

N.I.T.A.P.: NANOMATERIALI E INNOVAZIONI TECNOLOGICHE IN AGRICOLTURA PROTETTA



**Relazione Agronomica
progetto NITAP**

misura 16/16.1 - CUP:G26D20000070009

Data: 30/08/2025

PROGETTO NITAP

PS.R. Sicilia 2014/2020 - Misura/Sottomisura: 16/16. 1 data di pubblicazione bando 10/08/2018 - CUP: G26D20000070009 - PSR Sicilia 2014/2020 Misura/Sottomisura: 16/16.1- "Sostegno per la costituzione e la gestione dei Gruppi Operativi del PEI in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura".

RELAZIONE TECNICA AGRONOMICA
 IL MODELLO AGRONOMICO - L'APPLICAZIONE DI FILM LUMINESCENTI - I RISULTATI
 AGRONOMICI - I RISULTATI SCIENTIFICI - I RISULTATI D'IMPATTO ESG

Le serre svolgono un ruolo chiave nell'agricoltura moderna, creando ambienti controllati che soddisfano specifiche esigenze climatiche delle piante, consentendo l'estensione della stagione di crescita e migliorando la produttività delle colture e la qualità del prodotto. La luce, in termini di quantità (intensità), qualità (composizione spettrale) e durata (fotoperiodo), è un fattore cruciale per le prestazioni delle piante nelle colture protette. La radiazione solare è significativamente influenzata dalla struttura della serra e dal materiale di copertura. L'uso di materiali intelligenti, tra cui coperture diffusive, fotoselettive, luminescenti e commutabili, può modificare positivamente l'intensità, lo spettro e la distribuzione della luce, migliorando l'ambiente luminoso della serra e, di conseguenza, la crescita, la morfologia e il metabolismo delle piante. Questa revisione riassume lo stato dell'arte della ricerca su coperture innovative adatte alla moderna orticoltura in serra e i loro effetti sulle prestazioni delle piante nelle colture orticole e ornamentali.

Introduzione

La luce è essenziale in agricoltura, poiché guida sia la fotosintesi che la fotomorfogenesi delle piante. Infatti, mentre la fotosintesi consente alle piante di convertire la luce in energia chimica, supportando la crescita e la produttività, la fotomorfogenesi comprende cambiamenti cruciali nello sviluppo, nella morfologia e nel metabolismo in risposta agli stimoli luminosi, come l'espansione delle foglie, l'allungamento del fusto, la fioritura e la biosintesi di composti antiossidanti (Paradiso e Proietti, 2022). Questi processi sono interconnessi, consentendo alle piante di ottimizzare l'utilizzo dell'energia luminosa e l'adattamento all'ambiente di crescita, e possono essere sfruttati strategicamente nell'orticoltura controllata.

Tra i tre parametri principali della luce, ovvero l'intensità, la composizione spettrale e il fotoperiodo, lo spettro luminoso ha ricevuto sempre maggiore attenzione negli ultimi anni, poiché la conoscenza della risposta delle piante alle diverse bande di frequenza è aumentata notevolmente, anche grazie all'uso dei diodi a emissione luminosa (LED) nella ricerca sulle piante.

Le piante percepiscono la composizione spettrale della luce attraverso 5 distinte classi di fotorecettori specifici, con un'elevata sensibilità per le diverse bande d'onda anche a bassissima intensità luminosa (Paradiso e Proietti, 2022). Nell'intervallo visibile della radiazione luminosa, queste bande d'onda corrispondono a diversi colori: blu (B, 445-500 nm), verde (G, 500-580 nm), giallo (Y, 580-600 nm), arancione (O, 600-620 nm), rosso (R, 620-700 nm) e rosso lontano (FR, 700-775 nm). I fotorecettori della famiglia dei fitocromi assorbono le lunghezze d'onda R; tre diversi fotorecettori, criptocromi, fototropine e il complesso ZTL/FKF1/LKP2, percepiscono le lunghezze d'onda B e UV-A; Il fotorecettore UVR8 è sensibile alla radiazione ultravioletta (UV), in particolare UV-A (315-380 nm) e UV-B (280-315 nm). Il meccanismo di rilevamento della luce è molto sofisticato, spesso coinvolge le vie di segnalazione ormonali delle piante e riguarda numerosi processi guidati dai colori della luce, nel complesso fenomeno della fotomorfogenesi (Paradiso e Proietti, 2022).

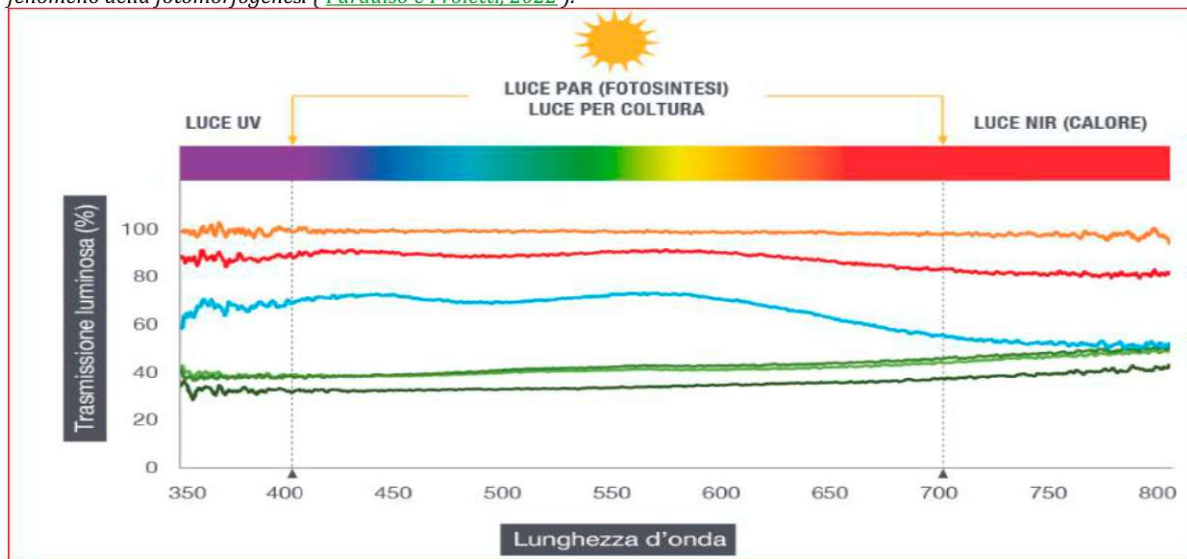
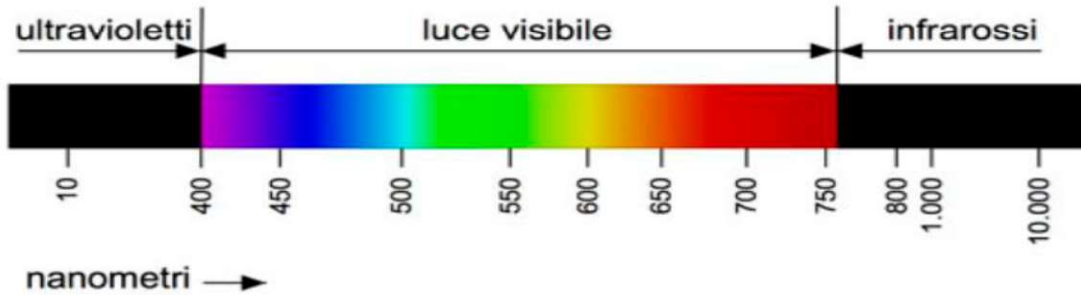


Tabella classificazione della radiazione solare e della luce visibile:

Luca naturale del giorno	λ (nm)
Ultravioletto	290-380
Violetto	380-440
Blu	440-495
Verde	495-570

Giallo	570-595
Arancio	595-625
Rosso	625-700
Infrarosso vicino (NIR) 700-3000	700-3000
Infrarosso lontano (FAR) 3000-100.000	3000-100.000



L'atomo di Magnesio è contenuto all'interno del tilacoide che "eccitandosi" trasferisce un fotone al PQ: plastochinone (ossidandosi e riducendosi cede elettroni al citocromo F che cede alla clorofilla del centro reattivo).

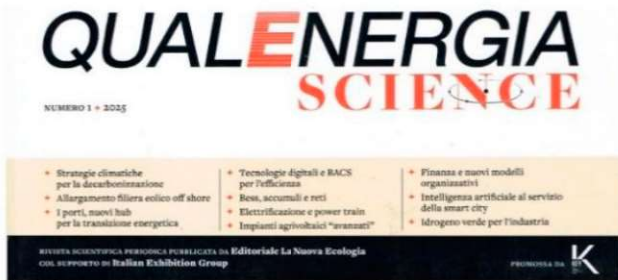
È ormai noto che R e B sono le lunghezze d'onda più efficienti nel sostenere la fotosintesi, guidando il trasporto di elettroni e l'attività della rubisco (Liu e Van Iersel, 2021). La luce R promuove la crescita delle piante, la fioritura e la produzione di frutti (Zhang et al., 2020), mentre B influenza l'espansione fogliare e l'allungamento del fusto e regola l'apertura degli stomi. Insieme a R, FR può indurre la riproduzione e innescare cambiamenti morfologici per ottimizzare la cattura della luce in condizioni di ombra, attraverso meccanismi di evitamento dell'ombra attivati da bassi rapporti R-FR. Inoltre, B e UV stimolano la biosintesi di antiossidanti, per migliorare la tolleranza della pianta alle condizioni di stress, migliorando infine la qualità del prodotto (Rai, 2020; Jaiswal et al., 2021). La luce G, insieme a R e B, svolge un ruolo chiave nel processo di assimilazione, penetrando più in profondità nella chioma e nei tessuti fogliari, supportando quindi la fotosintesi negli strati interni della pianta e delle foglie, dove R e B sono meno efficaci. Inoltre, G modula alcuni processi fisiologici, come l'apertura degli stomi, e risposte morfologiche, come l'evitamento dell'ombra, completando l'azione di R e B (Paradiso et al., 2025).

La gestione della luce nelle coltivazioni protette è fondamentale per ottimizzare il programma di produzione e la resa delle colture. Tecnologie innovative come i materiali diffusivi o fotoselettivi hanno dimostrato di aumentare la produttività delle colture migliorando lo spettro e la distribuzione della luce, riducendo anche lo stress da calore e ottimizzando la fotosintesi. I materiali diffusori di luce, ad esempio, possono aumentare la produttività delle colture dal 3% al 30% a seconda della coltura e delle condizioni di crescita (Zhang et al., 2024a). Con i progressi nelle coperture intelligenti e nelle tecnologie di manipolazione della luce, l'efficienza dell'agricoltura in serra continua ad aumentare, riducendo il consumo energetico e migliorando al contempo la resa e la qualità dei prodotti (Shi et al., 2024).

All'interno dell'intervallo di lunghezza d'onda della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR), l'intensità della luce influenza direttamente l'accumulo di biomassa, pertanto le coperture che controllano la frazione di radiazione che entra nella serra attraverso riflessione o diffusione possono regolare la quantità ricevuta dalla coltura (Romero et al., 2018). Una bassa intensità

luminosa, come quella che si verifica nelle coltivazioni invernali, può ridurre la produzione e la resa di biomassa (Zhang et al. 2024a). A questo proposito, le coperture che diffondono la luce, migliorando la distribuzione della luce in serra a livello della chioma, hanno dimostrato di migliorare l'efficienza fotosintetica delle piante e la produttività delle colture. I film plastici diffusivi aumentano la trasmittanza luminosa e diffondono la luce in modo più uniforme attraverso la chioma, riducendo la fotoinibizione nella chioma superiore e aumentando la quantità di energia luminosa che raggiunge le foglie inferiori (Moreno-Teruel et al. 2021). Le piante coltivate sotto coperture diffuse mostrano una crescita più uniforme, una resa più elevata e una migliore qualità del prodotto, con un apporto energetico limitato grazie alla ridotta illuminazione supplementare (Gattuso e Mazzola, 2023). Studi hanno anche dimostrato che alterare la composizione spettrale della radiazione solare nelle serre utilizzando materiali fotoelettrici, ad esempio modificando il rapporto R-FR (Schettini e Vox, 2010), può migliorare la salute delle piante e aumentare le prestazioni produttive delle colture (Lamnatou e Chemisana, 2013). Poiché il cambiamento climatico continua ad alterare i modelli meteorologici globali, la gestione della temperatura e della luce in serra diventa sempre più importante per garantire rese stabili delle colture e qualità del prodotto (Gruda et al. 2019). A questo proposito, le coperture fotoelettriche possono filtrare specifiche lunghezze d'onda della luce, contribuendo a mitigare le fluttuazioni di temperatura, migliorando così la fotosintesi delle piante e l'efficienza nell'uso dell'acqua, migliorando al contempo il metabolismo delle piante aumentando la biosintesi di composti funzionali (Mormile et al. 2019). Le coperture per serre che incorporano agenti di controllo del calore, come quelle con proprietà riflettenti del vicino infrarosso (NIR), possono contribuire a mitigare le alte temperature riducendo sia il calore esterno che entra nella serra sia il calore interno generato dall'assorbimento e dalla riemissione della radiazione infrarossa (IR) dal suolo. Ad esempio, nelle regioni aride (ad esempio, Ishikawa in Giappone), è stato dimostrato che le pellicole riflettenti riducono le temperature interne fino a 9 °C, consentendo alle piante di mantenere una crescita sana durante gli eventi di calore estremo (Murakami et al. 2017). Data la crescente importanza dell'ottimizzazione delle strategie di illuminazione per migliorare le prestazioni delle colture e la sostenibilità delle serre, questo studio si è posto l'obiettivo di esaminare criticamente come l'ambiente luminoso possa essere manipolato passivamente attraverso innovative coperture intelligenti. In particolare, abbiamo esaminato come questi materiali influenzino l'intensità luminosa, la composizione spettrale e l'uniformità di distribuzione, favorendo la crescita e la produttività delle piante e la qualità dei prodotti, nell'agricoltura in ambiente controllato. (Articolo scientifico tradotto e revisionato con la collaborazione di Laura Cammarisano, Dottore di ricerca in Biologia Vegetale, esperto in fotobiologia e fisiologia vegetale).

Il lavoro svolto all'interno del progetto NITAP, che di seguito sarà descritto, è stato valutato positivamente per la sua validità scientifica è pubblicato sulla rivista "QualeEnergiaScience" n°1 2025: DOI 10.63111/QSE-2025.1.0023.



Scansiona il QRcode per il download dell'articolo www.nitap.it



quanto. I punti quantici sono nanoparticelle minuscole di materiale semiconduttore, circa 10.000 volte più piccole della larghezza di un capello umano, progettate per modificare lo spettro della luce. www.nitap.it

Ad esempio, convertendo i fotoni UV e blu in lunghezze d'onda arancioni e rosse, possiamo fornire alle piante una luce più efficiente dal punto di vista fotosintetico. Nelle prove controllate in serra, questa regolazione spettrale passiva ha prodotto miglioramenti della resa fino al 30%. Ciò significa più cibo, coltivato in modo più efficiente, senza ulteriori esigenze energetiche.

Individualmente, un singolo punto quantico è invisibile ad occhio nudo. Nei film e nei rivestimenti ingegnerizzati, lavorano collettivamente per migliorare le prestazioni



Progresso Tecnologico In Agricoltura. La Radiazione Solare, La Fotonica, Le Misurazioni . La luce è al centro del processo di nutrimento, sviluppo e benessere delle piante. Essa attiva due processi fondamentali, la fotosintesi e la fotomorfogenesi cioè il modo in cui si sviluppano le piante a secondo la qualità e tipo di luce che ricevono o secondo la fase di sviluppo. Hanno bisogno di luce particolare, anzi di uno spettro specifico. Per capire quale sia la luce giusta per ogni coltivazione dobbiamo quindi conoscere bene l'elemento "spettro solare": le lunghezze d'onda, le unità di misura e come viene caratterizzato. La luce è composta da lunghezze d'onda che vanno a combinare il cosiddetto "spettro" e l'unità di misura sono i nanometri. Lo spettro elettromagnetico è molto esteso, comprende una parte a noi visibile che chiamiamo LUCE che va da 400 nanometri parte ultravioletta, fino a 800 nanometri che è la parte del rosso ed infrarosso e da una parte non visibile per l'uomo, ma che piante e animali vedono, molto utile per l'attivazione di alcuni processi. Se conosciamo lo spettro luminoso e le sue lunghezze d'onda possiamo ricreare ambienti per ottimizzare la crescita delle piante in ambienti confinati (serre, tunnel, ecc.), ma anche con sovrastrutture su piantagioni arboree. Il mestiere del contadino è destinato ad evolversi e a mutare assieme ai cambiamenti tecnologici. Il coltivatore molto difficilmente potrà ancora essere receptivo solamente come un lavoratore manuale, oggi è uno specialista che si assicura che i trattori siano perfettamente funzionanti, un investigatore che analizza i dati raccolti sul campo dai sensori e da quelli satellitari. Un agricoltore "tecnologico" che si occupa dello stato di salute della terra e delle piante, un biologo un matematico un chimico che sa calibrare in maniera ottimale l'utilizzo di fitofarmaci e nutrienti in modo da abbattere i costi ed ottenere

cibo salubre, non solo, ma è chiamato alla capacità di mantenere la fertilità chimico-fisica e microbiologica (microbiota) dei terreni e ristabilire un rapporto di simbiosi tra ambiente epigeo ed ambiente ipogeo, a saper interpretare turbe da eventi biotici ed abiotici, ma anche saper valutare come la radiazione solare influisce sulle performance delle piante: non è tutta luce quella che si vede!.

L'esperienza del progetto N.I.T.A.P. ha determinato risultati pratici, misurati anche nei rapporti causa effetto, che hanno individuato:

- input alla produzione dei supporti polimerici, rispetto alla composizione e numero di nanoparticelle, correlate alle utilità nel biocontrollo. Alla sostenibilità economica e di risultati attesi nella applicazione di film luminescenti sia delle aziende agricole e sia dei soggetti industriali della produzione di film e pellicole quantiche.
- La grande quantità di dati raccolti, provenienti dai dati di misurazione sulle colture e dal biocontrollo ottenuti attraverso la manipolazione dello spettro solare, ha dato la possibilità di creare sistemi di supporto alle decisioni aggiornati.
- Sistemi di comunicazione interoperabili, con il supporto dei DSS, attraversano l'intera filiera nei processi di integrazione orizzontali e verticali. I sistemi software, open source, costituiscono un "up grade", nelle piattaforme del Future Internet ed utilizzati dal fornitore (in ordine di intervento: Lualtek - "ERREGI Rimmaudo e Evja - ognuno per competenza, specializzate in soluzioni digitali avanzate per l'agricoltura di precisione" e per l'implementazione dei DSS, decision support system.

Il lavoro sperimentale svolto ha permesso la creazione di nuovi processi sperimentali (in fase di studio) che potranno essere avviati per nuove caratterizzazioni e adattamenti a sistemi locali, interaziendali e per l'individuazione di nuovi tratti differenziali del cibo.

Nuove commesse, in questo contesto, potranno essere richieste alle industrie produttrici di film polimerici QDs, per nuove utilità. I DSS, quale supporto ai processi di integrazione, approdano attraverso le piattaforme del future internet (fispace / fiware) alla comunicazione al consumo (dashboard, beacon).

Quindi dalla produzione al consumo, comunicando con informazioni di dettaglio dai sensori di prossimità, le caratteristiche di sanità, salubrità, contenuti organolettici del prodotto ai segmenti sempre più grandi del consumo consapevole.

Forzando le definizioni si può sintetizzare tutto (non esaustivo) nell'acronimo ESG: Environmental, Social e Governance. Si tratta di tre aree di valutazione che misurano l'impegno di un'azienda in termini di sostenibilità ambientale, responsabilità sociale e buona governance interna. È un principio per valutare e determinare se un'impresa è affidabile, etica e pronta per il futuro. Questo approccio viene sempre più adottato da investitori, banche, istituzioni e stakeholder come base per le proprie decisioni di investimento.

L'applicazione di soluzioni digitali avanzate per l'agricoltura di precisione integrando sensori IoT, modelli agronomici predittivi e intelligenza artificiale in un Sistema di Supporto Decisionale (DSS) brevettato, dà la possibilità di aiutare gli agricoltori a prendere decisioni più consapevoli e tempestive. L'obiettivo è ottimizzare la gestione irrigua, nutrizionale e fitosanitaria delle colture, migliorando rese e sostenibilità.

Prima di descrivere i risultati prettamente agronomici, del progetto N.I.T.A.P., corre l'obbligo di decifrare il significato di "manipolazione spettrale" della radiazione solare e quali sono i parametri e le definizioni scientifiche ad esse riguardanti:

LA RADIAZIONE SOLARE:

La radiazione solare è l'energia radiante emessa dal Sole nello spazio interplanetario, generata a partire dalle reazioni termonucleari di fusione che avvengono nel nucleo solare e che producono radiazioni elettromagnetiche a varie frequenze o lunghezze d'onda, le quali si propagano poi nello spazio alle velocità tipiche di queste onde, trasportando con sé energia solare. La quantità totale di radiazione emessa dal Sole nell'unità di tempo e nell'unità di superficie è misurata alle soglie esterne della atmosfera terrestre, come valore pressoché costante nel tempo, detta costante solare.

La radiazione solare non è concentrata su una singola frequenza, ma è distribuita su un ampio spettro di frequenze, in modo non uniforme, ma con la tipica forma "a campana", similmente allo spettro del corpo nero, col quale la sorgente solare è confrontata. Il massimo della radiazione, misurata fuori dall'atmosfera terrestre (in base alla legge di Wien: Intensità di emissione del corpo nero in funzione della lunghezza d'onda per varie temperature (assolute), è centrato nella banda della luce visibile, che ha il picco alla lunghezza d'onda di circa 500 nm, corrispondente al colore Ciano-Verde.

PAR e PIANTE (ma non solo)

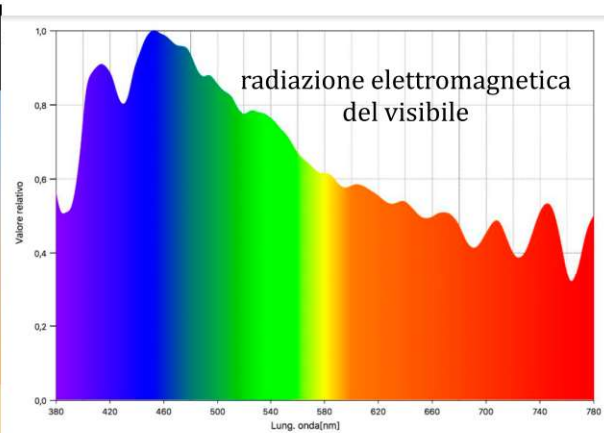
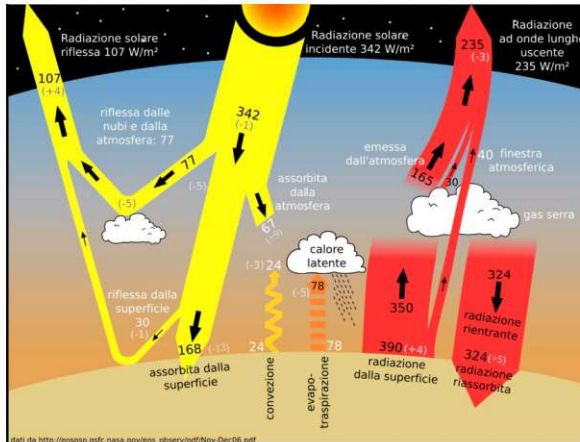
La banda delle radiazioni fotosinteticamente attive (PAR) va dai 400 ai 700 nm, corrisponde alla radiazione visibile ed è pari al 41% della radiazione totale. All'interno del PAR esistono sotto bande con radiazioni:

- blu-violette, (400-490 nm), assorbite dai pigmenti, con azione sulla fioritura, sintesi proteica, effetti fototropici, medio effetto sulla fotosintesi;
- verdi (490-560 nm), le meno attive fotosinteticamente;
- gialle (560-590 nm);
- rosso-arancio (590-700 nm), molto attive per la fotosintesi.

Le foglie delle piante assorbono principalmente la radiazione rossa e blu nel primo strato delle cellule fotosintetiche a causa dell'assorbimento della clorofilla. La luce verde tuttavia penetra più profondamente nell'interno della foglia e questo rende la fotosintesi più efficiente del colore rosso.

Oltre alla radiazione visibile una componente energeticamente inferiore, ma comunque degna di nota per i loro effetti è costituita dagli infrarossi e soprattutto dai raggi ultravioletti.

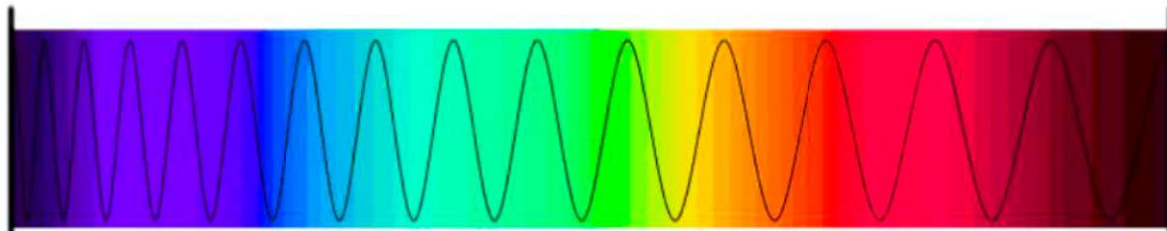
Nell'attraversare l'atmosfera la radiazione solare subisce fenomeni di riflessione, rifrazione, assorbimento, diffusione ad opera dei vari gas atmosferici in misura variabile in funzione della frequenza, così che al suolo lo spettro solare risulta irregolare rispetto a quello rilevato alle soglie esterne dell'atmosfera (TOA) con presenza di tipiche bande di assorbimento o riflessione.



400 nm

luce visibile

700 nm



frequenze più alte
(lunghezze d'onda più basse)

frequenze più basse
(lunghezze d'onda più alte)

Tipo di radiazione elettromagnetica	Frequenza	Lunghezza d'onda
Onde radio	≤250 MHz	10 km - 10 cm
Microonde	250 MHz – 300 GHz	1 m – 1 mm
Infrarossi	300 GHz – 428 THz	1 mm – 700 nm
Visibile	428 THz – 749 THz	700 nm – 400 nm
Ultravioletto	749 THz – 30 PHz	400 nm – 10 nm
Raggi X	30 PHz – 300 EHz	10 nm – 1 pm
Raggi gamma	≥300 EHz	≤1 pm

Per differenti lunghezze d'onda abbiamo i raggi Gamma, la radiazione di Roentgen, la radiazione Ultravioletta, la **luce visibile**, la radiazione Infrarossa, le Microonde, FM, TV, onde corte e onde lunghe con lunghezza d'onda maggiore di 10.000λ .

a) La radiazione visibile

La radiazione visibile è la regione dello spettro elettromagnetico che l'occhio umano può vedere. È anche detta luce visibile o semplicemente **luce**.

All'interno della radiazione visibile l'occhio umano percepisce i vari colori, a seconda della lunghezza d'onda delle radiazioni.

- Rosso da 750 a 640 nm
- Arancio da 640 a 580 nm
- Giallo da 580 a 570 nm
- Verde da 570 a 490 nm
- Blu da 490 a 450 nm
- Indaco da 450 a 420 nm
- Violetto da 420 a 400 nm

Al di sopra e al di sotto della regione della luce visibile (400-700 nanometri) l'occhio umano non percepisce nulla.

B1) LUCE PAR

La luce visibile (lunghezza d'onda 400 – 700 nm) corrisponde quasi completamente allo spettro utilizzato dalle piante per la fotosintesi. Per questo è detta **'photosynthetically active radiation'** (acronimo PAR). Non tutti i colori permettono la fotosintesi nella stessa misura. Il rosso è il colore più efficiente; andando verso il verde l'efficienza si riduce e con il blu aumenta nuovamente. Questo vale per le singole foglie. A livello dell'impianto, la luce verde è efficiente come quella blu, contrariamente a quanto spesso si pensa. Il colore della luce influisce anche sulla forma e sullo sviluppo delle piante. Spesso è determinante il rapporto fra i colori. Se il rosso è prevalente rispetto al rosso estremo, la coltivazione ha una crescita scarsa. Questo vale anche quando il blu è predominante rispetto al verde.

B2) RAGGI UV

I raggi UV (lunghezza d'onda 280 – 400 nm) a dosi elevate possono inibire la fotosintesi e provocare danni visibili alla coltivazione. Questo è un rischio reale nelle serre coperte con film tradizionali. Ne sono responsabili soprattutto i raggi UV-B (280-320 nm). I raggi UV, tuttavia, hanno anche effetti positivi, come intensificare il colore delle piante ornamentali e, cosa molto importante, migliorare la resistenza alle malattie e ai parassiti.

B3) INFRAROSSI E NIR

Tutti i raggi con una lunghezza d'onda superiore a 700 nm sono detti infrarossi. La prima parte è composta dai raggi a onda corta, noti anche come radiazioni di calore o "near infrared" (NIR, fino a 2500 nm). La transizione fra la luce visibile e gli infrarossi è costituita dal rosso estremo, un colore non visibile all'occhio umano. Per le piante il rosso estremo è molto importante, fra l'altro per permettere alle piante di ampliare le dimensioni fogliari. La pianta non utilizza gli infrarossi per la fotosintesi, ma per il calore, che può essere utile, ma non deve mai essere eccessivo. Se la temperatura delle piante aumenta eccessivamente, sorgono vari problemi: la fotosintesi si interrompe e si hanno danni irreversibili.

ASSORBIMENTO DI ENERGIA LUMINOSA E CLOROFILLA

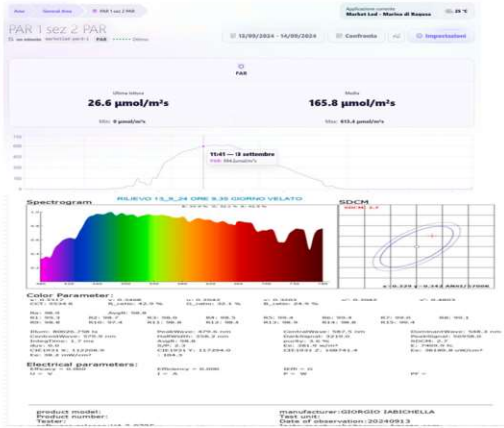
Le piante usano la clorofilla per assorbire l'energia luminosa per la fotosintesi. La clorofilla assorbe fortemente la luce nelle lunghezze d'onda rosse (circa 660 nm) e blu (circa 440 nm), riflettendo la luce verde. Comprendere questi schemi di assorbimento aiuta ricercatori, agronomi, biologi, chimici ma anche gli agricoltori:

- Luce rossa: Promuove l'allungamento dello stelo e la crescita delle foglie.
- Luce blu: Incoraggia lo sviluppo e la fioritura delle radici.
- Luce lontana: Può influenzare il tempo di fioritura e l'allungamento dello stelo.

Secondo ricercatori e studiosi che si occupano di energia luminosa per la fotosintesi, un possibile range percentuale dei "colori" si potrebbe configurare:

- Colore Rosso (+/- 650 nanometri) 88%
- Colore verde (+/- 530 nanometri) 5%
- Colore Blu (+/- 460 nanometri) 7%

In serra sperimentale N.I.T.A.P., presso Econatura group con sede in Marina di Ragusa, utilizzando specifici strumenti è stato possibile effettuare tutte le misurazioni riguardanti la radiazione solare:



INGEGNERIA DELLA LUCE SOLARE PER AUMENTO DELLA PRODUTTIVITÀ

L'uso di film luminescenti comporta lo spostamento dello spettro luminoso. Le molecole di colorante assorbono fotoni di luce prevalentemente dalla parte verde dello spettro ed emettono fotoni di luce prevalentemente dalla parte rossa dello spettro, spostando lo spettro per un assorbimento più ottimale da parte della clorofilla.

COSA SONO I PAR I PPF E PPFD

sono modi per misurare la luce nelle applicazioni di illuminazione fotosintetica e servono ai coltivatori a capire come possono essere utilizzati per determinare i livelli di luce adeguati a far crescere piante rigogliose e produttive.

CHE COS' È IL PAR?

Il PAR (Radiazione fotosinteticamente attiva) è un termine molto usato (e spesso usato in modo improprio). Definisce il tipo di luce (gli scienziati chiamano la luce "radiazione elettromagnetica") necessaria per supportare la fotosintesi nella vita delle piante. Attraverso la fotosintesi, le piante convertono l'energia della luce in energia chimica, che è il cibo che usano per crescere e prosperare.

Come tutti sappiamo, una parte della luce (come la luce di una candela) è visibile all'occhio umano e una parte (come l'infrarosso) no. Gli studiosi definiscono i diversi tipi di luce in base alle loro "lunghezze d'onda", queste diverse lunghezze d'onda costituiscono lo "spettro" di radiazione elettromagnetica che comprende raggi X, raggi gamma, ultravioletti, luce visibile, infrarossi, onde radio e microonde.

È interessante notare che le piante usano all'incirca la stessa parte dello spettro che è visibile all'occhio umano, ma le lunghezze d'onda che percepiamo come le più luminose (cioè la luce verde) non sono le lunghezze d'onda più efficienti per la fotosintesi.

Quindi, la prima cosa da capire sulla PAR è come misurare i flussi fotonici, PPF e PPFD. Quando si seleziona un sistema di illuminazione o un apparecchio per promuovere la fotosintesi, sono importanti tre parametri di misurazione: quanta luce produce l'apparecchio, quanta luce è disponibile per le piante e quanta luce riceve la pianta durante il fotoperiodo.

Definizioni

Radiazione fotosinteticamente attiva (PAR). È l'energia di base per produrre biomassa, influenza direttamente la crescita, lo sviluppo, la resa e la qualità delle piante. PAR definisce quale tipo di sorgente luminosa può supportare la fotosintesi delle piante. La gamma di lunghezze d'onda della sorgente luminosa per promuovere la crescita verde è più ampia della gamma di lunghezze d'onda di radiazione fotosinteticamente attiva, è approssimativamente nell'intervallo da 300 nm a 800 nm, questa parte di radiazione è chiamata radiazione fisiologica. Oltre a promuovere la fotosintesi, influisce anche su altre attività fisiologiche.

Flusso fotonico fotosintetico (PPF). Misura la luce totale (fotoni) emessa da una sorgente luminosa ogni secondo. PPF ci dice quanto PAR viene emesso da una sorgente luminosa, misurato in "micromoli al secondo" ed espresso in $\mu\text{mol} / \text{s}$.

Il PPF Densità del flusso di fotoni fotosintetici (PPFD). Misura la quantità di fotoni che raggiungono l'obiettivo ogni secondo. Il PPF Densità viene misurato su un'area quadrata di un metro in "micromoli per metro quadrato al secondo" ed espresso in $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$.

PARTE PRIMA: IMPIEGO DI FILM LUMINESCENTI NEL PROGETTO N.I.T.A.P.

L'Agronomo N.I.T.A.P. in campo

Le caratteristiche radiometriche dei film plastici utilizzati per la protezione delle colture influenzano la qualità e la quantità della radiazione solare che attraversa il materiale di copertura producendo effetti sui fotorecettori delle piante, quali il fitocromo e il criptocromo. Lo sviluppo fenologico delle piante sotto film di copertura è, quindi, fortemente influenzato dalla distribuzione spettrale della radiazione solare all'interno dell'ambiente protetto.

Il consulente agronomico incaricato dal progetto NITAP (*Innovation broker: figura chiamata a svolgere ricerche, osservazioni ed indirizzi destinate all'innovazione previste dal regolamento UE n.1305/2013. per favorire le sinergie tra le imprese e il mondo della ricerca e ridurre i tempi di trasferimento e adozione delle innovazioni nel mondo rurale*) ha accompagnato i partner di progetto alla conduzione, analisi e interpretazione dei dati raccolti in campo, suggerendo strategie operative basate su evidenze scientifiche, che di seguito elenco, a seguito dell'utilizzo di film luminescenti (caratteristiche allegate a fine relazione).

I partner di progetto che hanno operato nello specifico sono stati:

- UNICT- responsabile scientifico Prof Rapisarda, coadiuvato dai borsisti incaricati)
- Cerisvi
- Lualtek e Erregi Rimmaudo, quest'ultimi due sono stati i fornitori delle tecnologie di precisione e adattate ai contesti locali.
- Casata delle Delizie (ente che ha valutato e trasformato il prodotto).

Questo approccio ibrido, che coniuga strumenti digitali e competenze umane, rappresenta un modello innovativo e collaborativo nel panorama dell'agricoltura 4.0.

La ERREGI Rimmaudo & C. è stata coinvolta nella redazione tecnica del presente report, portando il proprio contributo metodologico e la propria esperienza nella strutturazione dei dati agronomici. Lo scopo del documento è sintetizzare in forma divulgativa ma rigorosa i risultati sperimentali ottenuti nella serra NITAP, con sede in *contrada Fontana Vecchia in di Marina di Ragusa*, nell'ambito della sperimentazione su pellicole quantiche per la modulazione della luce.

Descrizione Tecnica, avanzamento lavori

Nelle varie fasi di avanzamento del progetto sperimentale prototipale, la raccolta dei dati è stata indirizzata al secondo ciclo di coltivazione dove l'UNICT ha rilevato i vari stadi produttivi per il rilevamento della presenza/assenza di insetti e funghi target.

Nel caso del primo trapianto si sono valutati le risposte agronomiche della coltivazione, rispetto anche all' ambiente, si sono monitorati gli strumenti di fertirrigazione e quindi predisposto il quaderno di campo per i rilievi sia dal punto di vista entomologico, patologico e non ultimo il sistema di monitoraggio di fattori ambientali e dei rilievi della radiazione solare.

Gli stadi produttivi, con applicazioni di sensori che rilevano le radiazioni solari, sono stati confrontati anche presso i partner di progetto (all'interno delle serre tipiche del territorio). Gli strumenti utilizzati sono stati, TDR, Tensiometri, misuratori di PAR, Piranometri, luxometri e spettrometri.

Si sono estese ai partner di progetto l'impiego di film Qds Luminescenti e confrontati i risultati con parti di superficie coperte con i film che solitamente utilizzato nelle aziende (Light Stars). Allo scopo si è applicata una lauta concimazione di letame "biodinamico" per rafforzare la fertilità dei terreni di coltivo.

I cicli colturali i loro monitoraggi

Tra i diversi cicli colturali effettuati all'interno della serra NITAP è stato valutato il secondo ciclo colturale che ha avuto inizio col trapianto del pomodoro datterino, cv Datteri, il 03/05/2024 e si è concluso con la raccolta del 23/07/2024.

Sono stati rilevati dati di produzione e delle caratteristiche di alcuni fattori organolettici dei frutti. In particolare si è studiata la rilevanza sui frutti maturi e delle caratteristiche in resa e qualità a seguito della macinatura operata presso il partner di progetto il "Casato delle delizie".

In questo ciclo colturale sono stati raccolti i dati derivanti dall' utilizzo del film luminescente consentendo di verificare gli incrementi produttivi e le reazioni delle piante a seguito della condizione di "luce solare modificata".

Il film luminescente ha permesso di l'incremento delle lunghezze d'onda benefiche per la fotosintesi (PAR: Photosynthetically Active Radiazioni).

I lavori e le rilevazioni dei dati, inerenti la dinamica di sviluppo di insetti sotto i film luminescenti, sono stati svolti dall'UNICT e diretti dal Prof. Carmelo Rapisarda collaborato dai borsisti che a tal scopo sono stati incaricati all'interno del Progetto NITAP.

La conclusione finale e quindi il compendio scientifico, le analisi e i risultati saranno disponibili dopo che il Prof. Carmelo Rapisarda predisporrà il quadro generale dei dati assunti attraverso analisi statistiche e argomentazioni entomologiche e fitopatologiche. Tali relazioni scientifiche saranno pubblicate sul sito dedicato: www.nitap.it

Le argomentazioni agronomiche derivano dalle rilevazioni di campo operate dal sottoscritto seguendo, per incarico e per conto del Capofila Market Led, giornalmente l'evoluzione delle piante e acquisendo pareri ed impressioni dai partner di progetto.

Rilievi agronomici

Si sono rilevati dati molto interessanti a riguardo gli effetti del film Luminescente, ma anche dati sullo sviluppo o meno dei parassiti, nel particolare caso sono stati valutati la Bemisia Tabaci, la Tuta absoluta, la Spodoptera littoralis, ed una cocciniglia, la Phenacoccus solenopsis appartenente all'ordine degli Emiptera.

Il terreno di coltivo è stato concimato impiegando letame di base, unito ad una abbondante somministrazione di "terra di diatomea, ricca di silicio" e di altri componenti la fertilità. Non sono stati applicati prodotti a valenza fitoiatrica, per trattamenti previsti o prevedibili. Tale scelta è stata condivisa ed applicata per evitare interferenze allo sviluppo di eventuali insetti e/o funghi. Durante il periodo di osservazione i laterali delle serre sono stati mantenute costantemente alzate per favorire le infestazioni "massicce" di insetti.

A fine gennaio /prima settimana di febbraio 2025 si è avviata una nuova coltivazione per la convalida dei dati rilevati, avviando l'estensione delle prove presso i partner di progetto. In particolare si è estesa la superficie con l'impiego di film Luminescenti QDs ed il confronto con film termici per armonizzare e confrontare i risultati ottenuti.

A tal scopo sono stati incrementati i sensori misuratori della radiazione solare, i sensori per i rilievi dei dati "ipogei" forniti dal partner di progetto Lualtek srl. Tale incremento di strumentazione è stato inserito, su superficie destinate al progetto, presso i partner del GO.

Nella fase finale del progetto, avendo raccolto tutti i dati necessari, si è proceduto alla costruzione del DSS (Decision Support System), un sistema software di supporto alle decisioni, che permette di aumentare l'efficacia delle analisi in quanto fornisce supporto a tutti coloro che devono prendere decisioni strategiche in merito alle coltivazioni ed alla ricerca di input sostenibili. Per tutto quanto sopra si allega una prima e breve relazione del Prof. Carmelo Rapisarda partner Scientifico UNICT:

Plastics for roofing Agrivoltaic Greenhouses: new Challenges in IPM on tomato

Carmelo Rapisarda1, Marco Di Domenico1, Alessia Farina1, Raffaele Giarratana2, Luca Maria Girgenti1, Giorgio Iabichella3, Rania Rachdi1, Pompeo Suma1

1 Department of Agriculture, Food and Environment; Applied Entomology Division; University of Catania; via S. Sofia, 100; 95123 Catania, Italy;

2 Market Led Srl; Borgo Cavour, 49; 63834 Massa Fermana (FM), Italy;

3 Technical office of agronomy; via dei Cedri, 14; 97013 Comiso (RG), Italy.

e-mail address: carmelo.rapisarda@unict.it

Astratto. Nelle serre agrivoltaiche, che offrono una soluzione promettente per l'agricoltura sostenibile combinando la coltivazione di colture con la produzione di energia rinnovabile, la selezione di coperture in plastica adeguata gioca un ruolo fondamentale nell'equilibrio tra produttività agricola e produzione di energia. I materiali utilizzati devono consentire alla luce solare di raggiungere le colture diffondendo la luce, per ridurre le ombre e favorire la crescita delle piante. Le plastiche utilizzate nelle serre agrivoltaiche possono trasmettere lunghezze d'onda benefiche per la fotosintesi (PAR: Photosynthetically Active Radiation), mentre reindirizzano altre lunghezze d'onda ai pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica. Le coperture in plastica nelle serre agrivoltaiche non solo ottimizzano la luce e la temperatura per la crescita delle piante, ma possono anche svolgere un ruolo cruciale nella gestione dei parassiti e delle malattie. Controllando i fattori ambientali, in particolare lo spettro luminoso, queste coperture possono creare condizioni che scoraggiano i parassiti e inibiscono la trasmissione di agenti patogeni delle piante. Il ruolo fitosanitario di plastiche innovative, utilizzabili nelle serre agrivoltaiche, e il loro possibile ruolo nelle strategie di IPM sono stati studiati su colture di pomodoro protette in Sicilia. Gli effetti di queste plastiche, rispetto a quelle convenzionali o ad altri fotoselettivi, sono state testate su alcuni dei principali parassiti del pomodoro in questa regione, come i Lepidotteri Tuta absoluta e gli Spodoptera littoralis e la mosca bianca Bemisia tabaci e la cocciniglia Phenacoccus solenopsis appartenenti all'ordine degli Emiptera. Un ruolo limitante è stato notato soprattutto su B. tabaci, dimostrato non solo dal minor numero di adulti, ma dalla ridotta capacità riproduttiva e di sviluppo dell'insetto, dimostrata da un minor numero di uova e ninfe su piante coltivate sotto le plastiche testate. Poiché B. tabaci è un importante vettore di virus, sono attualmente in corso valutazioni sull'effetto di queste plastiche anche sulla diffusione e la gravità degli attacchi virali. Tuttavia, l'importanza dell'utilizzo di questi nuovi materiali di copertura nei programmi IPM per le colture orticole in serra è già evidente dai dati disponibili finora. Parole chiave: controllo fisico, coperture delle serre, modifica della luce, controllo dei parassiti.

Prima di entrare nel vivo della trattazione agronomica e del significato dello studio della radiazione solare anticipo uno studio realizzato con la Dottoressa Laura Cammarisano Dottore di ricerca in Biologia vegetale. Gli studi e la sua ricerca riguardano sull'effetti di trattamenti luminosi su alcune piante specifiche. nel caso del pomodoro si evidenziano gli effetti del trattamento con film a luce rossa e con film a luce blu, dimostrando come un film che blocca gli UV e i raggi infrarossi e quindi sottoposta a luce rossa ha portato maggiore produttività.

Laura Cammarisano, dottore di ricerca in biologia vegetale
 Esperta in fotobiologia e fisiologia vegetale in ambiente controllato

• Università della Calabria & Università di Cardiff in Regno Unito
 Laureata in biologia con lavoro di ricerca sulla qualità della rucola coltivata in ambiente controllato e sulla qualità di insalata e frutta durante la shelf-life.

• Università di Aberystwyth in Regno Unito
 Dottorato di ricerca con un progetto incentrato sull'ottimizzazione della resa vegetale e della qualità nutrizionale della lattuga nei sistemi di agricoltura verticale utilizzando la luce artificiale. Studi che hanno portato alla determinazione di specifiche ricette luminose efficienti mirate al simultaneo aumento di peso e contenuto di antociani.

• Istituto per l'orticoltura Leibniz (IGZ) in Germania
 Post-doc su monitoraggio e controllo della morfologia e della fitochimica delle piante in seguito ad applicazione di stress abiotici in ambienti climatizzati inclusi greenhouse e vertical farm.



Laura Cammarisano, cammarisano@gmail.com



La sua ricerca si focalizza sullo studio delle risposte della pianta a trattamenti luminosi specifici ed efficienti mirati al simultaneo aumento di peso e qualità.

Combinando trattamenti di intensità luminosa, fotoperiodo e spettro si può influenzare la fotosintesi e la morfologia della pianta.



Pertanto, si può manipolare:

PESO o RESA

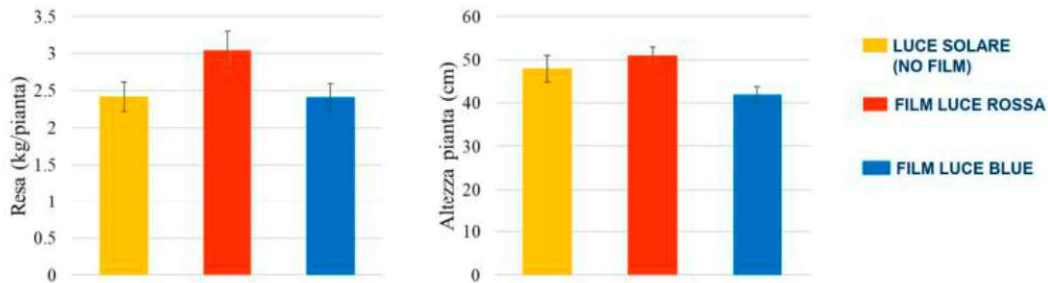
QUALITÀ NUTRIZIONALE
 E VISUALE

Laura Cammarisano, cammarisano@gmail.com

Simili risultati si possono ottenere manipolando l'intensità e lo spettro luminosi in serra tramite l'applicazione di plastiche o film fotoselettivi, qui vediamo l'esempio su pomodoro.



Piantine di pomodoro



L'aggiunta di un film che blocca la radiazione UV ed infrarossa, e trasmette solo luce rossa ha portato una resa maggiore del film che trasmette solo luce blu. In compenso il film a trasmissione blu ha avuto un effetto significativo sul controllo dell'altezza della pianta.

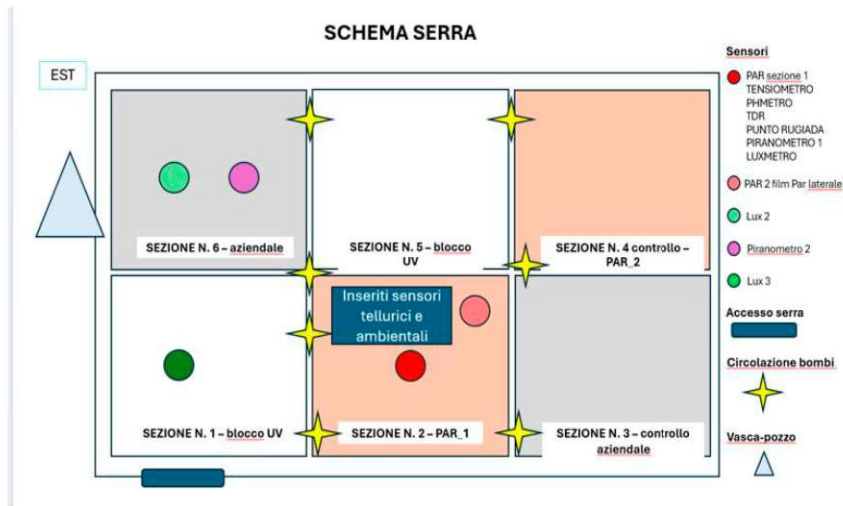
Gmizo et al., 2012. The Effect of Colour Plastic Films on the Growth, Yield and Plant Pigment Content of Tomatoes.

Contesto sperimentale

A Marina di Ragusa, sta prendendo forma una nuova idea di agricoltura: quella che non solo riceve la luce solare, ma la trasforma e la governa, per guidare le piante verso una crescita più efficiente, sostenibile e controllata. È il cuore del progetto **NITAP - Nanomateriali e Innovazioni Tecnologiche in Agricoltura Protetta**, un'iniziativa sperimentale che unisce agronomi, fisici, ricercatori e aziende agricole nel tentativo di rivoluzionare la coltivazione in ambiente protetto.

L'idea chiave è semplice quanto potente: partendo dall'indiscutibile concetto che le piante assorbono solo una minima parte della luce che entra nelle serre. Perché allora non sfruttare la luce inutilizzata per creare energia elettrica o modificarla per potenziare la fotosintesi? Ecco come sta cambiando la serricoltura con le **coperture fotoselettive**. Modulare la luce all'interno delle serre tramite pellicole luminescenti a base di punti quantici, capaci di manipolare lo spettro solare. Un'operazione di chirurgia luminosa, che permette di selezionare, filtrare, trasformare e restituire ai vegetali solo quelle frequenze realmente utili alla fotosintesi e al loro equilibrio fisiologico.

Schema serra della prova sperimentale:



le caratteristiche del film luminescente

Product Name:	LLEAF 250um Film 620nm UV Stable
Product Type:	Polycarbonate Film
Product Code:	L250F420aUV
Description:	Greenhouse film for external use
Properties	UV stable, high diffusion, spectrum shifting
Nominal Thickness	250um (micron) / 0.25mm
Average Thickness Tolerance	+/- 5%
Warranty	7 years

Usage:

- As an external covering for greenhouses where sunlight spectrum shifting from green to red is desirable.
- For increasing photosynthesis and diffusing light
- Sheets can be drilled, cut with scissors, screwed, glued or heat welded.
- Heat welding temperature 270°C
- For best results LLEAF Film should be installed with the inside of the roll (concave surface) facing the plants.

Properties	Values	
	Metric	Imperial
Width	1m	3ft 3.37in
Roll Length	100m	328ft 1 in
Roll Weight	30kg	66.1lb
Density	1.2g / cm ³	0.04lb / in ³
Weight	300gsm	
Tensile Strength	63MPa	9137Psi
Elongation at Break	120%	
Heat Deflection Temperature	0.45MPa: 133°C ISO 75/Be	

Il Gruppo Operativo NITAP e gli attori della ricerca scientifica.

PSR Sicilia 2014/20224 misura 16/16.1 Progetto NITAP- convegno finale 17/07/2025.

RELAZIONE TECNICA

PROGETTO NITAP

Contesto sperimentale

A Marina di Ragusa, sta prendendo forma una nuova idea di agricoltura: quella che non solo riceve la luce solare, ma la trasforma e la governa, per guidare le piante verso una crescita più efficiente, sostenibile e controllata. È il cuore del progetto NITAP - Nanomateriali e Innovazioni Tecnologiche in Agricoltura Protetta, un'iniziativa sperimentale che unisce agronomi, fisici, ricercatori e aziende agricole nel tentativo di rivoluzionare la coltivazione in ambiente protetto.

L'idea chiave è semplice quanto potente: modulare la luce all'interno delle serre tramite pellicole luminescenti a base di punti quantici, capaci di manipolare lo spettro solare. Un'operazione di chirurgia luminosa, che permette di selezionare, filtrare, trasformare e restituire ai vegetali solo quelle frequenze realmente utili alla fotosintesi e al loro equilibrio fisiologico.

Che cos'è il "Photonic Agrivoltaic®"?

Il sistema Photonic Agrivoltaic® - sviluppato e testato all'interno del progetto NITAP - si basa sul principio di "manipolazione spettrale localizzata". In concreto, si applicano pellicole quantiche (film plastici con nanoparticelle) su schermi orizzontali e verticali, su fonti ottiche azzurre (Photonic Tube®) o su dispositivi ottici alimentati da luce naturale, in modo da:

- filtrare i raggi UV e blu (meno utili e più dannosi)

- convertire queste lunghezze d'onda in luce rossa e rossa-lontana (600–680 nm), ottimale per la fotosintesi
- riflettere parte della luce diffusa (albedo) per illuminare anche gli spazi in ombra

Questa manipolazione avviene "a misura di pianta", vicino alla chioma, in corrispondenza delle foglie, dei frutti o del suolo, adattandosi all'orografia del terreno e alla disposizione delle colture.

Layout sperimentale

Il progetto NITAP è stato strutturato secondo un layout sperimentale rigoroso e ripetibile, che prevede la suddivisione della serra in sei settori distinti (**Figura 1**), corrispondenti a tre tesi sperimentali applicate con due repliche ciascuna. Questa configurazione consente di ottenere una valutazione comparativa robusta e statisticamente significativa degli effetti delle diverse coperture sulla coltivazione in ambiente protetto.

Le tesi testate sono:

- Tesi 1 – Film UV-block/modulante: progettato per filtrare selettivamente le radiazioni più energetiche, in particolare gli UV, riducendo l'irraggiamento diretto e l'accumulo termico. (Sezione 1 e 5)
- Tesi 2 – Film luminescente con punti quantici: sviluppato per convertire la luce UV/blu in lunghezze d'onda rosse e rosso-lontane, ottimizzando l'efficienza fotosintetica delle piante. (Sezione 2 e 4)
- Tesi 3 – Film PVC standard: materiale convenzionale, privo di modulazione spettrale, utilizzato come controllo. (Sezione 3 e 6)

Ogni tesi è applicata su due sezioni replicate, ciascuna della dimensione di circa 80 m², con le stesse varietà colturali (es. pomodoro ciliegino, datterino), impiantate simultaneamente e gestite con protocolli agronomici uniformi. Il layout è stato concepito per:

- monitorare lo sviluppo vegetativo e riproduttivo delle piante
- confrontare rese, qualità dei frutti, parametri fisiologici fogliari
- valutare le condizioni microclimatiche interne (temperatura, umidità, spettro PAR)
- analizzare l'interazione con insetti fitofagi e impollinatori
- Il monitoraggio avviene in continuo, supportato da sensori per i parametri micro-ambientali, rilevazioni manuali e analisi periodiche. La configurazione a repliche multiple per ogni tesi è fondamentale per validare con rigore i dati raccolti e per estendere, su basi sperimentali solide, le conclusioni a scenari reali di produzione in serra.



figura 1 contesto sperimentale in cui è possibile osservare le pellicole quantiche in funzione.

Analisi dati

La serra sperimentale, monitorata con sensori di precisione, ha prodotto risultati misurabili e concreti. Alcuni dati chiave:

- Nella sezione 2 (film luminescente), la banda del rosso sotto luce diffusa ha raggiunto il 55,4%, con intensità pari a 1 (massima efficienza fotosintetica).
- All'esterno, la stessa banda rossa era al 42,9% con intensità 0,8.
- I film modulanti sono riusciti anche a filtrare selettivamente gli UV, interferendo con l'orientamento degli insetti dannosi.
- Le piante cresciute sotto il film luminescente hanno prodotto più grappoli per pianta (8,2 vs 7,5) e più bacche per grappolo (18,5-20 vs 14-17) rispetto alle serre con PVC standard.

Temperature e qualità della luce

Uno degli aspetti centrali della sperimentazione NITAP è la valutazione dell'effetto delle coperture innovative non solo sulla composizione spettrale della luce, ma anche sul microclima interno alla serra, con particolare attenzione all'andamento delle temperature nei diversi periodi dell'anno e al loro impatto sulla fisiologia delle colture.

Risultati produttivi 2024

Già nel primo ciclo colturale 2024 i risultati sono stati evidenti:

- Le sezioni con film luminescente hanno fatto registrare una produzione di 92,20 kg di frutti, superiori sia alle parcelle con PVC (80,65 kg) che a quelle con film UV-assorbente (76,15 kg).
- Questo conferma che la qualità della luce e la sua modulazione incidono direttamente sulla produttività, soprattutto quando accompagnate da una gestione ottimale delle temperature.

Andamento termico

L'analisi dei dati di temperatura del 2024-2025 consente di tracciare alcune osservazioni significative, in relazione al tipo di film utilizzato:

- Tesi 2 – Film luminescente (Sezioni 2 e 4)
 - Le temperature medie, minime e massime giornaliere (**Figura 2**) risultano quasi sovrapposte.
 - Questo comportamento indica una capacità della pellicola di "smussare" le oscillazioni termiche, mantenendo la coltura entro un range ottimale e fisiologicamente stabile.

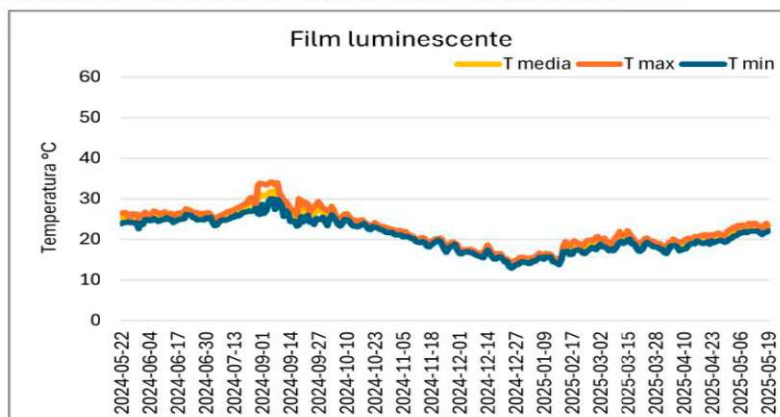


Figura 2 Andamento giornaliero, nelle sezioni con film luminescente, della temperatura media (linea gialla), minima (linea blu) e massima (linea arancio) da maggio 2024 a maggio 2025.

- Tesi 3 – PVC standard (Sezioni 3 e 6)
 - In questa condizione, si registra un significativo divario tra temperatura media e massima giornaliera (**Figura 3**), con picchi di calore che superano di diversi gradi la soglia fisiologica ottimale.
 - Questi sbalzi termici quotidiani possono rappresentare una fonte di stress per le piante, riducendo la crescita e la qualità della produzione.

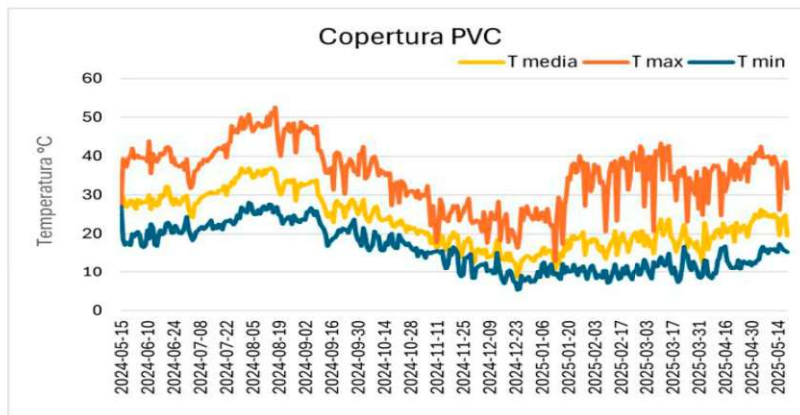


Figura 3 Andamento giornaliero, nelle sezioni con copertura convenzionale, della temperatura media (linea gialla), minima (linea blu) e massima (linea arancio) da maggio 2024 a maggio 2025.

- Tesi 1 – Film UV-assorbente (Sezioni 1 e 5)
 - Le temperature massime (Figura 4) mostrano un comportamento differenziato:
 - In estate, si osservano picchi che si distaccano dalle medie, indicando possibili momenti di stress termico.
 - In primavera, l’innalzamento della temperatura rimane contenuto e coerente con i valori ottimali per lo sviluppo.
 - In autunno e inverno, i valori tornano a essere sovrapposti, riflettendo una stabilizzazione fisiologica attesa.
 - Gennaio 2025 mostra un comportamento anomalo, che richiederà un’analisi più approfondita per comprenderne le cause, probabilmente legate a variazioni dell’irraggiamento globale e delle condizioni esterne.

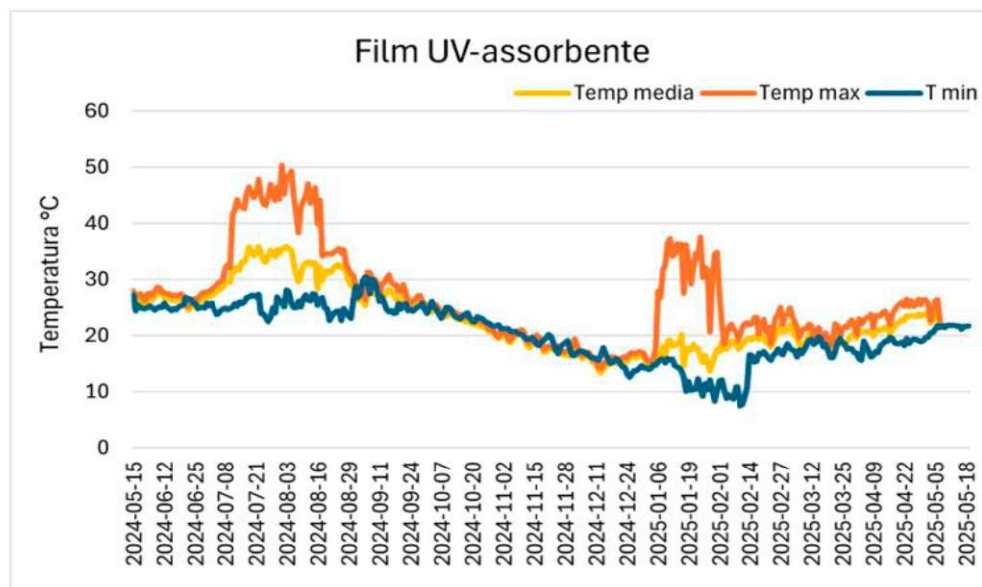


Figura 4 Andamento giornaliero, nelle sezioni con film UV-assorbente, della temperatura media (linea gialla), minima (linea blu) e massima (linea arancio) da maggio 2024 a maggio 2025.

Irraggiamento e temperatura

Tutti i dati raccolti evidenziano con chiarezza un concetto fondamentale: l’irraggiamento solare e la temperatura sono strettamente correlati, ma possono essere modulati in modo intelligente attraverso la scelta delle coperture.

- Le pellicole luminescenti non si limitano a cambiare la “qualità della luce” dal punto di vista spettrale, ma modificano anche la quantità di energia termica assorbita e trattenuta all’interno della serra.
- Ne risulta un ambiente più controllabile, stabile e favorevole alla crescita, con riduzione dello stress termico, maggiore omogeneità fotosintetica e risparmio idrico.

Conclusioni

Il progetto NITAP ha consentito di verificare sul campo come l’applicazione di pellicole quantiche all’interno delle serre possa rappresentare una leva concreta per migliorare la resa agronomica, la qualità produttiva e la sostenibilità ambientale delle colture orticole. I risultati raccolti indicano con

chiarezza che l'uso di film luminescenti con punti quantici è in grado di ottimizzare lo spettro luminoso disponibile per le piante, generando un microclima più stabile, riducendo lo stress termico e aumentando significativamente la produttività rispetto ai materiali convenzionali.

Il confronto tra le diverse tesi sperimentali, basato su un layout scientificamente strutturato, ha evidenziato che la modulazione della luce può incidere non solo sulla fotosintesi, ma anche su aspetti cruciali come lo sviluppo morfologico, la sanità delle piante, la presenza di insetti dannosi e la qualità organolettica dei frutti. Inoltre, una migliore gestione delle condizioni microclimatiche, in particolare del profilo termico giornaliero, può comportare un notevole risparmio in termini di risorse idriche, grazie alla riduzione dell'evapotraspirazione e al mantenimento di condizioni più costanti e favorevoli alla crescita.

In tal senso, la sperimentazione ha posto solide basi per future implementazioni su larga scala e ha ribadito l'importanza di un approccio integrato che coniughi innovazione tecnologica e consulenza agronomica specialistica. Il report qui presentato vuole offrire una sintesi affidabile e condivisibile degli esiti tecnici emersi dalla sperimentazione, rappresentando un riferimento operativo per aziende agricole, enti di ricerca e policy makers interessati allo sviluppo di un'agricoltura protetta più intelligente, efficiente e resiliente.

RELATIVAMENTE ALLA PARTE AGROTECNICA

Si è valutato anche il contesto chimico - fisico del terreno che ha ospitato la coltura:

Materiale Limiforme % 25,84 - Materiale Argilliforme % 22,88 - S.O. % 3,23 - Azoto totale % 0,29 - Fosforo assimilabile ppm 161 (molto superiore ai valori normali) - importante presenza di scheletro.

IL CICLO CULTURALE: La validazione dei risultati scientifici

Il 3 Maggio 2024 si è proceduto al trapianto di pomodoro datterino.

Fasi di coltivazione: interventi fertilizzanti

- Pre-trapianto: **28/04/2024**
 - kg 80 Polvere di Diatomee, interrato
 - litri 1 di estratto d'aglio (che agisce contro le forme libere di nematodi al terreno).
 - Il trapianto è avvenuto nei giorni 1 e 2 Maggio.

- Il 07/05/2024 - si è proceduto alla fertirrigazione con:
 - Solfato di potassio gr. 300
 - Solfato di magnesio gr. 800
 - Crysil SC litri 2
 - Estratto d'aglio a 150 ml

- Il 16/05/2024 fertirrigato con:
 - gr. 100 complesso amminoacidi con contenuto di azospirillum spp-Pseudomonas spp- - funghi micorrizici
 - gr. 100 di formulato contenente batteri della rizosfera e trichoderma.
 - litri 1 sostanza organica.
 - dal 16/05/2024 a turni di 8 giorni interventi fertilizzanti come al punto b).

Al controllo del 24/giugno/2024 si riportano le variazioni riguardanti lo sviluppo vegetativo a confronto nelle sei sezioni, la formazione di palchi fiorali, del numero di fiori allegati, della presenza di frutti sviluppati di eventuale accelerazione e/o anticipo del ciclo culturale. (in allegati seguiranno le attese risposte alle osservazioni in campo del Prof. Carmelo Rapisarda che riguarderanno la presenza di *Bemisia tabaci*, di *tuta Obsoluta* e di quanto altro rilevante- sono allegate pure i risultati del borsista Dr. Gaetano Iacono).

Analisi dei dati agronomici

La serra sperimentale, monitorata con sensori di precisione, ha prodotto risultati misurabili e concreti. Alcuni dati chiave: Nella sezione 2 (film luminescente), la banda del rosso sotto luce diffusa ha raggiunto il 55,4%, con intensità pari a 1 (massima efficienza fotosintetica). All'esterno, la stessa banda rossa era al 42,9% con intensità 0,8.

I film modulanti sono riusciti anche a filtrare selettivamente gli UV, interferendo con l'orientamento degli insetti dannosi. Le piante cresciute sotto il film luminescente hanno prodotto più grappoli per pianta (8,2 vs 7,5) e più bacche per grappolo (18,5-20 vs 14-17) rispetto alle serre con PVC standard, dei partner di progetto.

Le piante dopo 10-15 giorni dall'inserimento dei "film luminescenti", non dimostrato segni differenziali. Superata questa iniziale i film luminescenti hanno iniziato a dimostrare le loro potenzialità. Andando avanti nel ciclo culturale, per l'entrata in funzione del PAR più sostenuto e costante, le piante mostravano differenze:

- Foglie leggermente più scure (verde intenso) più grandi (espansione della lamina fogliare)
- Grappoli fiorali che mostravano una crescita più veloce (allungamento e apertura fiori anticipata).
- Differenze si mostravano anche sulla dimensione diametrica del fusto

I risultati sulle analisi del prodotto raccolto

Per tutto quanto sopra descritto, si è arrivati alla fase di raccolta, esattamente il giorno 23/07/2024 e presso il laboratorio del partner di progetto "Casale delle Delizie" in Chiaramonte Gulfi, si è proceduto alla macinatura dei frutti raccolti, seguendo le fasi di laboratori in essere presso l'opificio e successivo imbottigliamento.

Complessivamente raccolti kg 861,00 di pomodori maturi. Con una resa in salsa complessiva litri e grado di viscometria:

superficie totale serra mq	lotti (mq 80 x 6)	prodotto fresco intera sup.	prodotto fresco per mq	salsa prodotta in tot	salsa prodotta resa su sez	prodotto salsa x mq
480	tutti e 6 i lotti	861	1,79	453,6	0,53	0,945
160	sezione1-5 aziendale	276,5	1,73		145,67	0,910
160	sezione3-6 blocco UV	272,5	1,70		143,56	0,897
160	2-4(filuminescenti)	312	1,95		164,37	1,027
		861			453,60	

NOTAZIONI FINALI	
Raccolta pomodori cv "Datterì" Serra NITAP del 19/07/2024	
Operazioni: sono stati raccolti tutti i frutti maturi, e con colorazione rossa totale.	
I raccolti sono stati così raggruppati:	kg per sezione doppia
A) Sezione 3 "controllo" e sezione sezione 6 "replica" con un raccolto totale di kg.	272,5
B) Sezione 1 copertura con raggi UV e sezione 5 "replica" con un raccolto totale di kg (dato non valutabile ai fini del trattamento " luce")	276,5
C) Sezione 2 " PAR" e sezione 4 " replica" per un totale di kg	312
	totali raccolti
	861
il prodotto è stato conservato nel magazzino Econatura c/o M. di Ragusa	
Lunedì 22/07/2024 il prodotto sarà trasportato presso il laboratorio di trasformazione di Lucifora ss (componente del NITAP) - Chiaramonte Gulfi-per essere trasformato in salsa pronta.	
Saranno effettuati tutti rilievi di competenza, che in seguito invierò	

Elaborazione del laboratorio Casata delle Delizie - Chiaramonte -



Progetto NITAP – raccolta pomodoro e macinatura presso partner di progetto Casata delle Delizie srls in Chiaramonte (RG) del 23/07/2024 su serra sperimentale Econatura ss agricola				
Kg complessivi	settore	Viscometria	Ph	Rif. lotti
549	Con Film aziendali	Cm 8,5 in 20 sec a T 28 °C	4,3	1-3-5-6
312	Con Film luminescenti	Cm 6 in 20 sec. A T 28°C	4,42	2-4
Totale raccolto kg 861	I settori 2 e 4 (con film luminescenti) presentano una viscosità maggiore			

La resa in salsa è stata di kg. 453,60 confezionata in 756 bottiglie di gr. 600 riportanti la dicitura in etichetta:

Prodotto e confezionato per:
PROGETTO NITAP
 COD. PROG. G.20000070009
 PRODOTTO DERIVANTE DALLA
 SPERIMENTAZIONE SERRA
 NITAP c/o Econatura ss.
 97012, Chiaramonte Gulfi (RG)
 nello stabilimento:
 in C.da Piano Mondello,
 17 Chiaramonte G. (RG) 97012
 ITALIA
 da consumarsi preferibilmente
 entro fine / N. di Lotto:
 L

PROGETTO NITAP

**PASSATA
 DI
 POMODORO DATTERINO**

CAMPIONE GRATUITO

INGREDIENTI: Pomodoro Datterino varietà "Datterì F1" (97%), sale

Origine del pomodoro: Italia (Sicilia)

INFORMAZIONI NUTRIZIONALI PER 100 g DI PRODOTTO: Energia 92 kJ / 22 kcal; grassi 0,1 g; di cui acidi grassi saturi 0,0 g; carboidrati 3,9 g; di cui zuccheri 2,4 g; fibre 0,6 g; proteine 1,1 g; sale 0,3 g

Dopo l'apertura conservare in frigo e consumare entro 3 giorni

Peso netto 660 g e

RACCOLTA DIFFERENZIATA
 Taglio: C / PE "1" - Metodo: Praloga - CO.21 - Raccolta netto
 Vitis in dipendenza del tipo di coltura

La superficie totale della serra è di 480 mq,

124 misura 16/16.1 Progetto NITAP- convegno finale 17/07/2025.

Conclusioni

Il progetto NITAP ha consentito di verificare sul campo come l'applicazione di pellicole quantiche all'interno delle serre possa rappresentare una leva concreta per migliorare la resa agronomica, la qualità produttiva e la sostenibilità ambientale delle colture orticole. I risultati raccolti indicano con chiarezza che l'uso di film luminescenti con punti quantici è in grado di ottimizzare lo spettro luminoso disponibile per le piante, generando un microclima più stabile, riducendo lo stress termico e aumentando significativamente la produttività rispetto ai materiali convenzionali.

Il confronto tra le diverse tesi sperimentali, basato su un layout scientificamente strutturato, ha evidenziato che la modulazione della luce può incidere non solo sulla fotosintesi, ma anche su aspetti cruciali come lo sviluppo morfologico, la

27	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 07:23
37	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 07:33
73	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 07:43
165	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 07:53
284	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 08:03
394	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 08:13
421	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 08:23
412	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 08:33
403	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 08:43
385	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 08:53
43	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 09:03
311	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 09:13
366	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 09:23
403	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 09:33
375	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 09:43
357	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 09:53
348	1148	marketled-pard-1	01/06/2024 10:03

Si riporta per completezza delle analisi e degli studi all'interno del progetto NITAP, le misurazioni e dati del penultimo ciclo produttivo Settembre- Dicembre 2024:

lettura spettrometro del 11/10/2024						
TITOLO	LUX	B	G	R	uW/cm2	W/m2
sezione 2 PAR(film luminescenti)	24834	17,40%	25,20%	57,40%	145,19	1,45
sezione 6 (controllo aziendale)	31906	21,50%	32,30%	46,30%	154,43	1,55
sezione 1 (blocco UV)	25906	17,90%	31,40%	50,80%	122,66	1,23
NOTE AL PAR	I LUX SONO MAGGIORI IN SEZ 6 - ED INFERIORI IN SEZ 2 - QUASI UGUALI SEZ 2 E SEZ 1					
BANDA IN %	LA MIGLIORE RISPOSTA LA RIPORTA LA SEZ.2 (QUINDI LA MIGLIORE RISPOSTA ALL'INCREMENTO DELLA BANDA TRA 660 Micron E 760)					
RADIAZIONE IN Watt	LA SEZIONE 2 è LEGGERMENTE PIÙ EFFICIENTE IN TERMINI DI ENERGIA					
i superiori dati si riferiscono ad una sola lettura in in unico orario ossia alle ore 11,00 del giorno 11/10/2024						
Si considera che la serra è esposta a Est- Sud Ovest						



dalla suesposta tabella si può confermare che i film luminescente hanno influito positivamente sulla coltivazione ed hanno confermato la capacità di spostare lo spettro solare verso il Rosso ed il Rosso lontano, con incremento di energia, W/m².

Nella tabella che segue si indicano i dati di produzione per sezione, che confermano i risultati del secondo ciclo di produzione di cui descritto nella prima parte:

prima raccolta del 16/11/2024 NITAP						
		lotto/sez	kg	tot sezione kg	lato Est kg	lato Ovest
Pos OVEST	sez 1 blocco UV	lotto 1	31,5	76,15	44,65	31,5
Pos EST	sez 5 Blocco UV replica sez 1	lotto 5	44,65			
Pos OVEST	sez 2 PAR 1	lotto 2	46,5	92,2	45,7	46,5
Pos EST	sez 4 PAR 2 replica sez 2	lotto 4	45,7			
Pos Ovest	sez 3 aziendale	lotto 3	30,85	80,65	49,8	30,85
Pos EST	sez 6 az.le replica 3	lotto 6	49,8			
	TOTALE NETTO RACCOLTO		249	249	140,15	108,85
Note 1: la prima raccolta non è significativa. Da considerare un grave attacco di nematodi a 20 giorni dal trapianto. Successivamente risolto						
Per sezione:						
la sezione PAR risulta il maggior produttore						
la sezione aziendale: risulta il secondo produttore						
la sezione blocco UV : il minor produttore						
Per esposizione						
l'esposizione ad EST risulta il miglior produttore nell'insieme						
Esposizioni per singole sezioni						
ad EST la sezione 6 il miglior produttore, seguito dalla sezione 4 PAR 2						
ad OVEST la sezione 2(PAR 1) il miglior produttore seguito a notevole distanza dalla sezione 3 aziendale						
Note 2						
il prossimo raccolto preferire riferirci alle piante che vengono monitorate (n° 10 per sezione) per evitare inquinamenti e/o altro.						

si è continuata la coltivazione per ulteriori verifiche, ma in questo caso si è esteso il programma presso le aziende agricole partner:

Nei rispettivi partner del GO Nitap, in occasione del terzo ciclo di produzione (**trapianto ai primi giorni settembre 2024**), sono stati inseriti i film "luminescenti" all'incirca 100 mq ciascuno ed il confronto con la plastica speciale, Lights Star. Quindi all'interno di strutture coperte con film, proposto dal mercato, sono stati creati settori con altro film luminescente per ulteriore verifica su scala più ampia.

Gli interventi fertilizzanti e di difesa sono stati quelli normalmente utilizzati da partner: considerando che trattasi di coltivazioni col metodo biologico e con ferrea applicazione della tecnica del principio biodinamico.

Tale operazione voleva verificare l'incidenza dello stress da eccessiva "radiazione" e quindi gli effetti della saturazione luminosa legata alla fotosintesi clorofilliana.

Considerazioni agronomiche:

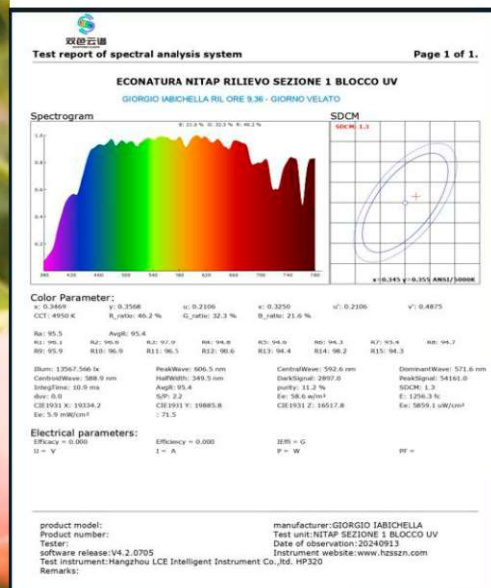
per circa 10-15 giorni dall'inserimento dei "film luminescenti", non si sono avuti segni differenziali. Man mano che si andava avanti nel ciclo colturale per l'entrata in funzione del PAR, più sostenuto e costante, le piante mostravano differenze:

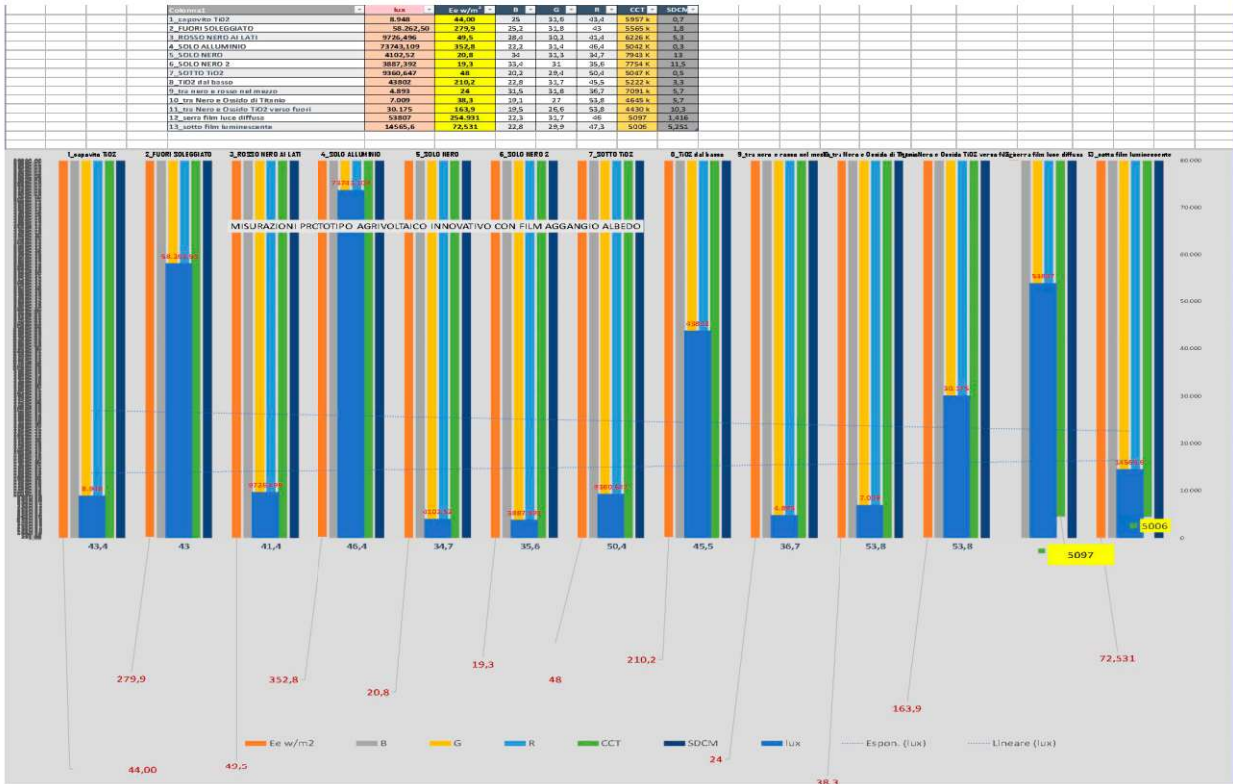
- Foglie leggermente più scure (verde intenso) più grandi (espansione della lamina fogliare)
- Grappoli fiorali che mostravano una crescita più veloce (allungamento e apertura fiori anticipata).
- Differenze si mostravano anche sulla dimensione diametrale del fusto

Tutto questo in confronto alla superficie coperta con film Light Stars, distribuita nella stessa serra.

Il primo Aprile 2025, abbiamo ricevuto la visita "ispettiva" dell'IPA di Ragusa nella persona del Dott. Iemmo Salvatore e della sua collaboratrice tecnica: in quell'occasione si è potuto verificare che i frutti sotto i film "luminescenti" presentavano una percezione di gusto e sapore che rappresentava un grado Brix superiore ai frutti provenienti dal confronto. Questa visita è finalizzata alla verifica delle operazioni descritte nel progetto NITAP, la valutazione dello stato di fatto, considerato che ci si avvicinava la fase conclusiva del progetto.







Fto Giorgio Iabichella 30/08/2025

REPUBBLICA ITALIANA

Regione Siciliana

ASSESSORATO REGIONALE DELL'AGRICOLTURA, DELLO SVILUPPO RURALE E DELLA PESCA MEDITERRANEA

DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'AGRICOLTURA SERVIZIO S FITOSANITARIO REGIONALE UNITA' OPERATIVA N. 00-FIAGI-ISA

LA PRESENTE ABILITAZIONE HA VALIDITA' DI CINQUE ANNI DALLA DATA DI RILASCIO E, PERTANTO, SCADRA' IL 23-01-2027

Visita la documentazione attestante la frequenza del corso di aggiornamento conclusasi in data 21-06-2022

la presente abilitazione è rinnovata per ulteriori cinque anni in data 0-5-2022 con scadenza il 20 GIU. 2027

Visita la documentazione attestante la frequenza del corso di aggiornamento conclusasi in data la presente abilitazione è rinnovata per ulteriori cinque anni in data con scadenza il

Certificato di abilitazione all'attività di consulente,
 n. 02795 /2022
 (art. 8 comma 3 D.Lgs. n. 150/2012)

