una crescita eccessiva degli steli e determina talvolta l'ingiallimento delle foglie. Anche il rapporto rosso/infrarosso ha la sua importanza nello sviluppo delle specie vegetali. Una bassa quota di infrarosso impedisce la crescita degli steli. Queste reazioni sensibili variano da una specie vegetale all'altra.

Per valutare l'efficienza della sorgente luminosa proposta nell'ambito del progetto sono state messe a confronto le performances di germinazione e di crescita delle specie considerate in quattro condizioni diverse più una variante:

1. Camera di crescita tradizionale (quella sopra descritta) con illuminazione laterale prodotta da tubi fluorescenti.
2. (1a) Stessa camera di crescita con uno specchio riflettente per evitare fenomeni di fototropismo e conseguente curvatura delle piantine.
3. Camera di crescita tradizionale, ma con sorgente luminosa (tubi fluorescenti) posta sul soffitto della cella.

4. Camera di crescita con sorgente luminosa costituita da un sistema commerciale di luci led rosse alternate a blu (LEDUFO, vedi caratteristiche in appendice).
5. Pannello sperimentale con "bande" di luci led bianco-gialle.

Per rendere confrontabili i dati è stata innanzitutto misurata, mediante apposito rilevatore, la PAR all'interno della cella tradizionale secondo lo schema sotto riportato. Determinato il valore maggiore, risultato paria a $220 \mu\text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$, si è scelto quello come riferimento e si è fatto in modo di riprodurlo nelle altre tesi.



I parametri temperatura, fotoperiodo e umidità sono stati fissati secondo quanto emerso dalle prove descritte in precedenza. I risultati confermano quanto previsto:

- 1) nella cella tradizionale la germinazione è molto più lenta per via della disposizione non ottimale della sorgente luminosa;
- 2) nella cella tradizionale si nota un forte fototropismo;
- 3) all'interno della cella con il pannello luminoso sperimentale il tropismo è totalmente assente e la germinazione molto più rapida.

Le prove più numerose sono state effettuate sul faggio, specie per la quale è stato possibile fare anche un confronto con le condizioni di luminosità che si riscontrano in natura. Sono state effettuate delle misurazioni nella faggeta di Soriano nel Cimino: i risultati hanno evidenziato come, nella fase di rinnovazione, le piantine di faggio hanno a disposizione una PAR molto modesta (da 14 a $54 \mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, molto meno del nostro prototipo in cui i valori si attestano intorno a 250).

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell’Ambiente e
delle Foreste

Di seguito vengono riportati alcuni dati di germinazione nelle differenti condizioni in esame:

1° Giorno

Pannello luminoso prototipo	23 semi germinati su un totale di 50
Cella tradizionale con sorgente lum. laterale	3 semi germinati su un totale di 50
Cella tradizionale con lo specchio	7 semi germinati su un totale di 50
Cella tradizionale con sorgente sul “soffitto”	0 semi germinati su un totale di 50

2°Giorno

Pannello luminoso prototipo	34 semi germinati su un totale di 50
Cella tradizionale con sorgente lum. laterale	12 semi germinati su un totale di 50
Cella tradizionale con lo specchio	17 semi germinati su un totale di 50
Cella tradizionale con sorgente sul “soffitto”	13 semi germinati su un totale di 50

3°Giorno

Pannello luminoso prototipo	44 semi germinati su un totale di 50 di cui 7 con cotiledoni aperti
Cella tradizionale con sorgente lum. laterale	30 semi germinati su un totale di 50
Cella tradizionale con lo specchio	40 semi germinati su un totale di 50 di cui 3 con cotiledoni aperti
Cella tradizionale con sorgente sul “soffitto”	33 semi germinati su un totale di 50

I valori ottenuti con la lampada LEDUFO si collocano tra quelli ottenuti con il pannello prototipo e quelli nella cella modificata con lo specchio.

Le immagini che seguono rendono l’idea della differenze di accrescimento tra le piantine cresciute in una cella con sorgente luminosa tradizionale e quelle cresciute sotto il pannello sperimentale.

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell' Ambiente e
delle Foreste



Fig. 10. 10.5.2009. Piantine di faggio illuminate dal pannello sperimentale



Fig. 11. 10.5.2009. Piantine di faggio illuminate lateralmente in una cella tradizionale.



Fig. 12. 10.5.2009. Piantine di faggio cresciute sotto luce tradizionale (a destra: le foglie cominciano appena ad aprirsi) e luce led del pannello sperimentale (a sinistra: le foglie sonnom già aperte).

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell' Ambiente e
delle Foreste



Fig. 13. 20.5.2009. le piantine di faggio sotto luce led (a sinistra) crescono ancora.



Fig. 14. 25.5.2009. Misurazione delle piantine di faggio.



Fig. 15. 20.5.2009. Una prova preliminare su pomodoro var. Roma. Le piantine a destra, nate in una cella tradizionale, sono più piccole e mostrano una forte curvatura verso la sorgente luminosa laterale.

Appendice 1: Radiometria

La misura delle variabili associate all'energia elettromagnetica prende il nome di *radiometria*. Di seguito saranno fornite alcune definizioni di base utilizzate nella radiometria :

Energia radiante (Q)

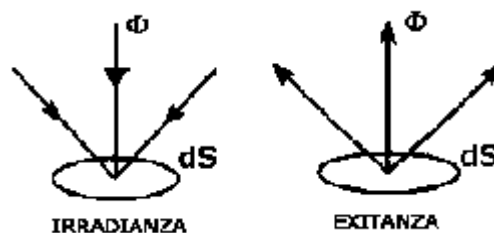
E' l'energia associabile ai fotoni o alle onde elettromagnetiche; si misura in Joule (J).;

Flusso radiante (ϕ);

Corrisponde alla quantità di energia irradiata, per unità di tempo, fra una sorgente ed una superficie ricevente; si misura in Watt (W);

Densità di flusso radiante (W, H)

Corrisponde alla quantità di energia irradiata, per unità di tempo, incidente sull'area unitaria di una superficie ricevente oppure emessa dall'unità di area della sorgente. Nel primo caso si parla di **irradianza** (H), nel secondo di **emittanza** o **exitanza** (W). Si misura in $W \times m^{-2}$.



Una sorgente luminosa può essere considerata una fonte che rilascia particelle di energia. Queste particelle prendono il nome di quanti luminosi o **fotoni**. Il contenuto energetico di un fotone è in funzione della sua lunghezza d'onda.

Il numero complessivo di fotoni emessi al secondo tra 400 e 700 nm è detto **PPF** (Photosynthetic Photon Flux), una quantità misurata in $\mu mol s^{-1}$. Il PPF è paragonabile al concetto del lumen, ma è basato sulla reazione sensibile delle piante. Il contenuto energetico di un fotone di 400 nm (blu) è 1,75 volte maggiore ($700/400$) di quello di un fotone di 700 nm (rosso), ma entrambi i fotoni si equivalgono per quanto riguarda i loro effetti sul processo della fotosintesi. L'energia in eccesso di un fotone blu è ampiamente convertita in calore.

Il tasso di fotosintesi è determinato dal **numero di fotoni** compresi tra 400 e 700 nm che la pianta assorbe, e non dal contenuto energetico complessivo di tali fotoni. Perciò, il numero di fotoni al secondo compresi tra 400 e 700 nm che colpiscono una determinata superficie, definito come **PPFD**

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

(Photosynthetic Photon Flux Density), è la **sola grandezza** che deve essere utilizzata per esprimere la quantità di luce necessaria per il processo di fotosintesi. Il **PPF** è paragonabile al concetto del lux (lumen m^{-2}), ma è basato sulla reazione sensibile delle piante.

Il PPF viene misurato con l'ausilio di un sensore di quanti ed è espresso in μmol di fotoni per m^2 al secondo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Quando si parla di PAR (Photosynthetic Active Radiation), si fa riferimento al contenuto energetico della luce tra 400 e 700 nm (in W m^{-2}).

PPF = numero totale di fotoni emessi al secondo tra 400 e 700 nm; unità di misura $\mu\text{mol s}^{-1}$

PPFD = numero di fotoni al secondo tra 400 e 700 nm per area unitaria; unità di misura $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

PAR = contenuto energetico al secondo della luce tra 400 e 700 nm per area unitaria; unità di misura W m^{-2}

Irradianza fotosintetica (PI)

Rappresenta la **misura di irradianza eseguita nella banda spettrale della PAR** (frazione di radiazione utile ai fini fotosintetici) ; si misura in $\text{W}\times\text{m}^{-2}$ o in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In campo forestale l'irradianza viene spesso usata in termini relativi piuttosto che assoluti; la **Trasmittanza (T%)** o **irradianza relativa (I.R.)** è la % di radiazione che penetra al di sotto di una superficie più o meno continua (es. copertura arborea) rispetto a quella che incide al di sopra di essa.

Misurazione della luce

Per essere efficace nella crescita delle piante, una **lampada** deve trasformare la maggiore quantità possibile della sua energia elettrica in PAR.

L'**intensità luminosa** (numero di fotoni che attraversa una sezione unitaria di un campione nell'unità di tempo) può essere misurata in candele/metro o in **Lux**, mentre il lumen (lm) misura la potenza del flusso luminoso emesso dalla lampada. Queste unità di misura quantificano l'intensità luminosa in funzione della curva di visibilità dell'uomo. L'occhio umano vede una frazione inferiore dello spettro luminoso rispetto a quello percepito dalle piante, essendo particolarmente sensibile alla luce compresa fra i 525-625 nanometri, e non tra i 400 e 700nm della zona PAR. Misurando la luce in candele/metro, lux (i lumen non possono essere misurati se non in laboratorio), l'importanza delle porzioni del blu e del rosso nello spettro è sminuita enormemente.

La candela/metro è un'unità di misura corrispondente all'intensità di una candela alla distanza di ca. 30 cm. La scala dei lux è simile a quella della candela/metro; una candela/metro è uguale a 10,76 lux.

La tonalità luminosa può inoltre essere espressa in gradi Kelvin, questa unità di misura esprime esattamente il colore emesso dalla lampada.

Le piante usano delle porzioni specifiche dello spettro nella gamma compresa tra i blu e i rossi. Usando sorgenti artificiali con spettro di emissione simile a quello delle lampade di cui è noto il valore PAR, se ne può stabilire approssimativamente il valore PAR valutandone la temperatura del colore espressa in Kelvin. Lo spettro di colore necessario alla pianta risulta la combinazione di colori diversi.

IL LUXMETRO E LA MISURA DELL'ILLUMINAMENTO

La misura dell'illuminamento, dovuto sia a luce naturale che luce artificiale, può essere effettuata mediante un **luxmetro**.

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

La parte sensibile di un luxmetro, che riceve il flusso luminoso, è la superficie di un dispositivo fotorilevatore quale una cellula fotoelettrica. Lo strumento è tarato in modo da indicare sulla propria scala valori in lux. Il suo funzionamento è basato sulla considerazione della curva di visibilità relativa dell'occhio umano e della sensibilità del dispositivo fotorilevatore impiegato. Ciascun luxmetro può essere dotato di una **sonda quanto-radiometrica** per la misura del flusso di fotoni nel campo della PAR (**PPFD**) ; l'unità di misura è $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Appendice 2: Sorgente di luce led

Codice: LED90

Descrizione: **Lampada LED UFO**

Utilizza solo 90w di potenza con un OUTPUT superiore ad una lampada mh-hps 400w. Il concetto su cui si basa il funzionamento di una lampada LED UFO è molto semplice,utilizza in maniera molto efficace i led da 1 W e riesce a produrre l'esatto spettro di luce richiesto dalla pianta per la fotosintesi. Utilizzando solo lo spettro di luce richiesto dalla pianta non ci sono sprechi,proprio come avviene in natura. Utilizzando bulbi con un ampio angolo direzionale ad alta luminosità,la LED UFO è fino all'80% più efficiente delle lampade a scarica MH-HPS e fornisce alle piante una perfetta miscela di luce per una crescita allo stesso tempo rapida e vigorosa. Oltre ad essere estremamente efficiente da un punto di vista energetico,la LED UFO è una lampada molto discreta. Infatti ha una emissione di calore vicina allo zero e risulta praticamente fredda al tatto. In questo modo non servono altre attrezzature per il raffreddamento; La natura direzionale dei led assicura che il 100% della luce sia diretta sulle piante. E' possibile appendere LED UFO appena al di sopra della pianta senza il timore di bruciarne le foglie. Per il funzionamento non occorrono particolari accorgimenti o attrezzature nè alimentatori di corrente: la LED UFO è pronta per essere utilizzata appena viene tirata fuori dalla scatola. La LED UFO è ideale per tutte le fasi di crescita delle piante e può essere facilmente utilizzata sia per colture in terra o idroponiche. LED UFO fornisce la luce necessaria per ogni fase,dalla germinazione alla fioritura.

CARATTERISTICHE E VANTAGGI: RISPARMIO DI DENARO. 80% di energia più efficace con un notevole risparmio sulle bollette elettriche. Il periodo di reintegrazione del capitale investito è meno di 1 anno. **RISPARMIO DI DENARO** Zero costi di manutenzione. Non è necessario sostituire le lampade, 80.000 ore del ciclo di vita.(circa 11 anni seguendo accuratamente le istruzioni). **RISPARMIO DI DENARO** Nessun a necessità di particolari attrezzature di raffreddamento o di sprechi di energia per raffreddare il vostro giardino. **RISPETTOSE PER L'AMBIENTE-** 80% di energia più efficiente rispetto alle lampade MH o HPS significa meno combustione di carbone e di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica e di conseguenza un ambiente più pulito. **RISPETTOSE PER L'AMBIENTE** - E' conforme alla direttiva europea per la salvaguardia dell'ambiente.

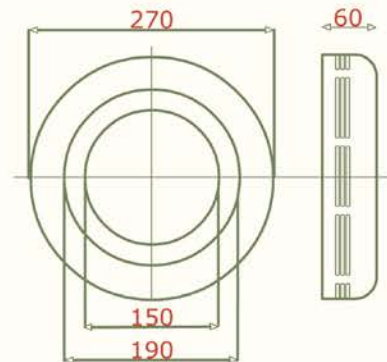
Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell' Ambiente e
delle Foreste

A differenza delle altre lampade MH - HPS , queste luci non contengono mercurio o materiali pericolosi e possono essere smaltite in modo sicuro. **AUMENTO DELLE PRESTAZIONI**- Aiuta in modo efficace la vostra pianta a produrre foglie lussureggianti e numerosi fiori o frutti. **VERSATILE**- Può essere utilizzata con qualsiasi mezzo di coltivazione,in serra in casa,in idroponica in aeroponica e naturalmente in terra. **DISCRETA** -nessuna impronta termica-inosservabile. **SICURA** nessun rischio di ustioni o di esplosione delle lampade **LEGGERA** 2,8 KG - Nessun trasformatore o riflettore necessario. Certificato CE - Due anni di garanzia

Prezzo: 625,00 €



LEDUFO CARATTERISTICHE TECNICHE



Dimensions (mm)

LED Parameters

LED Type	1 w High Power BridgeLux
LED Color	REd:630nm,Blue:455nm
LED Color Ratio	Red and Blue :7-2
LED Configuration	90x1W (70 red-20 blu)

No	Tipo	Unità	Parametri
1	Ambiente di lavoro	C	-20/+40
2	frequenza	Hz	50/60
3	voltaggio	volt	220

4	Input Corrente	mA	660
5	potenza	Watt	90w
6	Lux{centro}	LUX	118/2,5mt 80/3mt 55/3,5mt
7	Fattore di potenza	PF	0,97
5	tempo luce accesa	Hour	10/18
6	tempo di vita	Hour	0,97
7	tempo luce accesa	Hour	80.000 50.000



ABC-LITE ITALIA

DISTRIBUTORE PER L'ITALIA
 Eclipse growing inc.

internet:

www.ledufo.it

mail:

ledufo@tiscali.it

tel:

DEGLI INNOCENTI GIOVANNI
 P. IVA: 01649650502

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

La rivoluzione dell'illuminazione in serra

COSA E' LedUFO ™ utilizza solo 90 watt di potenza con un output superiore ad una lampada da 400 watt ad alogenuri metallici o HPS . Il concetto su cui si basa il funzionamento di una lampada ledUFO è molto semplice; utilizza in maniera molto efficace i led da 1 watt e riesce a produrre l'esatto spettro di luce richiesto dalla pianta in quel momento per la fotosintesi. Utilizzando solo lo spettro di luce richiesto dalla pianta non ci sono sprechi, proprio come avviene in natura. ed utilizza. Utilizzando bulbi con un ampio angolo direzionale ad alta luminosità, la ledUFO ™ è fino all' 80% più efficiente delle lampade ad alogenuri metallici o HPS e fornisce alle tue piante una perfetta miscela di luce per una crescita allo stesso tempo rapida e vigorosa..Oltre ad essere estremamente efficiente da un punto di vista energetico, la ledUFO ™ è una lampada molto discreta. Infatti ha un' emissione di calore vicina allo zero e risulta praticamente fredda al tatto. In questo modo sono limitate le attrezzature per il raffreddamento e la natura direzionale dei LED assicura che il 100% della luce sia diretta sulle vostre piante. È possibile appendere la vostra ledUFO ™ appena al di sopra della pianta senza timore di bruciarne le foglie. Per il funzionamento della lampada non occorrono particolari accorgimenti o attrezzature né alimentatori di corrente: la ledUFO è pronta per essere utilizzata appena viene tirata fuori dalla scatola. La ledUFO ™ è ideale per tutte le fasi di crescita delle piante e può essere facilmente utilizzata sia per la coltivazione tradizionale che per quella idroponica. Non è necessario cambiare lampada nei vari stadi di crescita: la ledUFO ™ fornisce la luce necessaria per ogni stadio di crescita della vostra pianta:

dalla germinazione del seme fino alla fioritura. CHE COSA POSSO FAR CRESCERE? Si può far crescere pianta. Usa ledUFO™ per far crescere orchidee, rose, peperoni, pomodori, basilico, lattuga, erbe aromatiche, cavolo verde, spinaci, broccoli, cetrioli, fragole e molti altri. La lampada ledUFO™ è ottima per la crescita di qualsiasi specie. ledUFO™ è un' eccellente scelta per scuole o negozi che vogliono fornire la luce supplementare su un'ampia area delle piante. ledUFO™ è eccellente anche per la propagazione delle piante (talea, margotta etc..), può essere posizionata in spazi ristretti, senza preoccuparsi di un eventuale accumulo di calore dannoso per le piante. Ogni ledUFO prevede la copertura di circa 1 metro quadro ed è adatta per tutte le fasi della crescita delle piante. UNA LED UFO? ledUFO ™, è usato sia da professionisti (giardinieri , fiorai, vivai ed università) che da semplici appassionati di giardinaggio. Le nostre luci sono usate in oltre 15 paesi del mondo. LEDUFO™

CARATTERISTICHE E VANTAGGI *RISPARMIO DI DENARO - 80% di risparmio sulle bollette elettriche - Il periodo di reintegrazione del capitale investito è meno di un anno * RISPARMIO DI DENARO - zero costi di manutenzione. Non è necessario sostituire le lampadine. 50000 ore del ciclo di vita (circa 11 anni seguendo accuratamente le istruzioni) *

RISPARMIO DI DENARO - Nessun spreco di energia per raffreddare il vostro giardino. * RISPETTOSE DELL'AMBIENTE - 80% di energia più efficiente rispetto le lampade ad alogenuri metallici o HPS significa meno combustione di carbone e di combustibili fossili per la produzione di energia elettrica e di conseguenza un ambiente più pulito *

RISPETTOSE DELL'AMBIENTE; conforme alla direttiva europea RoHS compliant per la salvaguardia dell'ambiente messa in atto dal Parlamento Europeo. A differenza di tutte le lampade LCF, alogenuri metallici e HPS le nostre luci non contengono mercurio o materiali pericolosi. E possono essere smaltite in modo sicuro, senza preoccuparsi di alcun impatto ambientale *

AUMENTO DELLE PRESTAZIONI; Aiuta in modo efficace la vostra pianta a produrre foglie lussureggianti e numerosi fiori e frutti *

Prof. Bartolomeo Schirone
Università degli Studi della Tuscia
Direttore Dipartimento di tecnologie,
ingegneria e scienze dell'Ambiente e
delle Foreste

VERSATILE - Può essere utilizzata con qualsiasi metodo di coltivazione in serra, in casa, in idroponica, in aeroponica e naturalmente in terra *

DISCRETO - nessuna impronta termica - inosservabile * SICURA - nessun rischio di ustioni o di esplosione delle lampadine *

LEGGERA - 2,8 kg *

Nessun trasformatore o riflettore necessario * CE certificate - alta qualità * RoHS compliant * Due anni di garanzia

INFO USO altezza raccomandata (basato su 1 metro quadro di copertura): da 15 cm a 60 cm (regolare, necessità) Area di copertura: 1 metro quadrato fotoperiodo (regolare, secondo necessità)

Fase vegetativa: Fase di fioritura: 10-12 ore LedUFO ™ è destinata per la coltivazione indoor e le serre. I ledUFO ™ non sono destinati ad uso esterno.

SPECIFICHE TECNICHE LED: 90 x 1 Watt High Power (70 diodi 20 diodi blu 455NM)

Temperatura di funzionamento:-20C ~ +40 C / -4F ~ +104 F Voltaggio: 220v Peso: 2,8 kg.

Dimensioni - 270 x 60 mm