

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI  
AGRO-FORESTALI**

**DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI  
RISORSE NATURALI E AMBIENTE**

Corso di laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

**FIORI EDULI: TECNICHE COLTURALI INNOVATIVE  
APPLICATE A *VIOLA CORNUTA***

Relatore  
Prof. Giampaolo Zanin

Correlatori  
Prof. Carlo Nicoletto  
Dott.ssa Silvia Locatelli

Laureanda  
Francesca Ottolitri  
Matricola n. 1192045

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



## INDICE

RIASSUNTO .....	5
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUZIONE .....	9
1.1. Proprietà nutrizionali e terapeutiche dei fiori commestibili .....	9
1.2. La Viola cornuta .....	11
1.3. Il Plasma .....	13
1.4. <i>Differenze di generazione tra Plasma termico e Plasma Non Termico</i> .....	13
1.5. Effetto del Non Thermal Plasma sui parametri fisiologici e chimici delle piante e applicazione in agricoltura .....	15
1.6. Utilizzo di luci supplementari .....	16
1.7. Tipi di luce artificiale utilizzate in serra .....	17
1.8. <i>Light Emitting Diode</i> .....	19
1.9. <i>Scopo del Lavoro</i> .....	21
2. MATERIALI E METODI .....	22
2.1. Materiale vegetale, trattamenti e condizioni di coltivazione .....	22
2.2. Monitoraggio microclimatico .....	25
2.3. Analisi morfo-ponderali dei fiori eduli .....	25
2.4. Condizioni di conservazione fiori eduli recisi .....	27
2.5. Rilievo finale .....	29
2.6. Analisi statistica .....	29
3. RISULTATI .....	31
3.1. Ambiente di coltivazione .....	31
3.2. Risposta delle piante .....	32
3.2.1. <i>Accrescimento della pianta</i> .....	32
3.2.2. <i>La produzione</i> .....	39
3.3. Shelf Life .....	49
4. DISCUSSIONE .....	55
5. CONCLUSIONE .....	57
6. BIBLIOGRAFIA .....	59



## RIASSUNTO

Il sempre maggiore interesse nei riguardi dei fiori eduli spinge i coltivatori e i tecnici a ricercare tecniche colturali che garantiscano buone rese e produzioni di qualità, con uno sguardo attento alla sostenibilità. Su questa linea si inserisce questo lavoro di tesi, dove si è andati ad analizzare alcuni aspetti della produzione di *Viola cornuta* L. 'Penny Yellow Up' ed in particolare, l'applicazione del trattamento dell'aria dell'ambiente di coltivazione con il Plasma Non Termico (PNT; in inglese *Non Thermal Plasma*) e l'adozione di luce supplementare con lampade Led, entrambi a diversa intensità. Tra febbraio e aprile 2023, all'interno di una serra in film plastico del Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente dell'Università di Padova, sono state disposte tre piccole serre in policarbonato entro cui sono stati realizzati tre diversi livelli di PNT (0.03, 0.05 e 0.08 ppm di O<sub>3</sub>, rispettivamente per controllo, bassa e alta intensità). Entro ciascuna delle tre serre sono poi state individuate sei parcelle in cui gruppi di otto piante sono stati assoggettati a tre livelli di irradianza (1.66, 75 e 150  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; fotoperiodo di 16 ore da 6:00-22:00). La raccolta è avvenuta con cadenza bisettimanale e i parametri annotati hanno riguardato il numero e peso dei fiori prodotti. Inoltre, settimanalmente, sono anche stati rilevati altezza della pianta a livello dei fiori o delle sole strutture vegetative, la larghezza della pianta e il valore SPAD (misurazione indiretta del contenuto di clorofilla). Sempre settimanalmente, dei fiori, sono anche stati valutati la lunghezza e la larghezza e un sub campione è stato sottoposto ad una prova di conservazione, in vaschette alimentari conservate in frigorifero (4 °C). Su questi ultimi, con cadenza bisettimanale, è stata fatta una valutazione della qualità visiva sulla base di una scala da 1 a 9. I risultati hanno evidenziato che il trattamento PNT ad elevata intensità in combinazione alle lampade Led con intensità più elevata, hanno permesso di ottenere una maggiore produzione di fiori per pianta, sia in numero che in peso. Il trattamento con alto PNT, inoltre, ha migliorato la produzione anche dal punto di vista qualitativo avendo fatto riscontrare una più lenta diminuzione della qualità visiva, rispetto all'intensità bassa e al controllo. Al miglioramento produttivo riscontrato con il progressivo aumentare dell'irradianza, all'aumentare non è corrisposto un miglioramento della durata in post raccolta che, anzi è diminuito. Questo, però, si

è reso palese solo a conservazione avanzata, quando il prodotto non era comunque più commerciabile.

## ABSTRACT

### ***Edible Flowers: innovative cultivation techniques for Viola cornuta production***

The increasing interest in edible flowers is driving growers and technicians to search for cultivation techniques that ensure good yields and quality production, with an eye on sustainability. With this in mind, we wanted to analyze some aspects of *Viola cornuta* L. 'Penny Yellow Up' production and in particular, the application of Non-Thermal Plasma (NTP) in the growing environment and the use of LED lamps, both at different intensity. Between February and April 2023, inside a plastic film greenhouse of the Department of Agronomy, Food, Natural Resources Animals and Environment of the University of Padua, three small polycarbonate greenhouses were arranged within which three different levels of PNT were obtained (0.03, 0.05 and 0.08 ppm of O<sub>3</sub>, respectively for control, low and high intensity). Within each of the three small greenhouses, six plots were then identified in which groups of eight plants were subjected to three levels of irradiance (1.66, 75 and 150  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; 16-hour photoperiod from 6 a.m. - 22 p.m.). The harvest took place twice a week and the recorded parameters concerned the number and weight of the flowers harvested. Furthermore, on a weekly basis, the height of the plant at leaf and flower level, the widths of the plant and the SPAD value (indirect measurement of the chlorophyll content) were also measured. Also weekly, the length and width of the flowers were evaluated, and a sub-sample was subjected to a conservation test, in food trays kept in a refrigerator (4 °C). On the latter, every two weeks, an evaluation of the visual quality was made based on a scale from 1 to 9. The results showed that the high intensity PNT treatment in combination with the higher intensity LED lamps, made it possible to obtain a greater production of flowers per plant, both in number and in weight. Furthermore, the treatment with high PNT improved the production also from the qualitative point of view, having found a slower decrease in visual quality, compared to the low intensity and the control. The increase in production along with the increase in irradiance did not correspond to an improvement in post-harvest duration which, on the contrary, has decreased. However, this only occurred at advanced conservation when the product was no longer commercial.





## 1. INTRODUZIONE

I fiori commestibili sono stati a lungo utilizzati in preparazioni culinarie per elevare gli aspetti sensoriali e nutrizionali degli alimenti, contribuendo al loro fascino visivo, al gusto, al sapore e alla presentazione complessiva (Koike et al., 2015, Kelley et al., 2001). Soprattutto negli ultimi anni si è verificato un cambiamento globale nelle preferenze e nelle abitudini alimentari, con gli individui che danno sempre più priorità a scelte attente alla salute e alla ricerca di opzioni ricche di sostanze nutritive. Numerosi studi hanno dimostrato il significativo contributo dei fiori commestibili all'alimentazione umana, grazie alla loro abbondante presenza di antiossidanti, composti anticancerogeni, vitamine e varie altre composizioni chimiche benefiche (Mlcek e Rop, 2011, Rezende et al., 2019). Questa caratteristica non solo accresce il loro valore, ma presenta anche promettenti opportunità di commercializzazione (Anderson et al., 2012). Le proprietà sensoriali degli alimenti sono estremamente importanti non solo per i consumatori, ma anche per i produttori di alimenti, perché si riferiscono direttamente alla qualità del prodotto e all'accettazione da parte dell'utente finale (Bursac et al., 2007).

Tradizionalmente, numerose piante ornamentali sono state utilizzate come fiori commestibili, come *Antirrhinum majus* (Bocca di leone), *Centaurea cyanus* (Fiordaliso), *Chrysanthemum frutescens* (Margherita delle canarie), *Dianthus caryophyllus* (Garofano), *Fuchsia x hybrida* (Fucsia), *Impatiens walleriana* (Canna di vetro), *Rosa odorata* (Rosa profumata), *Tropaeolum majus* (Nasturzio), *Viola x wittrockiana* (Viola del pensiero), *Begonia boliviensis* (Begonia), *Chrysanthemum parthenium* (Tritone), *Tagetes patula* (Tagete francese) e molte altre (Netam, 2021). Queste piante possono essere utilizzate sia come complementi ornamentali sia come ingredienti culinari, offrendo una vasta gamma di colori, sapori e consistenze per l'esplorazione culinaria.

### 1.1. Proprietà nutrizionali e terapeutiche dei fiori commestibili

I fiori eduli offrono una vasta gamma di benefici per la salute umana. Sono ricchi di sostanze nutritive e composti benefici per il corpo, e ogni fiore ha la sua composizione nutrizionale unica; inoltre, ogni fiore ha un sapore caratteristico che

può variare dal dolce al piccante, dall'amaro all'acidulo; ad esempio, i fiori di rosa e di viola del pensiero hanno un sapore dolce e aromatico, mentre i fiori di nasturzio hanno un sapore pepato e piccante (Sande, 2019).

Uno dei principali vantaggi dei fiori eduli è la presenza di antiossidanti (Fu e Mao, 2008; Garzon et al., 2015). I composti antiossidanti presenti nei fiori, come i flavonoidi e i carotenoidi, aiutano a proteggere le cellule dallo stress ossidativo e a prevenire i danni causati dai radicali liberi (ROS). Altri sono noti per le loro proprietà medicinali, possono avere effetti antinfiammatori, calmanti o digestivi. Tuttavia, è importante notare che non tutti i fiori edibili hanno proprietà terapeutiche ed è consigliabile consumare fiori edibili con moderazione, e non utilizzarli se si è allergici a fiori o polline; quindi, è sempre consigliabile informarsi su i specifici fiori, prima di utilizzarli per scopi salutistici.

Inoltre, i fiori eduli hanno un buon valore nutrizionale, possono essere una buona fonte di vitamine, minerali essenziali e antiossidanti (Li et al., 2007; Garzon et al., 2009; Kaisoon et al.; 2011; Loizzo et al., 2015) ad esempio, alcuni fiori, come la calendula e i fiori di zucca, contengono importanti sostanze nutritive come la vitamina C, che favorisce il sistema immunitario e promuove la salute della pelle; mentre i petali di rosa sono ricchi di vitamina E (Pires, et al., 2017). Altri invece, come la lavanda e la camomilla, sono noti per le loro proprietà calmanti e rilassanti; possono aiutare a ridurre lo stress, migliorare il sonno e favorire una sensazione di calma (Villa-Rodriguez et al., 2018). Tuttavia, è importante notare che i fiori edibili, generalmente, non sono consumati in grandi quantità; quindi, i loro benefici nutrizionali possono essere modesti. L'inclusione dei fiori eduli nella dieta può aumentare l'apporto di fibre alimentari, che è importante per una buona digestione, tra l'altro molti fiori edibili sono anche piante aromatiche o medicinali e circa l'80% della popolazione mondiale utilizza le piante medicinali per i bisogni di salute (Ahmad Khan e Ahmad, 2018). Tra l'altro, i fiori eduli possono aggiungere una varietà di sapori interessanti ai piatti, consentendo di sperimentare nuove combinazioni e arricchire l'esperienza culinaria complessiva, ampliando così la gamma di ingredienti a disposizione in cucina (Villavicencio et al., 2018). Aggiungere fiori ai piatti può portare varietà e originalità alla tavola, consentendo di sperimentare nuove combinazioni di sapori, colori forma e texture, rendendo il piatto più invitante e appetitoso (Chitrakar, et al., 2019). In conclusione, i fiori eduli offrono benefici nutrizionali, antiossidanti, proprietà calmanti e una varietà di sapori

unici che possono contribuire a una dieta equilibrata e promuovere il benessere generale.

## 1.2. La *Viola cornuta*

Tra le circa 180 specie oggi conosciute che producono fiori commestibili (Lu et al., 2016), *Viola* spp. è tra le più comuni e attualmente consumate. Le viole commestibili appartengono a 3 specie diverse, ovvero *Viola cornuta* L., *Viola tricolor* L. e *Viola ×wittrockiana* Gams (Neumann e O'Connor, 2009) (Fig. 1). Queste specie sono coltivate come piante da aiuola autunnali e primaverili, ma si coltivano anche per il mercato estivo ed invernale (Pearson et al., 1995).

La viola, appartenente alla famiglia delle Violaceae, è particolarmente apprezzata per le proprietà culinarie, nutritive e terapeutiche.

I fiori di questa pianta sono ricchi di vitamine, minerali e antiossidanti essenziali per il benessere del corpo umano. La presenza di vitamina C, vitamina A, vitamina E e vitamina K rende la *V. cornuta* un'ottima fonte di sostanze nutritive che contribuiscono al rafforzamento del sistema immunitario, alla salute della pelle e al miglioramento della vista.

Inoltre, *V. cornuta* è apprezzata per le sue proprietà antinfiammatorie e diuretiche. Grazie ai suoi composti bioattivi, questa pianta può aiutare a ridurre l'infiammazione nel corpo, alleviando i sintomi di disturbi come l'artrite. Inoltre, le proprietà diuretiche di *V. cornuta* possono favorire la diuresi e la rimozione delle tossine dal corpo, contribuendo così a una migliore salute renale.

Dal punto di vista ambientale, *V. cornuta* offre numerosi vantaggi. Essendo una pianta perenne resistente al freddo, richiede poche cure e può essere coltivata facilmente in giardini e orti, non sono richieste esigenze particolari per la coltivazione; infatti, si può utilizzare un terriccio commerciale ben drenato. Questa caratteristica la rende una scelta ecologica, in quanto richiede meno risorse idriche e meno sostanze chimiche rispetto ad altre colture. La viola viene spesso coltivata in serra a fattori ambientali ben definiti, come temperatura, fotoperiodo e irraggiamento, sono fondamentali per la qualità dei fiori (Gandolfo et al., 2016).

Le indicazioni ottenibili dalla letteratura sulla coltivazione delle viole per la produzione di fiori eduli sono quasi assenti; alcune informazioni, però, sono ricavabili dalle tecniche colturali adottate per la produzione della pianta fiorita o

anche del fiore reciso. Per la produzione del fiore reciso, le viole del pensiero dovrebbero essere coltivate tra i 4° e i 13 °C, per ridurre il tasso di crescita della pianta, l'allungamento degli internodi e per garantire fiori di alta qualità (Cavins et al.,2000). La temperatura ideale per la crescita e la fioritura va da circa 14° a 21 °C (Kessler et al.,1998). I fiori commestibili sbocciati possono essere venduti in vaso o, soprattutto, in confezioni di plastica rigida di piccole e medie dimensioni per evitarne la rapida essiccazione e preservarne la fragile consistenza (Whitman,1991; Kelley et al.,2001) I fiori commestibili vengono selezionati e percepiti in base al loro profumo, aspetto, dimensione e colore (Kelley et al.,2001, 2002). A questo proposito, ci sono poche informazioni sulle variazioni che queste caratteristiche subiscono in fase di post-raccolta.

Tuttavia, i fiori sono altamente deperibili, per cui sono stati adottati diversi approcci per prolungare la durata di conservazione.

Inoltre, *V. cornuta* può attirare insetti utili come le api, contribuendo così alla loro sopravvivenza e all'impollinazione di altre piante nella zona circostante, aggiungendo una nota di colore e bellezza ai giardini.

Infine, i suoi fiori delicati e profumati, disponibili in una varietà di colori vivaci, sono molto apprezzati per l'uso nella decorazione di piatti, insalate e dolci. Inoltre, i fiori possono essere essiccati e utilizzati per la preparazione di tisane aromatiche o per scopi decorativi.

In conclusione, questa viola rappresenta una pianta versatile che offre numerosi benefici sia dal punto di vista nutrizionale che ambientale. La sua coltivazione e l'utilizzo nelle preparazioni culinarie possono contribuire a uno stile di vita sano e sostenibile, arricchendo al contempo l'aspetto estetico di spazi verdi e piatti.

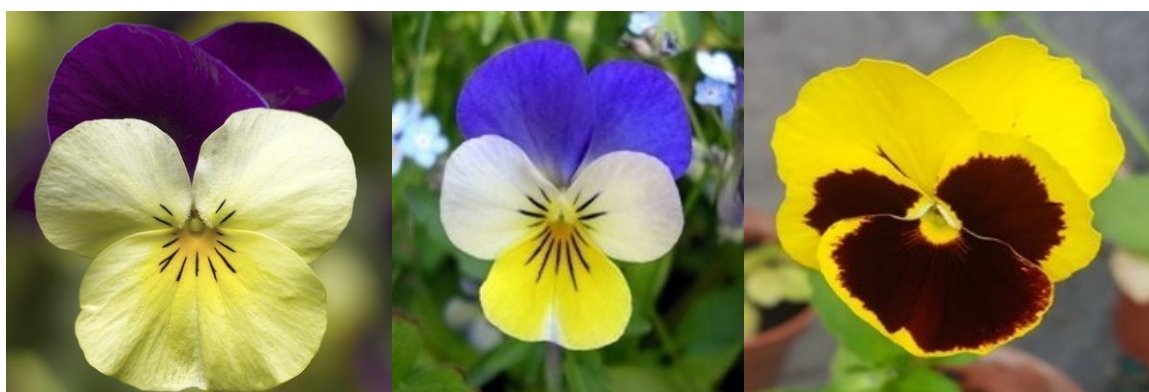


Figura 1. *Viola cornuta* 'Penny Yellow Jump Up' presa in esame, *Viola tricolor* L. e *Viola wittrockiana* Gams rispettivamente.

### 1.3. Il Plasma

Il plasma è considerato il quarto stato della materia, distinguendosi dagli stati: solido, liquido e gassoso. Può essere descritto come un gas parzialmente ionizzato, globalmente neutro e che contiene particelle cariche e neutre, come ioni, elettroni radicali, molecole eccitate e fotoni.

Il plasma è stato ampiamente studiato per le sue applicazioni in vari campi, come la medicina, la sterilizzazione, la sintesi di materiali e persino l'astronomia.

L'applicazione ha un ruolo importante nelle diverse aree commerciali, ad esempio: il plasma ad elevate temperature è fondamentale nel processo di fusione nucleare o in molti processi produttivi, come la fusione dei metalli, il taglio e la saldatura al plasma (Heberlein, 2002). Per quanto concerne il plasma non termico, è stato possibile l'utilizzo di approcci innovativi in ambito biomedico e nella biologia vegetale.

### 1.4. Differenze di generazione tra Plasma termico e Plasma Non Termico

Sin dai primi tentativi in agricoltura, l'umanità ha cercato di migliorare la qualità e la resa delle colture e proteggerle dalle condizioni avverse, una delle strategie per raggiungere questi obiettivi include un interessante fenomeno chiamato *priming* o risposta adattiva. Il priming si basa sull'applicazione di uno stress lieve per preparare una pianta a un altro stress, per lo più forte.

Una delle tecniche più comuni, è l'utilizzo del Plasma Non Termico (*Non Thermal Plasma*; PNT), un agente fisico che consiste in una miscela di particelle cariche, neutre e radicali.

Lo studio del plasma risale alla fine del XIX secolo, con gli studi di Sir William Crookes, a seconda della temperatura di elettroni, ioni e molecole neutre, il plasma può essere classificato come plasma termico e plasma non termico, o plasma freddo.

Nei plasmi la temperatura di ioni, elettroni e particelle neutre è la stessa, cioè sono in equilibrio termodinamico tra loro. Nei plasmi freddi, gli ioni e le particelle neutre restano a temperature molto più basse, tipicamente vicine a quelle dell'ambiente, mentre gli elettroni sono a temperature più alte.

Il plasma non termico, o plasma freddo, deve il suo nome allo squilibrio termodinamico tra elettroni (che raggiungono 10<sup>5</sup> K), e particelle pesanti come ioni

e radicali (che aggiungono 300 K) (Holubová et al., 2020). Esso presenta una temperatura di massimo 60 °C.

Il plasma freddo viene generato applicando una elevata energia ad un gas, in particolare sottoponendolo ad una elevata tensione elettrica (Adhikari et al., 2020): questa operazione viene compiuta a pressione atmosferica. Durante la generazione del plasma si formano inizialmente gli elettroni che, sottoposti al campo elettrico, accelerano nel mezzo gassoso (Holubová et al., 2020). Si verificano poi vari processi come ionizzazione, dissociazione, eccitazione di particelle che portano alla formazione dei vari componenti del plasma.

Questa differenza di temperatura tra gli elettroni e gli ioni del plasma non termico porta a una serie di effetti distintivi, ed esistono diversi dispositivi che generano il plasma freddo. Il modo con cui producono le scariche elettriche dipende dalla configurazione dell'apparecchiatura. I principali metodi sono il plasma jet, la scarica a corona, la scarica a microonde, la scarica a radiofrequenza, la scarica ad arco scorrevole e la scarica della barriera dielettrica (Muhammad et al., 2018). Le differenze di generazione tra il plasma termico e il plasma non termico sono fondamentali per comprendere le proprietà e le applicazioni di queste due forme di plasma.

Infine, l'applicazione del plasma ha un ruolo importante in diverse aree commerciali. Il plasma ad elevate temperature è fondamentale nel processo di fusione nucleare, e in molti processi produttivi, come la fusione di metalli, il taglio e la saldatura al plasma (Heberlein, 2002). Inoltre, il plasma viene utilizzato nell'industria automobilistica per produrre vernici di alta qualità e nell'industria tessile per trattare fibre naturali come cotone e lana al fine di rimuovere le impurità e facilitarne il processo di tintura (Weltmann et al., 2019). Ciò rende il plasma non termico utile in applicazioni come la sterilizzazione, come evidenziato dallo studio di Zhang et al. che ha utilizzato il trattamento pnt per il trattamento delle infezioni fungine nelle piante; la depolverazione delle emissioni industriali, la sintesi di materiali e la medicina.

In definitiva, in quanto citato sopra, le differenze di generazione tra il plasma termico e il plasma non termico si basano principalmente sulle diverse distribuzioni di temperatura degli elettroni e sugli effetti risultanti. Il plasma termico è caratterizzato da una distribuzione termica delle energie degli elettroni ed è utilizzato in applicazioni ad alta energia, mentre il plasma non termico presenta

una differenza di temperatura tra elettroni e ioni e trova applicazione in una vasta gamma di settori, sfruttando le sue proprietà chimiche e selettive.

### **1.5. Effetto del Non Thermal Plasma sui parametri fisiologici e chimici delle piante e applicazione in agricoltura**

Esistono diversi modi in cui il PNT viene generato, questo dipende dal tipo di applicazione. Tuttavia, sebbene siano presenti differenze dei vari metodi per la formazione del NTP, le reazioni chimiche necessarie per indurlo sono molto simili (Moreau et al., 2008).

Una delle possibili applicazioni sulle piante del NTP riguarda al trattamento dei semi; il vantaggio può risiedere nel fatto che molti processi sono già attivi e possono essere più facilmente influenzati. Pertanto, vi è un contatto più diretto tra le particelle di NTP e l'organismo della piantina, il che può comportare tempi di trattamento molto più brevi, dove la piantina non è protetta dalla struttura del seme ed è più vulnerabile ai costituenti del plasma (UV, particelle reattive, ecc.).

Inoltre, è stato osservato che l'effetto del PNT può variare notevolmente a seconda delle specie interessate. In alcuni casi, il PNT può avere effetti positivi, come l'aumento della rusticità delle piante; una maggiore velocità in produzione di fiori, frutti con un miglioramento della forma, colore e qualità, la promozione della guarigione delle ferite. Tuttavia, in altre situazioni, si è osservato un effetto opposto su diverse specie biologiche, con danni alle cellule, l'inibizione della crescita di alcuni microrganismi o addirittura la morte delle cellule trattate. In alcuni casi si possono ottenere effetti dannosi anche alle cellule umane e animali, provocando citotossicità e alterazioni del DNA. Infine, alcuni studi hanno evidenziato che può indurre effetti negativi anche sull'ambiente, dove gli autori attribuiscono questo effetto alla maggiore superficie fogliare e ai più alti contenuti di clorofilla e azoto dovuti al trattamento stesso.

La comprensione di questo fenomeno è di fondamentale importanza per ottimizzare l'applicazione del plasma non termico in diversi contesti. Gli studi in corso stanno cercando di chiarire i meccanismi alla base di questi effetti opposti, concentrandosi sulla comprensione delle interazioni tra il PNT e le diverse specie biologiche o chimiche coinvolte. Sono coinvolte diverse variabili, come il tipo di plasma utilizzato, la durata e l'intensità dell'esposizione, nonché le caratteristiche

specifiche delle specie interessate.

Pertanto, l'NTP non è solo un agente positivo che può essere utilizzato per aumentare la crescita, ma in primo luogo è un fattore di stress dove gli organismi si sono evoluti in modo tale che un debole stress può causare il rafforzamento di un organismo, consentendogli di tollerare meglio un'altra dose di stress maggiore, questo fenomeno è chiamato risposta adattiva, *priming* o ormeesi (Holubovà et al., 2020).

Il progresso nella comprensione di questi meccanismi potrebbe portare a una maggiore efficacia e sicurezza nell'applicazione del PNT in settori come la medicina, l'agricoltura, l'industria alimentare e altri ambiti correlati. Inoltre, potrebbe aprirsi la strada a nuove scoperte scientifiche e a ulteriori sviluppi tecnologici basati sullo sfruttamento delle proprietà uniche del PNT.

Complessivamente, l'effetto risultante del trattamento con PNT dipende dalla fonte di plasma, dai parametri di generazione del plasma e dalle specie vegetali. La dose di PNT, pur essendo benefica per una specie, può essere fitotossica per un'altra specie (Stepanova et al., 2017).

### **1.6. Utilizzo di luci supplementari**

La luce supplementare è diventata una pratica sempre più diffusa nell'ortoflorovivaismo protetto, in particolare nelle serre. Questa consiste nell'integrare la luce solare naturale con la luce artificiale per ottimizzare la crescita delle piante e aumentare la produzione.

Il presente paragrafo si propone di esplorare l'uso della luce supplementare in serra e i suoi benefici.

L'uso dell'illuminazione supplementare in serra offre diversi vantaggi, significativi per gli agricoltori. Innanzitutto, consente di estendere le ore di luce disponibili durante il giorno, consentendo alle piante di fotosintetizzare per periodi più lunghi. Questo può essere particolarmente vantaggioso durante i mesi invernali o in regioni con una quantità limitata di luce solare, dove la crescita delle piante potrebbe essere molto limitata. La luce supplementare aiuta a garantire una produzione costante e continua, indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne.

Un aspetto chiave dell'utilizzo della luce supplementare è la capacità di controllare



il fotoperiodo; fattore importante, per regolare il loro ciclo di crescita, sviluppo e fioritura. La luce può essere regolata in termini di intensità, spettro e durata, per soddisfare le esigenze specifiche delle colture coltivate. Ad esempio, alcune piante possono richiedere determinate lunghezze d'onda per ottimizzare la fotosintesi. Inoltre, come vedremo nei paragrafi a seguire, con l'aggiunta di una luce può aumentare significativamente la resa delle colture. Uno studio ha dimostrato che l'integrazione della luce naturale con luce artificiale può aumentare la produzione di alcune colture fino al 20-30%, ciò perché aumenta l'accrescimento della pianta (es. resa della coltura), o velocizzando il processo di accrescimento riducendo il ciclo colturale. Questo aiuta a sfruttare al massimo lo spazio disponibile nella serra, aumentando il reddito dall'agricoltore.

Oltre all'aumento della produzione, l'uso della luce supplementare può anche influenzare la qualità delle colture, la luce ha un impatto significativo sulle caratteristiche nutrizionali e organolettiche delle piante, come il contenuto di vitamine, il sapore e la consistenza. Utilizzando la luce supplementare in modo mirato, è possibile ottenere piante di migliore qualità, che soddisfano le esigenze dei consumatori e contribuiscono a una dieta equilibrata.

Tuttavia, è importante considerare anche gli aspetti energetici ed economici dell'uso della luce supplementare in serra, perché l'utilizzo della stessa può non sempre contribuire alla sostenibilità dell'agricoltura.

Per esempio, l'utilizzo di luci LED ad alta efficienza energetica consente di ridurre il consumo complessivo di energia e costi associati, tuttavia è comunque necessaria una valutazione attenta degli aspetti energetici ed economici per garantire un uso sostenibile di questa pratica.

In conclusione, l'uso della luce supplementare in serra offre una serie di vantaggi importanti per gli agricoltori. Aumenta le ore di luce disponibili, consente un migliore controllo dell'ambiente di crescita, aumenta la resa delle colture e contribuisce alla sostenibilità dell'agricoltura.

### **1.7. Tipi di luce artificiale utilizzate in serra**

Nella coltivazione in serra, vengono utilizzati diversi tipi di luce artificiale per fornire alle piante la luce necessaria per la fotosintesi clorofilliana. Di seguito si riportano alcune delle tipologie di luce artificiale comunemente impiegati:

- 1- Lampade a incandescenza: queste lampade producono luce attraverso il riscaldamento di un filamento di tungsteno. Sebbene siano state ampiamente utilizzate in passato, le lampade a incandescenza sono meno efficienti dal punto di vista energetico e producono una quantità significativa di calore rispetto alla luce fornita.
- 2- Lampade fluorescenti: le lampade fluorescenti sono comunemente utilizzate in coltivazioni in serra a causa della loro efficienza energetica e della disponibilità di diverse temperature di colore. Le lampade fluorescenti a spettro completo possono fornire una luce adeguata all'accrescimento delle piante in tutte le fasi, dalla germinazione alla fioritura.
- 3- Lampade a ioduri metallici: queste lampade utilizzano una miscela di gas e sali di ioduro metallici per produrre luce. Sono particolarmente efficaci per la fase vegetativa delle piante, poiché emettono una luce blu-bianca che favorisce la crescita delle foglie e dei germogli.
- 4- Lampade ad alta pressione al sodio (HPS): queste lampade producono una luce gialla-rossa calda che è ideale per la fase di fioritura e fruttificazione delle piante. Le lampade HPS sono ampiamente utilizzate nelle coltivazioni in serra per migliorare la produzione di fiori e frutti.
- 5- Lampade a LED: le lampade a LED sono diventate sempre più popolari nelle coltivazioni in serra grazie alla loro efficienza energetica, durata prolungata e la possibilità di personalizzare lo spettro luminoso. Anche se, inizialmente, possono risultare costose all'acquisto rispetto ad altre opzioni di illuminazione, come le lampade fluorescenti; le lampade a LED possono essere regolate per fornire la combinazione di colori ottimale per ogni fase fenologica delle piante, aumentando l'efficienza e riducendo i costi energetici (Pagare et al., 2015). Inoltre, possono causare danni alle piante se utilizzate in modo improprio, ad esempio l'eccesso di luce può bruciare le foglie o causare lo sviluppo di problemi come fotoinibimento, per questo è importante adeguare correttamente l'intensità e la durata (Morrow 2008; Yeh e Chung, 2009; Kozai, 2016). Infine, anche se le lampade LED sono generalmente considerate più ecologiche rispetto ad altre fonti di illuminazione, è importante considerare anche il loro impatto ambientale complessivo. Nel capitolo successivo si approfondiranno le informazioni di questo tipo di lampade.

La scelta del tipo di luce artificiale dipende dalle esigenze specifiche delle piante coltivate, delle fasi di crescita e dai budget disponibili. Spesso viene utilizzata una combinazione di diverse lampade per massimizzare la resa e la qualità delle colture in serra.

### **1.8. *Light Emitting Diode***

Le prime sperimentazioni di integrazione luminosa con luci a LED (*Light Emitting Diode*) in orticoltura sono avvenute negli Stati Uniti tra gli anni 80 e 90. L'innegabile utilità di queste apparecchiature consiste nella possibilità di regolare e controllare totalmente la composizione dello spettro emesso, ossia delle radiazioni luminose, fornite alle piante durante la loro crescita. Oltre a questo notevole vantaggio vi è il basso consumo energetico, l'immediata accensione e spegnimento, la totale automatizzazione, la lunga durata e il limitato sviluppo di calore a seguito delle radiazioni, come invece non accade nel caso di altre lampade.

Ultimamente, grazie ai progressi tecnologici e industriali, l'impiego dei led in orticoltura è diventato economicamente accessibile anche a realtà produttive medie ed è possibile controllare e modificare la qualità dello spettro luminoso tramite la combinazione di numero, tipo ed intensità delle diverse radiazioni luminose (Morrow et al., 2008). I led ad oggi presentano un'altissima variabilità di lunghezze d'onda, dall'UVC (280 nm) alla zona dell'infrarosso vicino (1000 nm) e possono emettere anche luce bianca (Mitchell et al., 2012). Ormai è appurato che per ottenere una buona resa associata ad una buona qualità delle colture, sono necessarie combinazioni di più radiazioni luminose, in particolare quella blu e quella rossa; la luce blu ha effetti su diversi processi che avvengono all'interno della pianta come la fotosintesi e l'apertura stomatica (Whitelam and Halliday, 2007), essa agisce inoltre riducendo l'inibizione della crescita dovuta ad un eccesso di UVB e stimola l'accumulo di flavonoidi (Adamse et al, 1994) oltre a favorire la distensione fogliare e stimolare il fototropismo (Hart, 1988). Alcuni studi, tuttavia, ritengono che la luce led blu abbia principalmente effetto sui pigmenti, in particolare sulla clorofilla, oltre che sulla vitamina C e proteine solubili, mentre la luce rossa stimola maggiormente la crescita delle piante. Per quanto riguarda le viole del pensiero sono piante longidiurne, dipendenti in modo obbligato alla luce FR (rossa lontana) per la fioritura e, per questo motivo, oltre alle radiazioni rosse

(R) sono necessarie radiazioni FR per promuovere il processo di fioritura (Meng e Runkle, 2016). A seguito dell'integrazione con luce a led, si assiste a una maggior concentrazione di metaboliti secondari, responsabili della *texture* e del *flavour* (Hopkins e Hüner, 1999).

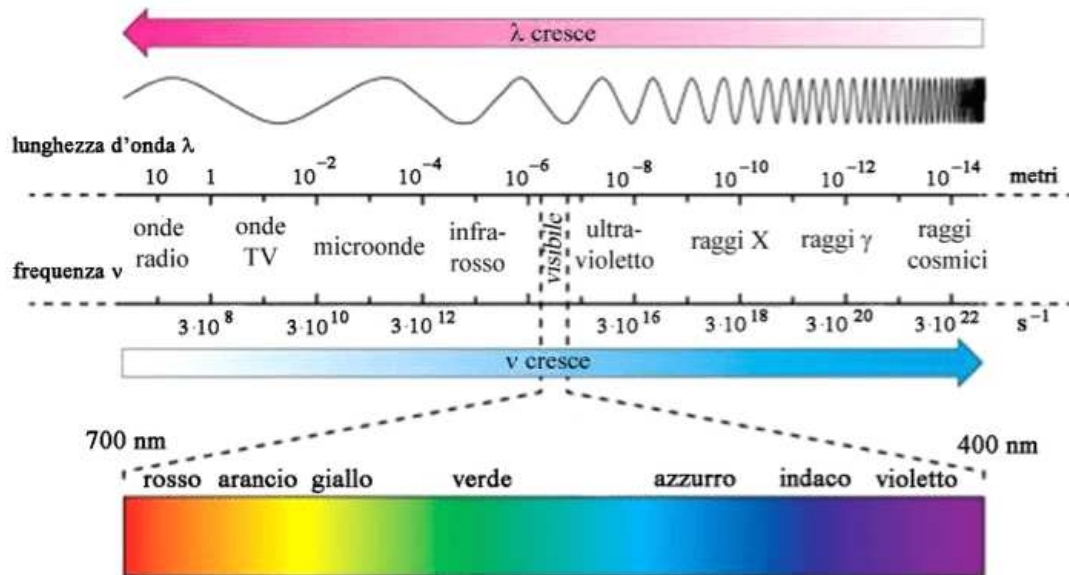


Figura 2. La gamma di radiazioni presenti nella luce solare compone lo spettro elettromagnetico. Si va da radiazioni con alta lunghezza d'onda (onde radio, microonde) a radiazioni con bassa lunghezza d'onda altamente energetiche (raggi UV, raggi X e raggi gamma) (Sloney, 2016). Le radiazioni elettromagnetiche con  $\lambda$  compresa tra 400 e 750 nm (visibile) sono capaci di innescare il processo fotosintetico e per questo sono dette Photosynthetically Active Radiations (PAR). I diversi pigmenti, infatti, assorbono specifiche lunghezze d'onda nel visibile: le clorofille hanno dei massimi di assorbimento nel blu e nel rosso, i carotenoidi assorbono nel blu e verde (Pagels et al., 2020).

Sebbene negli ultimi anni molti studi si siano concentrati sulla valutazione del contenuto di metaboliti specializzati nei fiori commestibili, solo pochi studi hanno analizzato gli effetti dell'illuminazione artificiale a LED indoor (Kopsell et al., 2020). Diversi studi hanno rivelato un'associazione tra l'accumulo di metaboliti specifici e i trattamenti con LED artificiali nei fiori commestibili, anche se hanno mostrato risposte diverse a seconda della specie e caratteristiche sperimentali.

In generale, la luce rossa e blu, da sola o combinata, ha dato buoni risultati su diverse colture e metaboliti. A differenza dei metaboliti primari, coinvolti nelle funzioni metaboliche di base e nello sviluppo di tutte le piante, i metaboliti secondari o specializzati non sono essenziali per la vita delle piante; la loro distribuzione e i loro effetti biologici possono variare tra le specie a seconda dei ruoli specifici che svolgono. Tuttavia, i metaboliti specializzati partecipano alle

interazioni ecologiche tra le piante, fornendo un contributo alla loro crescita e promuovendo i processi di adattamento ambientale; i composti bioattivi possono avere un ruolo anche nell'alimentazione umana, essendo utilizzate come fonti di aromi, additivi alimentari o farmaci, grazie alle loro proprietà salutari (Pires et al., 2017).

### **1.9. *Scopo del Lavoro***

Lo scopo di questa tesi è stato quello di indagare su alcuni aspetti di tecnica colturale applicati a *Viola cornuta* per la produzione di fiori eduli.

Nello specifico sono stati valutati il trattamento dell'aria dell'ambiente di coltivazione con il plasma non termico (PNT) e l'adozione di luce supplementare con lampade Led, entrambi a diversa intensità.

Gli effetti di questi due fattori allo studio sono stati valutati sull'accrescimento delle piante di viola, sulla resa in fiori e sulla *Shelf-life* degli stessi.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1. Materiale vegetale, trattamenti e condizioni di coltivazione

La sperimentazione è avvenuta presso l'Azienda Agraria Sperimentale "L. Toniolo" dell'Università degli Studi di Padova con sede a Legnaro (Padova). Le attività sono state realizzate in una serra tunnel a campata unica in film plastico contenente a sua volta tre serre sperimentali in policarbonato dotate di tecnologia PNT per il trattamento dell'aria indoor.

Per la prova è stata selezionata la varietà di *Viola cornuta* 'Penny Yellow Jump Up', con fiori viola e gialli. Le piante, fornite in vaschette con 4 piante ciascuna, sono state trapiantate il 1° febbraio 2023 in vasi da 3 litri ( $\varnothing$  18 cm) riempiti con substrato Flower Special (Geotec, Rovigo) e collocati su piani rialzati all'interno a delle piccole serre in policarbonato (144 piantine totali, 48 per serra). Le piante sono state irrigate al bisogno e fertirrigate con 200 mL di una soluzione nutritiva con cadenza settimanale (2 g L<sup>-1</sup>, Ferty 3 15N-4.4P-12.5K-2Mg + TE; Planta Düngemittel GmbH, Regenstauf, Germania).

Dopo il trapianto, le piante sono state suddivise in modo casuale nelle tre piccole serre e, entro queste, in sei particelle di otto piante. Le piante prese in esame, inoltre, sono state sottoposte a luce supplementare con tre livelli differenti di irradianza artificiale, pari a: controllo (luce naturale), 75 e 150  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PPFD, con fotoperiodo di 16 ore (6:00 - 22:00). Ciascun trattamento con due ripetizioni ciascuno. Il trattamento luminoso è avvenuto tramite quattro lampade LED per ciascuna serra (Azienda C-LED- Imola, Bologna), con spettro 36 rosso, 25% blu e 10% bianco.

Le irradianze desiderate sono state ottenute tramite dimmeraggio delle lampade. Il controllo dell'irradianza, e quindi la regolazione delle lampade, è stato eseguito tre volte durante la prova con un quantum-meter (HD9021, Delta Ohm, Selvazzano Dentro, Italia) (Fig. 3). I valori reali medi, misurati all'altezza della canopy delle piante, sono stati i seguenti:  $75.1 \pm 13.3$  e  $150.3 \pm 28.3 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  rispettivamente per l'irradianza bassa e alta. Le piante del controllo non illuminato, trovandosi nello stesso ambiente di coltivazione di quelle illuminate, hanno ricevuto un'irradianza minima ( $1.66 \pm 1,10 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); Questo livello di irradianza è sufficiente ad

indurre un effetto fotoperiodico ma è molto basso dal punto di vista dell'effetto assimilativo.



*Figura 3. Controllo dell'irradianza sotto i diversi trattamenti.*

Il trattamento con Plasma Non Termico (PNT) è stato generato da un dispositivo 'Jonix Cube' (Azienda Jonix, San Pietro Viminario, Italia) impostato a tre diverse intensità nelle tre piccole serre (Fig. 4):

- controllo: ovvero priva di generatore PNT, attivato esclusivamente per l'aerazione della serra;
- basso PNT: presenza di un solo generatore funzionante;
- Alto PNT: presenza di due generatori.

I generatori sono stati fatti funzionare ad intermittenza, 5 minuti sì e 5 minuti no.

Da alcuni monitoraggi condotti durante la prova, impiegando lo strumento YesAir 8channel indoor air quality monitor, ai tre trattamenti sono corrisposti mediamente 0.03, 0.05 e 0.08 ppm di O<sub>3</sub>.

Sia i trattamenti luminosi che quelli con PNT sono stati azionati il 14 febbraio, dopo l'affrancamento delle piante. A questa data le piante avevano le caratteristiche riportate in tabella 1. Con l'inizio dei trattamenti, tutti i fiori aperti sono stati eliminati. Nella serra tunnel l'aerotermostato è stato settato per accendersi sotto i 10 °C, mentre le finestre laterali e al colmo sono state settate per chiudersi sotto i 20 °C e aprirsi sopra i 24 °C.

Di seguito viene rappresentato lo schema sperimentale utilizzato per la sperimentazione (Fig. 5).

*Tabella 1. Rilievo iniziale, in funzione dell'assenza del trattamento di irradianza artificiale e del Plasma Non Termico all'interno della serra.*

<b>Parametro</b>	<b>Media</b>	<b>Dev. St.</b>
Altezza con fiori (cm)	10.4	1.15
Altezza sole strutture vegetative (cm)	7.33	0.82
Indice di crescita (cm)	10.5	0.61
Peso fresco parte aerea (g)	13.6	0.98
Peso secco parte aerea (g)	1.80	0.13
Sostanza secca (%)	13.2	0.95



*Figura 4. Foto disposizione piante nella serretta con al centro il dispositivo per il trattamento al PNT (Jonix Cube).*



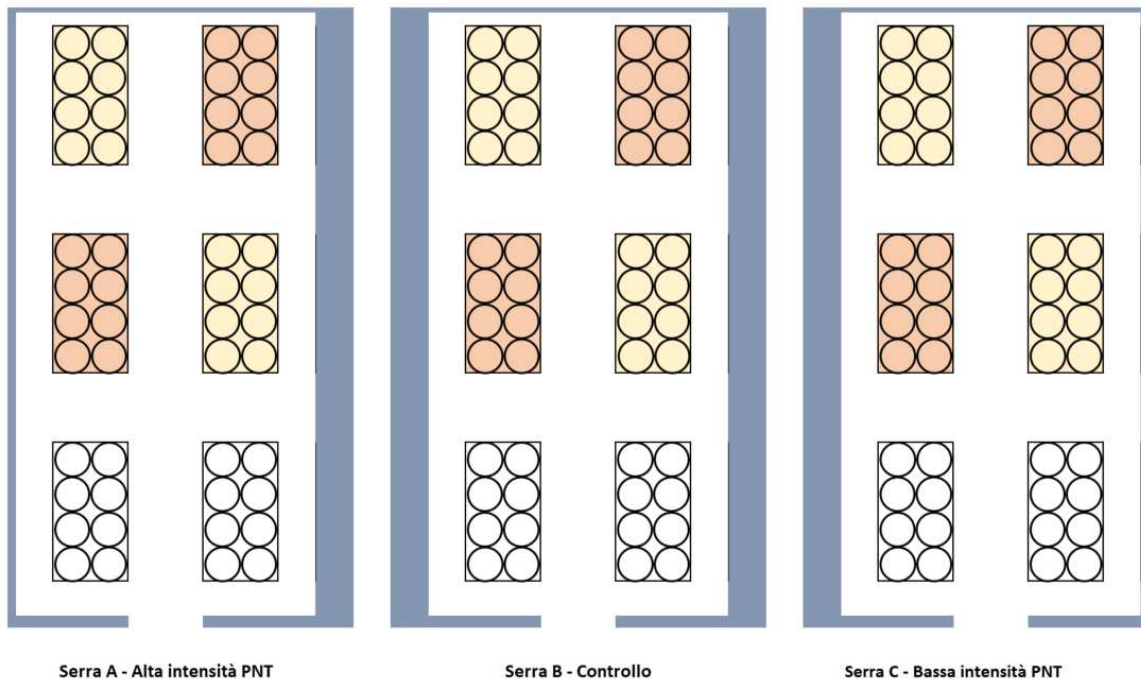


Figura 5. Rappresentazione delle tre piccole serre, con la combinazione delle varie intensità di trattamenti al Non Thermal Plasma con le luci LED. I cerchi rappresentano le piante entro le parcelle. I vari colori rappresentano le intensità luminose: rettangolo bianco  $2 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , rettangolo giallo  $75 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e rettangolo arancione  $150 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e le intensità di PNT sono: nella serra A, alta intensità ( $0,08 \text{ ppm O}_3$ ), serra B, controllo ( $0,03 \text{ ppm O}_3$ ), e nella serra C, bassa intensità ( $0,05 \text{ ppm O}_3$ ).

## 2.2. Monitoraggio microclimatico

Durante tutta la prova sperimentale sono stati monitorati i parametri climatici, tramite sensori posizionali adiacenti all'area di coltivazione.

I sensori utilizzati sono stati ripostati nella figura 6, da sensori posizionati nell'area di coltivazione. Nello specifico sono stati utilizzati sensori per rilevare temperatura, umidità e luce che raggiungeva la pianta senza trattamento luminoso (controllo).



Figura 6. immagine esplicativa dei sensori Onset HOBO utilizzati durante la sperimentazione.

## 2.3. Analisi morfo-ponderali dei fiori eduli

Al fine di comprendere l'effetto del trattamento PNT e del trattamento luminoso, sono stati effettuati dei rilievi sulle piante e sui fiori durante l'intero ciclo di

coltivazione.

Settimanalmente è stato effettuato il rilievo sull'accrescimento della pianta annotando l'altezza massima della pianta comprensivo dei fiori e quella riferita alle sole strutture vegetative. Inoltre, sono state misurate larghezza massima e larghezza ortogonale alla massima. La media aritmetica di questi ultimi tre parametri ha permesso di determinare l'indice di crescita.

Successivamente alla valutazione dell'accrescimento, è stato monitorato lo stato nutrizionale delle piante con l'impiego dello strumento SPAD-502 Plus, in grado di dare un valore (indice SPAD) direttamente proporzionale al contenuto di clorofilla delle foglie.

Durante il periodo di trattamento, i fiori maturi sono stati raccolti due volte a settimana (16 raccolte in totale) (Fig. 7). Successivamente, è stata determinata la quantità di fiori totale per ogni parcella (blocco di otto piante). Ogni campione è stato pesato per ottenere la produzione totale; il peso totale è stato determinato tramite una bilancia di precisione.



*Figura 7. immagine rappresentativa scattata durante la raccolta settimanale dei fiori*

Per la determinazione dell'accrescimento medio del fiore, sono stati prelevati dieci fiori per ogni campione, con la successiva misurazione dei parametri di lunghezza e larghezza tramite un righello (Fig. 8).



Figura 8. Misurazione delle caratteristiche dimensionali dei fiori freschi recisi tramite righello.

Inoltre, per determinare il quantitativo di acqua e sostanza secca, è stato determinato per ogni campionamento il peso fresco (PF) di un subcampione di circa 5.500 g, per poi porre il campione ad un processo di essiccazione in stufa a 105° per la determinazione del peso secco (PS). I campioni essiccati sono stati pesati per la quantificazione della sostanza secca.

$$\text{sostanza secca}(\%) = \frac{PS}{PF} * 100$$

#### 2.4. Condizioni di conservazione fiori eduli recisi

Ogni 15 giorni è stata avviata una prova di *Shelf Life*, un procedimento attraverso il quale si determina il lasso di tempo che intercorre tra la produzione e il consumo del prodotto, utile ad indicare la vita commerciale del medesimo.

La conservazione post-raccolta è stata effettuata riponendo 10 fiori all'interno di



vaschette alimentari trasparenti con coperchio a chiusura ermetica e a 4°C in cella frigo con luce accesa per simulare la conservazione in un baco frigo di un supermercato (Fig. 9).



*Figura 9. Vaschette ermetiche utilizzate per simulare la conservazione in frigo di fiori eduli recisi.*

I consumatori sono influenzati dall'attrattiva visiva dei fiori commestibili e solo i prodotti di alta qualità incoraggiano acquisti ripetuti, abbiamo stabilito bisettimanalmente la qualità di conservazione dei fiori su una scala basata sull'osservazione visiva del grado di decadimento e la perdita dell'attrattiva estetica del prodotto, questo parametro è stato valutato da due operatori. La valutazione è stata fatta su scale 1-9, dove 9 rappresentava il prodotto fresco (fiore senza difetto); da 7 a 5 fiore moderatamente deteriorato/petali arricciati (limite per la commerciabilità); da 4 a 1 fiore con petali appassiti con più della metà della superficie decaduta (non adatto alla vendita).






				
9	7	5	3	1
Nessun difetto, eccellente	Petali leggermente arricciati, buono	Petali moderatamente arricciati, discreto	Petali severamente arricciati, grossi difetti	Fiore appassito, inutilizzabile

Tabella 2. Grafico per 'Visual Rating' post avviamento Shelf Life. Diversi stadi di fioritura della *Viola cornuta* L. 'Penny Yellow Jump Up'. Oltre alla valutazione visiva sono anche stati valutati i pesi freschi dei fiori.

## 2.5. Rilievo finale

Alcune piante di *Viola* sono state attaccate pesantemente dal ragno rosso (*Tetranychus Urticae*) e questo ha accelerato la fine della prova che è avvenuta in data 18 aprile. In questa occasione è stato condotto un rilievo finale sulla pianta. Ciascuna di queste è stata sottoposta a misurazioni biometriche, quali: lunghezza massima della parte vegetativa della pianta e il peso fresco totale. Infine, tutti i campioni sono stati preparati per la misurazione del peso secco, che è stato effettuato con lo stesso procedimento utilizzato per i fiori (stufa a 105 °C).

## 2.6. Analisi statistica

In definitiva i trattamenti testati sono stati:

- PNT con tre livelli (controllo, basso e alto);
- Irradianza (controllo, basso e alto).

I trattamenti di irradiazione hanno avuto due repliche.

Tutti i dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi della varianza e le differenze saggiate con il test di Tukey.

Dal momento che i trattamenti PNT non hanno avuto repliche, sono stati considerati "blocchi" nell'analisi della varianza. Questo ha permesso di determinare che vi sono state differenze significative sia tra i trattamenti PNT che

di irradianza, ma non ha consentito di verificare se vi siano state interazioni tra i due fattori allo studio.

I dati ricavati dai rilievi quanti-qualitativi sono stati elaborati statisticamente attraverso l'analisi della varianza ANOVA a due vie e le medie sono state separate attraverso il test HSD di Tukey con  $p \leq 0.05$ .

### 3. RISULTATI

#### 3.1. Ambiente di coltivazione

Le piante di *Viola cornuta* sono state coltivate in piccole serre ubicate all'interno di una serra tunnel riscaldata. Questo ha cambiato profondamente l'ambiente di coltivazione. In figura 10 sono riportate le temperature medie giornaliere dell'ambiente esterno (dati ARPAV) a confronto di quelle rilevate all'interno delle piccole serre di coltivazione. Come si può vedere, all'esterno le temperature medie sono gradualmente aumentate nel tempo hanno avuto valori minimi prossimi a 5 °C e massimi, alla fine della prova, di 16.1 °C. Dentro le piccole serre, invece, le temperature medie non sono mai scese sotto i 15 °C, mentre quelle massime hanno toccato i 30 °C. Questi valori, alti per la viola, sono dovuti alla scelta di non aprire le finestrate delle piccole serre per non vanificare il trattamento PNT.

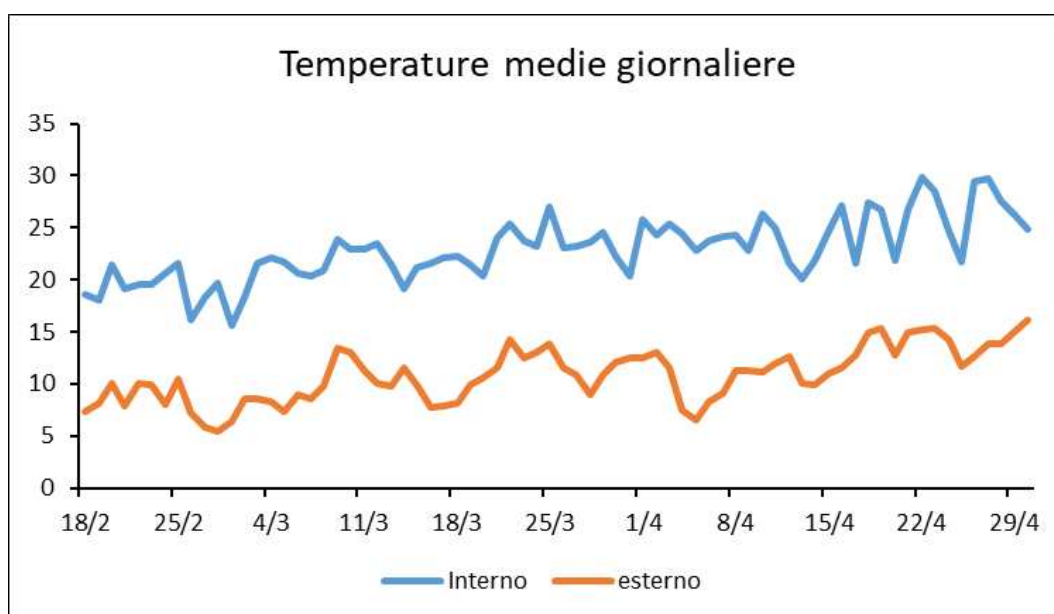


Figura 10. Andamento delle temperature medie giornaliere durante la prova con riferimento esterno serra ed interno serra.

Per quanto riguarda l'intensità luminosa, quella esterna e quella interna sono riportate in figura 11. Per la radiazione globale esterna, ARPAV fornisce i valori in termini di MJ/m<sup>2</sup> mentre i sensori posti entro le piccole serre rilevano le  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  da cui è stato possibile ricavare il DLI (daily light integral). Queste misure non sono, ovviamente, paragonabili. In ogni caso i valori esterni sono stati molto

maggiori di quelli interni a causa dell'effetto di ombreggiamento delle strutture portanti e dei materiali di copertura della serra tunnel e delle serre piccole. Come atteso, comunque, questi due parametri hanno avuto andamenti molto simili.

Va ricordato che, per effetto della illuminazione supplementare applicata, con la tesi controllo ( $1.66 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) sono stati apportati ulteriori  $0.10 \text{ Mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , col trattamento basso ( $75 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), ulteriori  $4.32 \text{ Mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  e con l'irradianza alta ( $150 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), ulteriori  $8.64 \text{ Mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

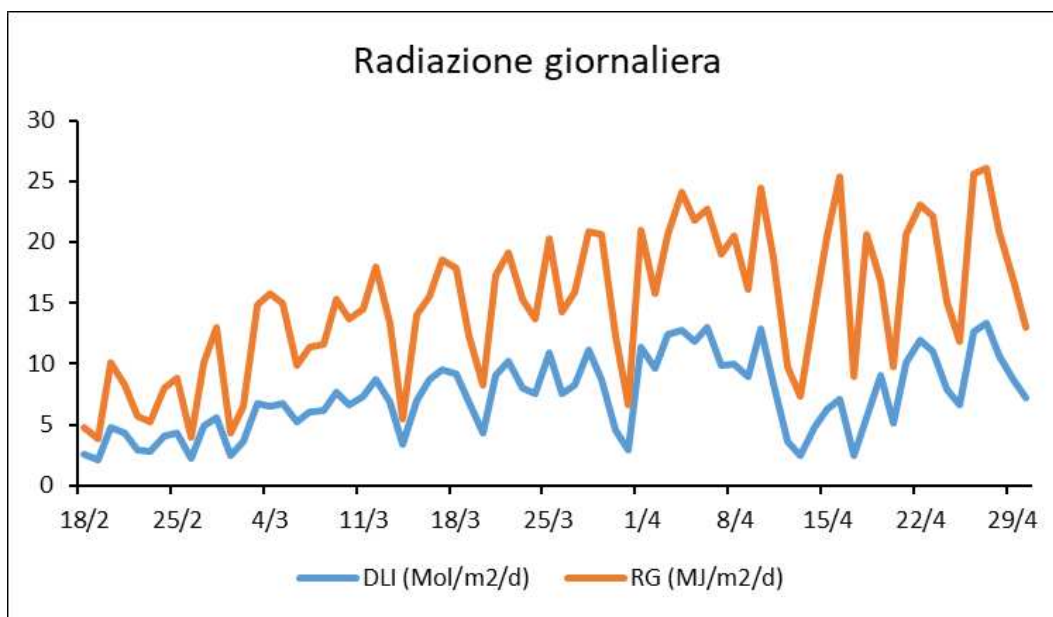


Figura 11. andamento della radiazione giornaliera durante la prova con riferimento al colore blu: irradianza misurata all'interno della serra tramite sensori ( $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), colore arancione: radiazione globale esterna  $\text{MJ/m}^2$ .

### 3.2. Risposta delle piante

Durante i tre mesi di prova molti sono stati i cambiamenti osservati nei parametri vegetativi e produttivi relativi sulle piante di *Viola cornuta* 'Penny Yellow Jump Up', e spesso sono state osservate delle differenze dovute sia al Plasma Non Termico (PNT) che all'irradianza applicata.

#### 3.2.1. Accrescimento della pianta

Per quanto riguarda l'effetto dei trattamenti sull'altezza delle piante (altezza comprensiva dei fiori), i valori sono inizialmente cresciuti fino al quarto rilievo (21 marzo) per poi decrescere leggermente (Fig. 12). Questo comportamento, in apparenza strano, è dovuto all'allettamento della pianta, dal momento che i fusti di



viola sono erbacei e, ad un certo punto, si piegano per azione del peso.

Per i primi sei rilievi, si è assistito ad un effetto significativo del trattamento con PNT (Fig. 12). In particolare, il trattamento con PNT alto ha spesso favorito l'accrescimento in altezza della pianta rispetto agli altri due trattamenti. I valori più bassi in assoluto sono stati riscontrati con PNT basso.

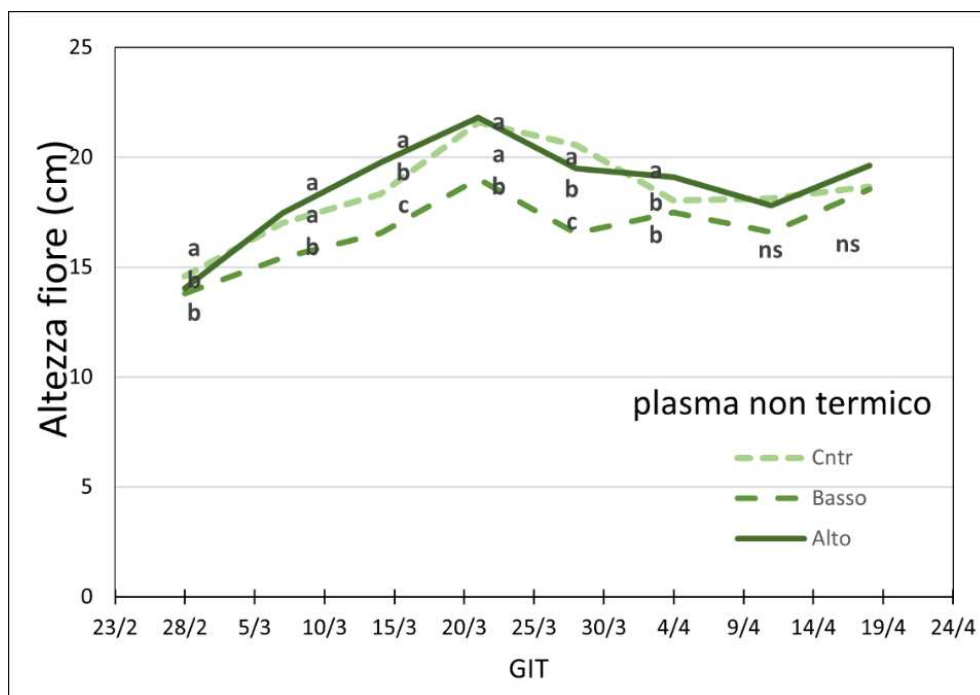


Figura 12. Andamento della crescita in altezza del fiore durante la prova in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Per quanto concerne l'utilizzazione della luce supplementare, si sono osservate delle differenze dovute alla diversa intensità di luce solamente in tre degli otto rilievi (Fig.13). In particolare, con la maggiore irradianza ( $150 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) si sono avuti accrescimenti minori rispetto all'intensità media ( $75 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e il controllo ( $1.66 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Fig. 13).

L'indice di crescita della pianta (la media aritmetica e delle due larghezze ortogonali della pianta) è andato, ovviamente, progressivamente aumentando con il passare del tempo, passando da valori medi iniziali di 14 cm a valori medi finali di 21,8 cm (Fig. 14). Per quanto riguarda l'effetto del trattamento PNT, l'alta intensità ha favorito i maggiori accrescimenti, significativi già al terzo rilievo (Fig. 14). A partire da inizio aprile i valori riscontrati con alto PNT sono risultati statisticamente superiori sia rispetto a quelli del controllo, che di quelli del basso

PNT. A fine prova, ad esempio, l'indice di crescita delle piante alto PNT è stato di 22.3 cm, superiore del 9.9% rispetto a quelli degli altri due trattamenti.

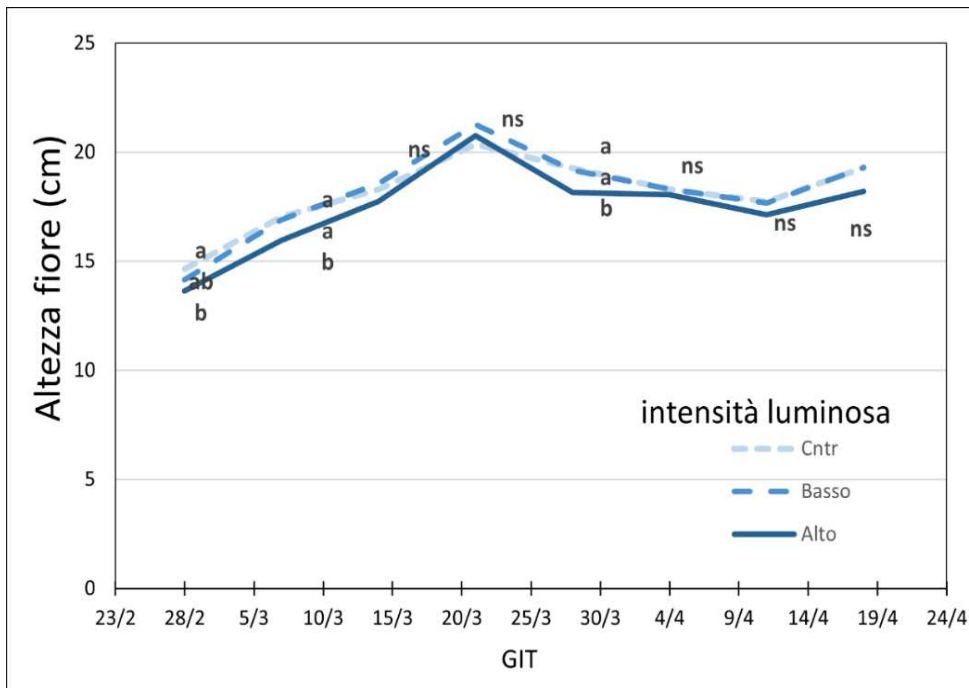


Figura 13. Andamento della crescita in altezza del fiore durante la prova in funzione dell'irradianza all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

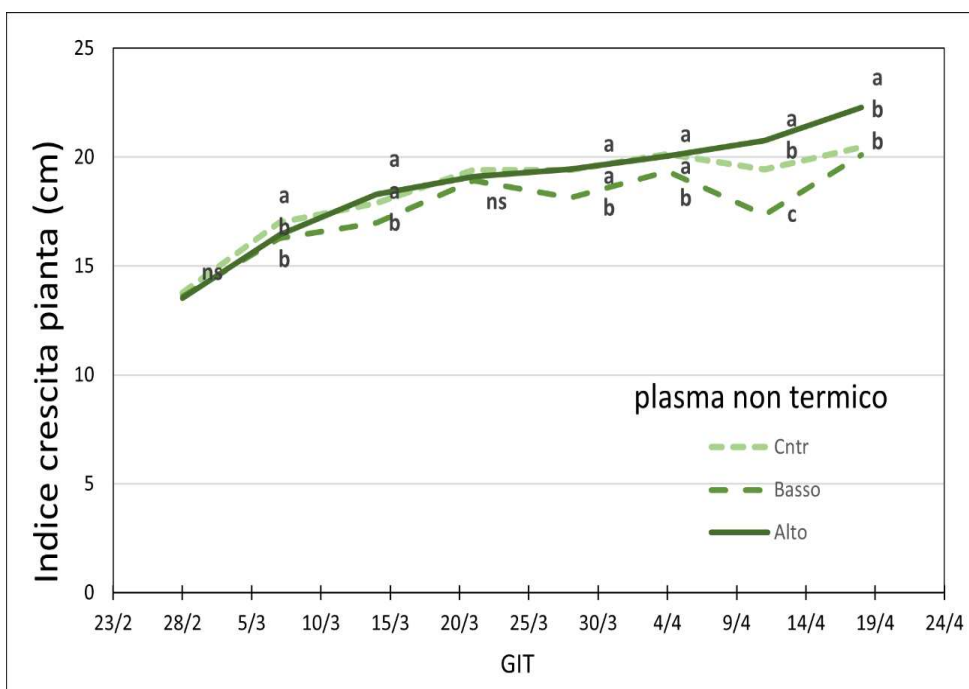


Figura 14. Andamento dell'indice di crescita della pianta durante la prova in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Nei riguardi dell'effetto dell'utilizzazione della luce LED, si sono osservate piccole differenze dovute ai trattamenti in quattro degli otto rilievi eseguiti (Fig. 15). Nella maggior parte dei casi, i valori più elevati sono stati riscontrati nel trattamento controllo ( $1.66 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) rispetto agli altri due trattamenti che, spesso, non hanno prodotto differenze nell'indice di crescita.

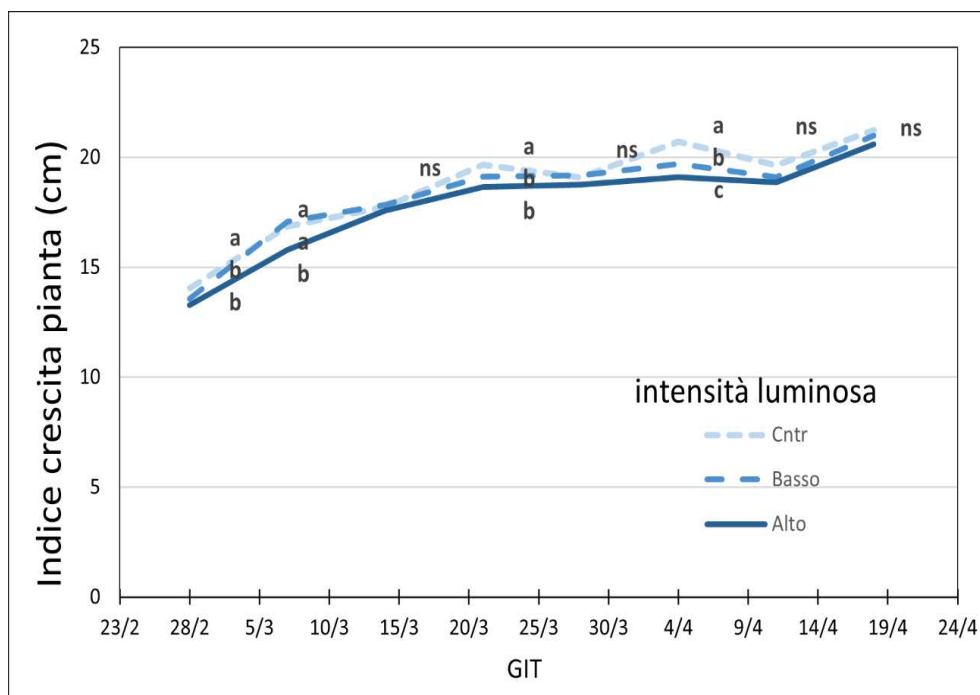


Figura 15. Andamento dell'indice di crescita della pianta durante la prova, in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Durante la prova è anche stato monitorato il valore SPAD delle foglie che ricordo essere un indice della concentrazione di clorofilla nelle foglie, ma che è anche legato al contenuto fogliare di azoto e può quindi essere associato ad un migliore stato nutrizionale della pianta.

Le figure 16 e 17 mostrano un generale leggero aumento dei valori nel tempo (in media, 45.7 ad inizio e 53.2 a fine prova). I due fattori allo studio applicati (PNT e irradianza) hanno avuto scarso effetto su questo parametro.

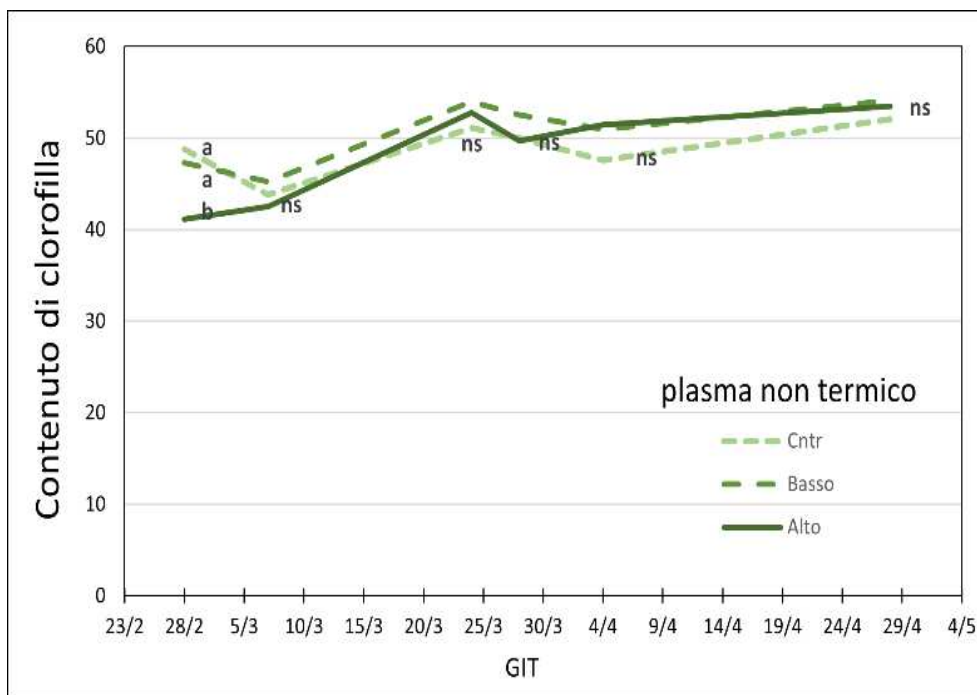


Figura 16. Andamento della concentrazione di clorofilla nella pianta durante la prova, in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

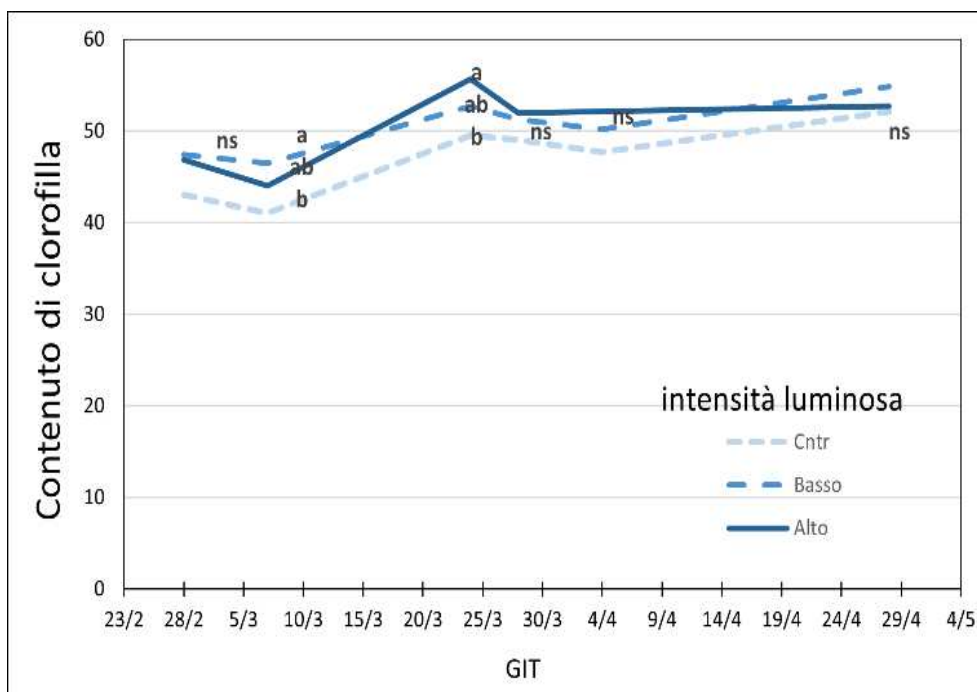


Figura 17. Andamento della concentrazione di clorofilla nella pianta durante la prova, in funzione dell'irradianza all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Il rilievo distruttivo delle piante è avvenuto in data 18 aprile. Sono stati misurati i parametri relativi la lunghezza massima raggiunta dai fusti erbacei, il peso fresco

e secco totale e, da questi, è stata calcolata la percentuale di sostanza secca. L'analisi della varianza ha evidenziato l'effetto significativo di entrambi i fattori allo studio sulla lunghezza dei fusti, sul peso fresco e sul peso secco della parte aerea della pianta.

Le lunghezze dei fusti maggiori si sono osservate con il trattamento alto di PNT rispetto a quello basso, ma che non si è però differenziato rispetto al controllo (Fig. 18). Nei riguardi dell'intensità luminosa, i valori maggiori sono stati riscontrati nelle piante del controllo e quelle con livello basso di irradianza, rispetto a quelle che hanno ricevuto l'illuminazione massima (Fig. 18).

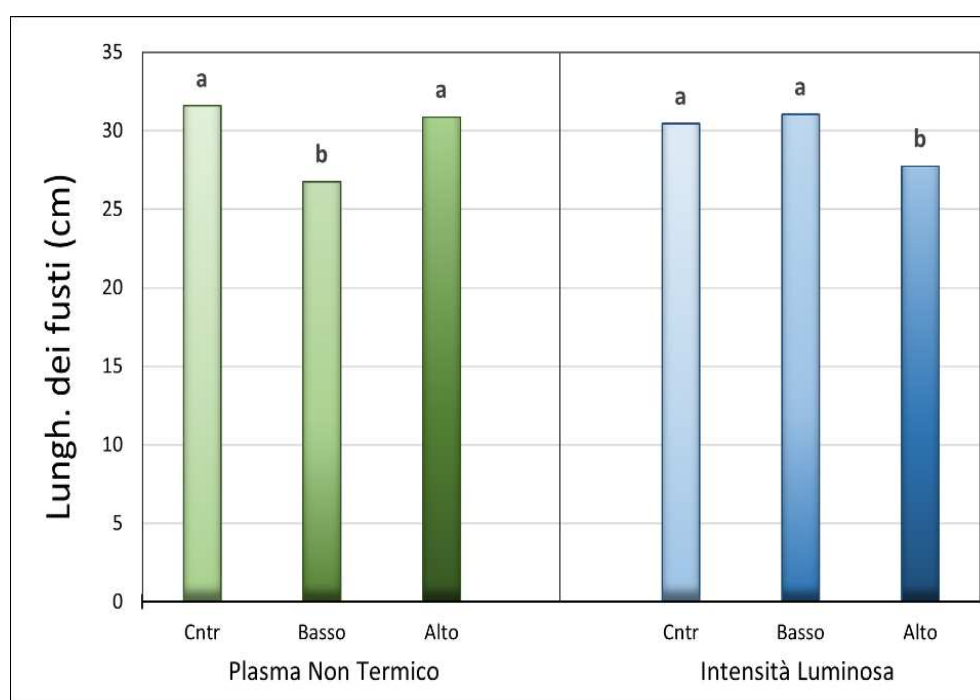


Figura 18. Effetto del trattamento con Plasma Non Termico e illuminazione supplementare all'interno della serra sulla lunghezza dei fusti delle piante a fine prova. Barre di istogramma con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0,05$  (Test di Tukey).

Analogamente a quanto rilevato per la lunghezza dei fusti, i valori maggiori di peso fresco e di peso secco sono stati osservati per alto PNT e controllo, e minori per basso PNT (Figg. 19 e 20).

Diverso, invece, è stato l'effetto della diversa irradianza. Il peso fresco maggiore si è infatti riscontrato con irradianza bassa e alta, rispetto al controllo (Fig. 19). Il peso secco maggiore, invece, è stato ottenuto con l'irradianza maggiore, valori intermedi con la bassa irradianza e minori nel controllo. Rispetto al controllo, infatti, con l'irradianza più alta si è ottenuto un peso secco maggiore del 32.2% rispetto al controllo (Fig. 20).

Infine, nessuno dei fattori allo studio hanno influenzato la percentuale di sostanza secca della parte aerea della pianta che, in media, è stata del 14.8%.

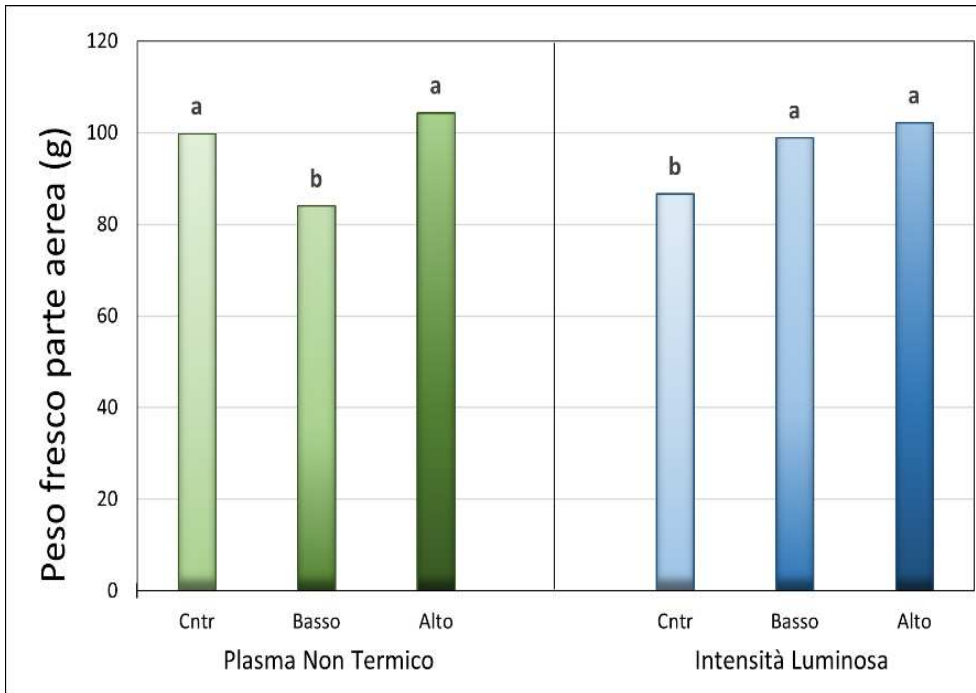


Figura 19. Effetto del trattamento con Plasma Non Termico e illuminazione supplementare all'interno della serra sul peso fresco della parte aerea delle piante, a fine prova. Barre di istogramma con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0,05$  (Test di Tukey).

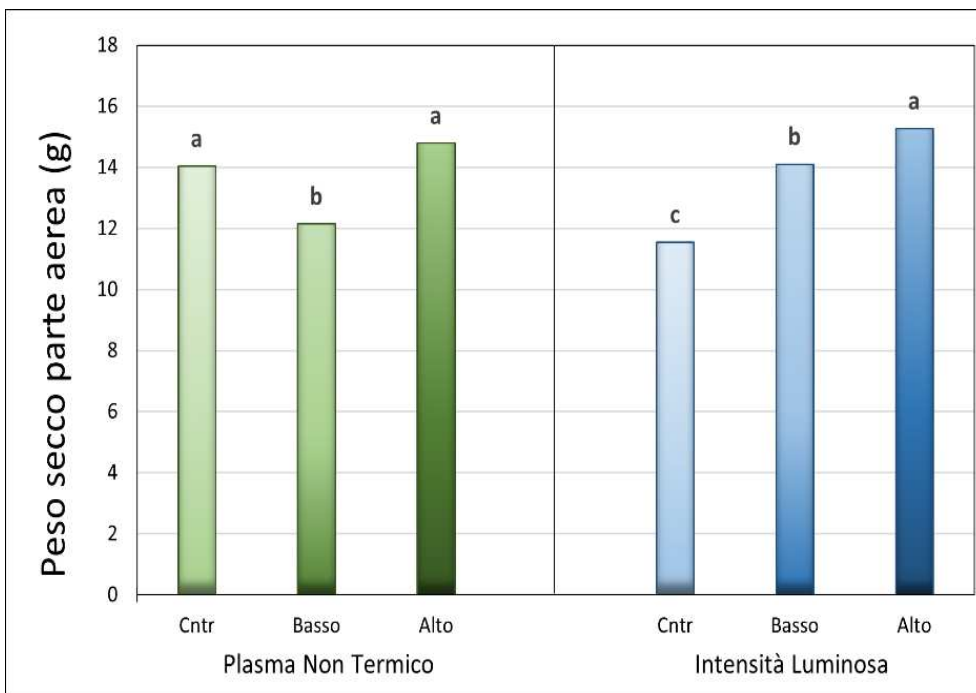


Figura 20. Effetto del trattamento con Plasma Non Termico e illuminazione supplementare all'interno della serra sul peso secco della parte aerea delle piante, a fine prova. Barre di istogramma con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0,05$  (Test di Tukey).

### 3.2.2. La produzione

La raccolta dei fiori è iniziata 21 febbraio e la seconda raccolta è avvenuta a distanza di una settimana. Successivamente, la raccolta è avvenuta due volte la settimana (il martedì e il venerdì) quindi con intervalli di 4 o 3 giorni. Questo giustifica l'andamento a denti di sega del grafico delle figure 21 e 22. Al netto di questo effetto, il numero di fiori raccolti è progressivamente aumentato nel tempo, da valori medi di circa 11 fiori per pianta a 51.5 fiori per pianta (Fig. 21).

Su questo parametro, l'effetto del PNT (Fig. 21) ha evidenziato differenze significative stabili a partire dal 10 marzo (quinta raccolta). Nella maggior parte dei casi si sono avute raccolte maggiori con in PNT alto, mentre quello basso e il controllo hanno presentato produzioni inferiori, e simili dal punto di vista statistico tra loro.

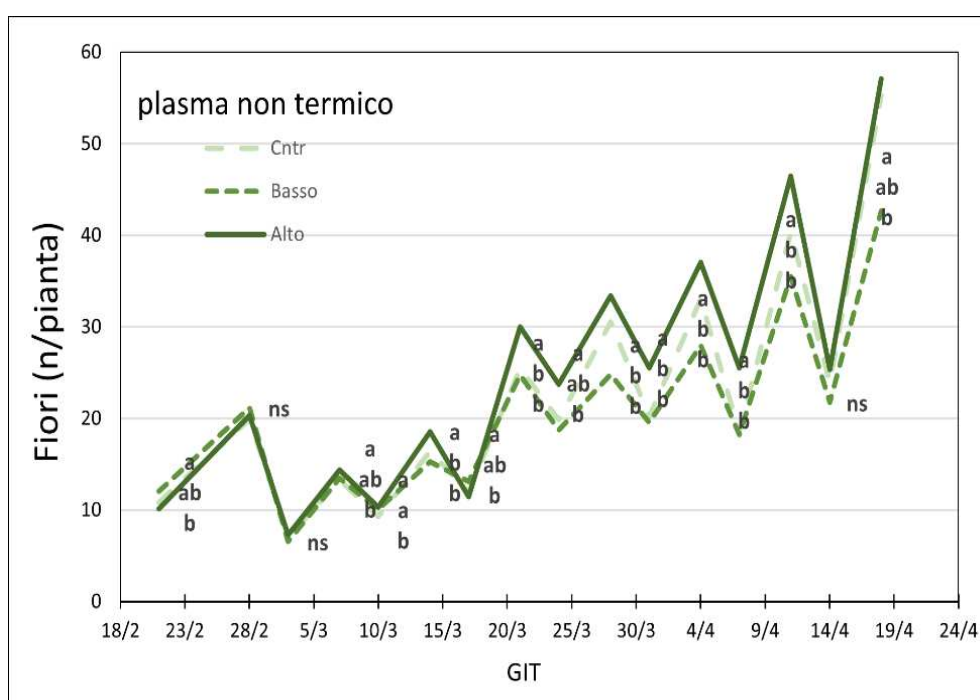


Figura 21. Andamento della quantità dei fiori prodotti per pianta durante la prova, in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Ancora più netto è stato l'effetto dell'intensità luminosa (Fig. 22). Sin dalla prima raccolta, con l'intensità luminosa più elevata si è ottenuto un numero di fiori più elevato rispetto al controllo e, per molte raccolte, anche rispetto alla intensità intermedia. Le differenze tra il trattamento di 150 e 2  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sono variate dal

+19.6% (21 febbraio) al +98.1% (31 marzo) (media +62.6%).

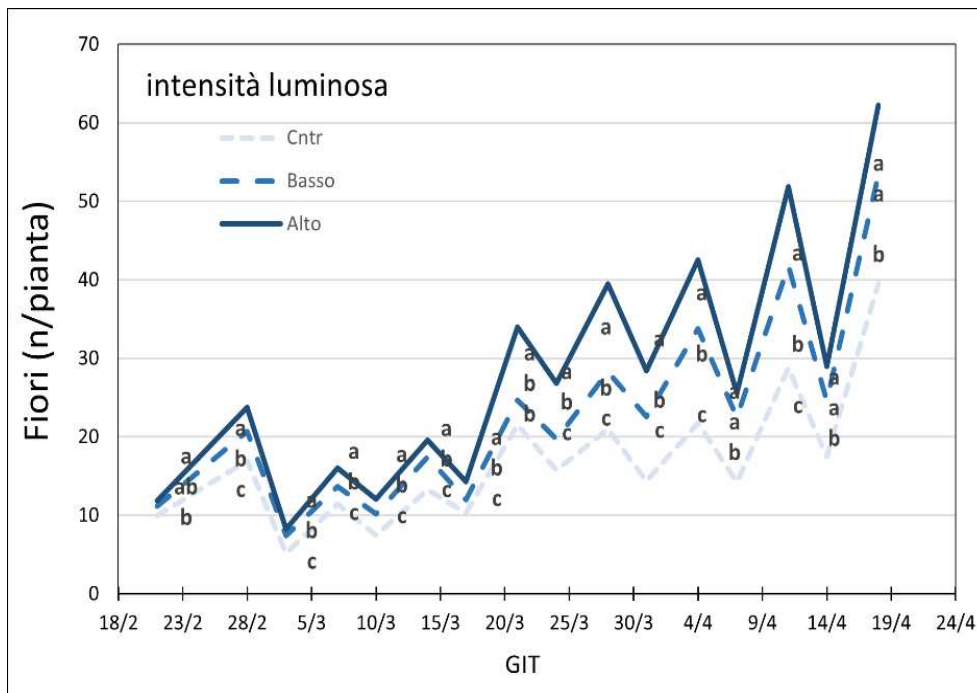


Figura 22. Andamento della quantità dei fiori prodotti per pianta durante la prova, in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Nelle figure 23 e 24 viene riportata la produzione cumulata di fiori in funzione dei fattori PNT e irradianza. Nella prima figura si vede chiaramente come, a partire da metà marzo, l'effetto del PNT alto sia stato positivo e abbia permesso di migliorare la produzione rispetto agli altri due trattamenti. Alla fine della prova, con PNT alto sono stati raccolti quasi 400 fiori per pianta, il 16.3% in più rispetto agli altri due trattamenti che, invece, non si sono differenziati tra loro (Fig. 23).

La produzione cumulata, in funzione dei trattamenti luminosi (Fig. 24), mostra in modo evidente l'effetto positivo dell'aumento dell'irradianza. Sin dal primo rilievo l'irradianza maggiore ha incrementato il numero di fiori raccolti rispetto al controllo, e già da secondo, anche rispetto all'irradianza bassa. A fine prova con  $150 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  è stato raccolto il 22.5% in più di fiori rispetto al trattamento con  $75 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e il 65.9% in più rispetto al controllo ( $1.66 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).



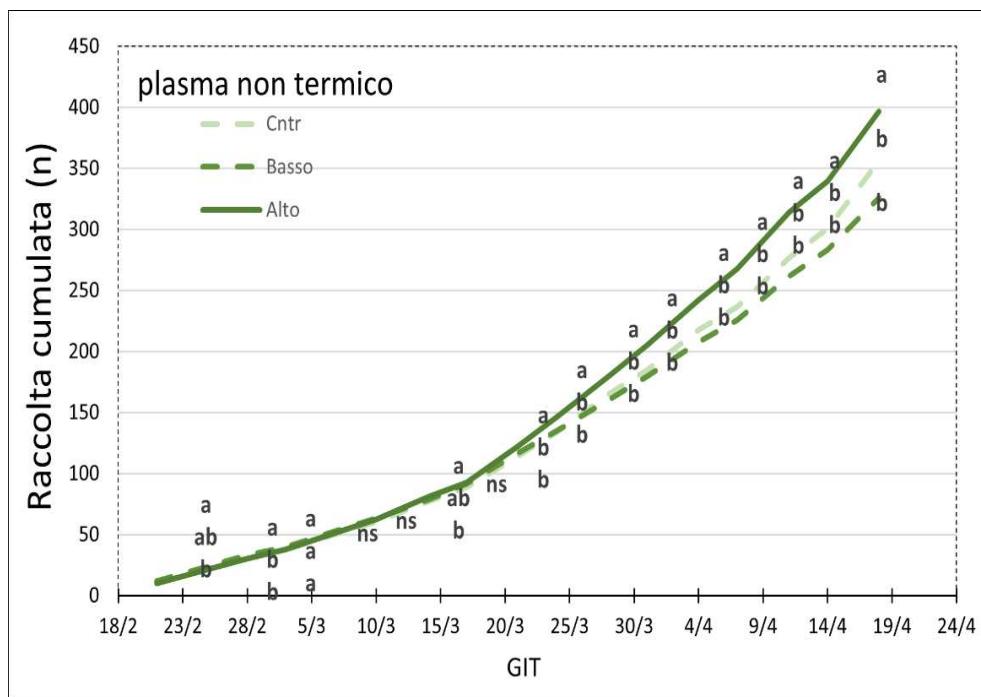


Figura 23. Andamento del numero cumulato di fiori prodotti per pianta durante la prova, in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

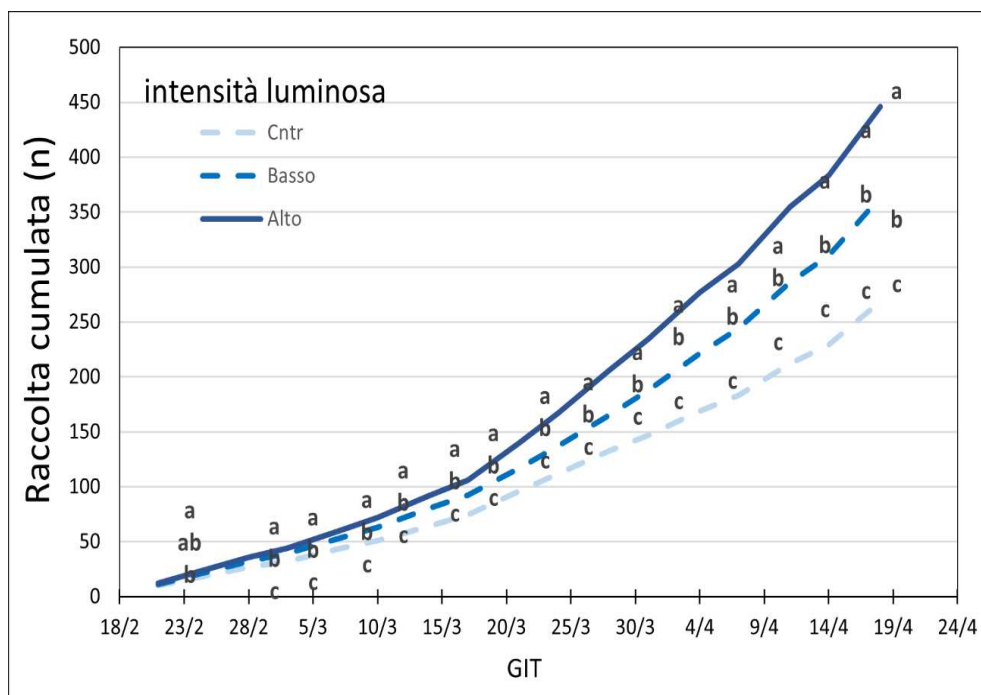


Figura 24. Andamento del numero cumulato di fior prodotti per pianta durante la prova, in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Su questo parametro, l'effetto del PNT elevato sul peso fresco totale (Fig. 25) ha evidenziato differenze significative stabili a partire dal 21 marzo (ottava misurazione). Nella maggior parte dei casi si sono avute raccolte maggiori con PNT alto, mentre quello basso e il controllo hanno presentato produzioni inferiori, e simili dal punto di vista statistico.

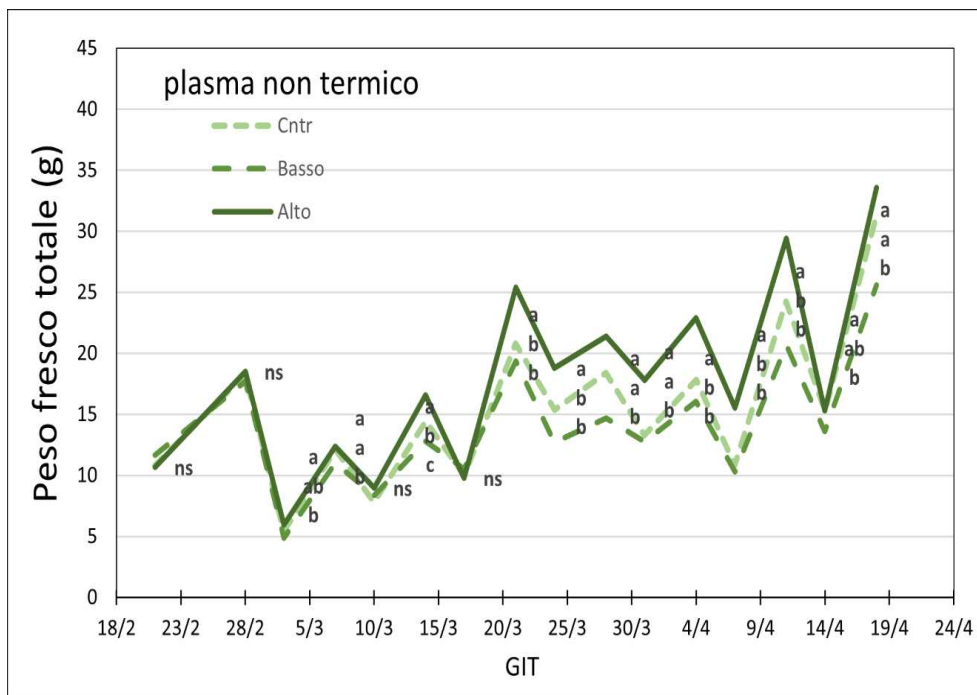


Figura 25. Andamento del peso fresco dei fiori raccolti durante la prova, in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

L'andamento del peso fresco totale delle singole raccolte, in funzione dei trattamenti luminosi (Fig. 26), mostra l'effetto positivo dell'aumento dell'irradianza. Sin dal primo rilievo l'irradianza maggiore ha incrementato il peso nei fiori raccolti rispetto al controllo e anche rispetto all'irradianza bassa. Le differenze tra il trattamento di 1.66 e 150  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sono variate dal +22% al +36% (24 aprile) (media +63%).

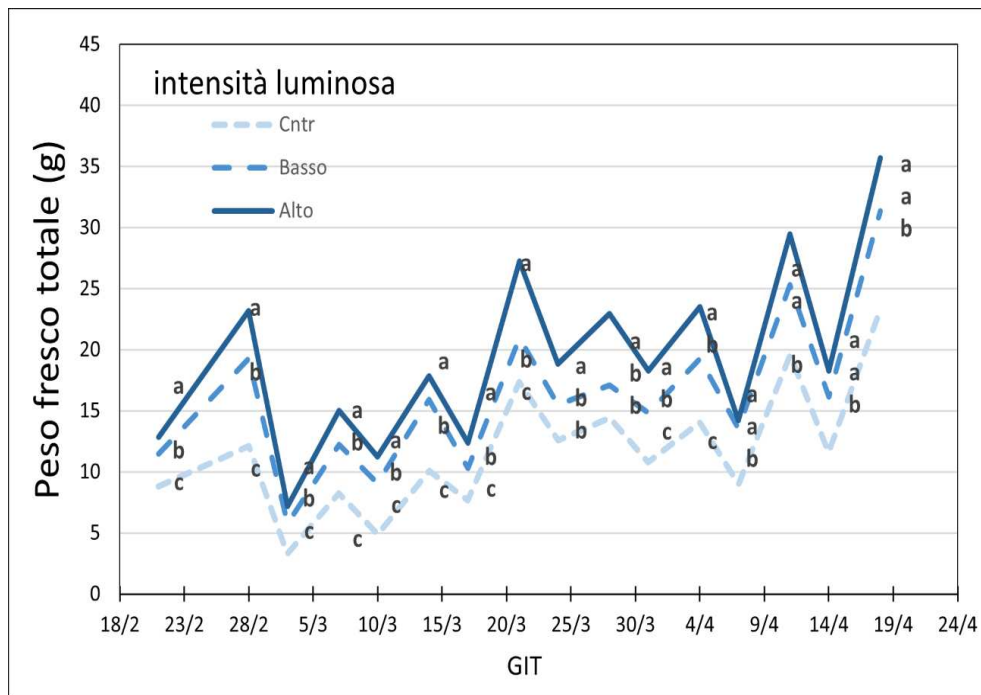


Figura 26. Andamento del peso fresco fresco dei fiori raccolti durante la prova in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Nelle figure 27 e 28, viene riportato il peso cumulato dei fiori in funzione dei fattori PNT e irradianza. Nella prima figura si vede chiaramente come, a partire da metà marzo, l'effetto del PNT alto sia stato positivo e abbia permesso di migliorare la produzione rispetto agli altri due trattamenti. Alla fine della prova, con PNT alto l'aumento del peso cumulato è stato quasi di 300 g, il 14,3% in più rispetto al trattamento basso e il 27,3% in più rispetto al trattamento controllato (Fig. 27).

Il peso cumulato della produzione, in funzione dei trattamenti luminosi (Fig. 28), mostra in modo ancora più evidente l'effetto positivo dell'aumento dell'irradianza. Sin dal primo rilievo l'irradianza maggiore ha incrementato il peso totale rispetto al controllo e anche rispetto all'irradianza bassa. A fine prova con  $150 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  è stato raccolto il 15,38% in più di fiori rispetto al trattamento con  $75 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e il 66,6% in più rispetto al controllo.

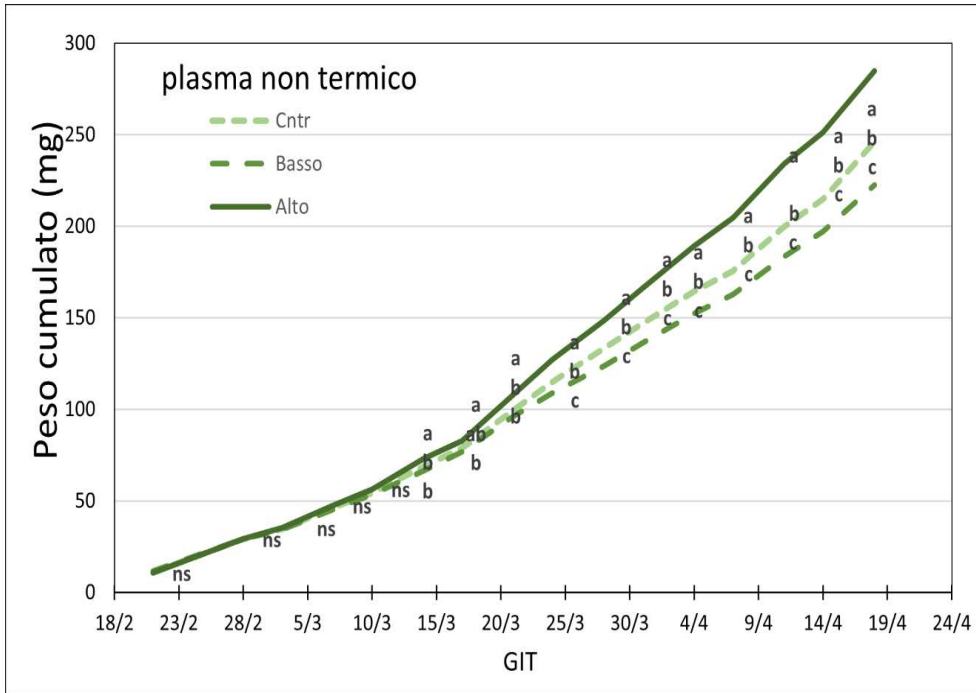


Figura 27. Andamento del peso fresco cumulato durante la prova in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

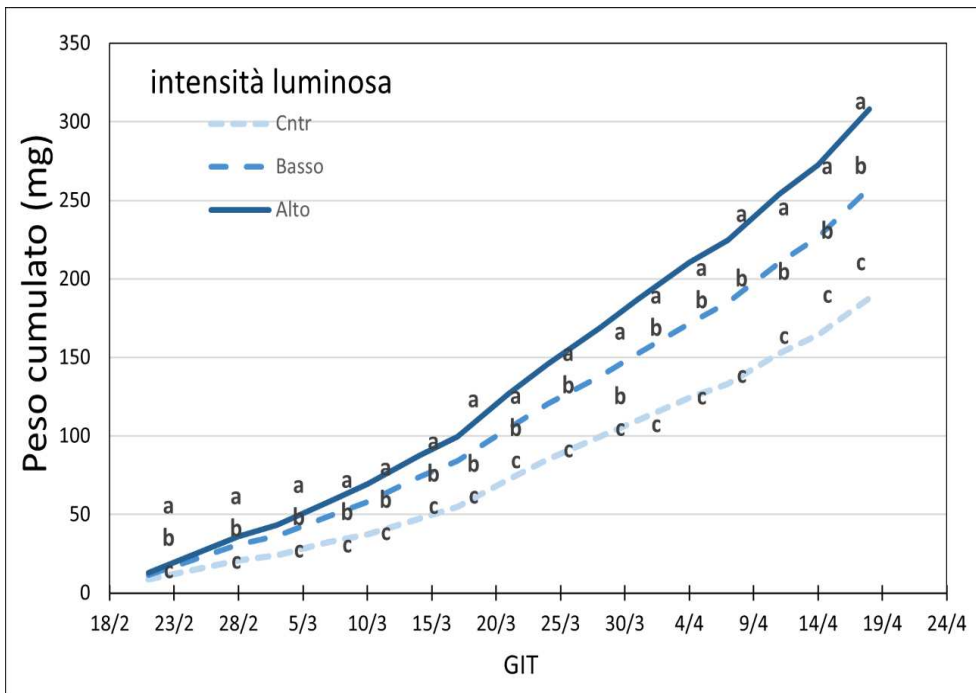


Figura 28. Andamento del peso fresco cumulato durante la prova in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Il peso medio del singolo fiore è diminuito con il progredire del tempo passando da valori medi di 168 mg, ad inizio prova, a 100 mg alla fine della prova (Fig. 29). Su questo parametro, l'effetto del PNT non è stato molto rilevante e spesso non significativo. Alcune differenze sono state riscontrate alle prime raccolte, con effetto positivo dell'alto PNT sugli altri due (Fig. 29).

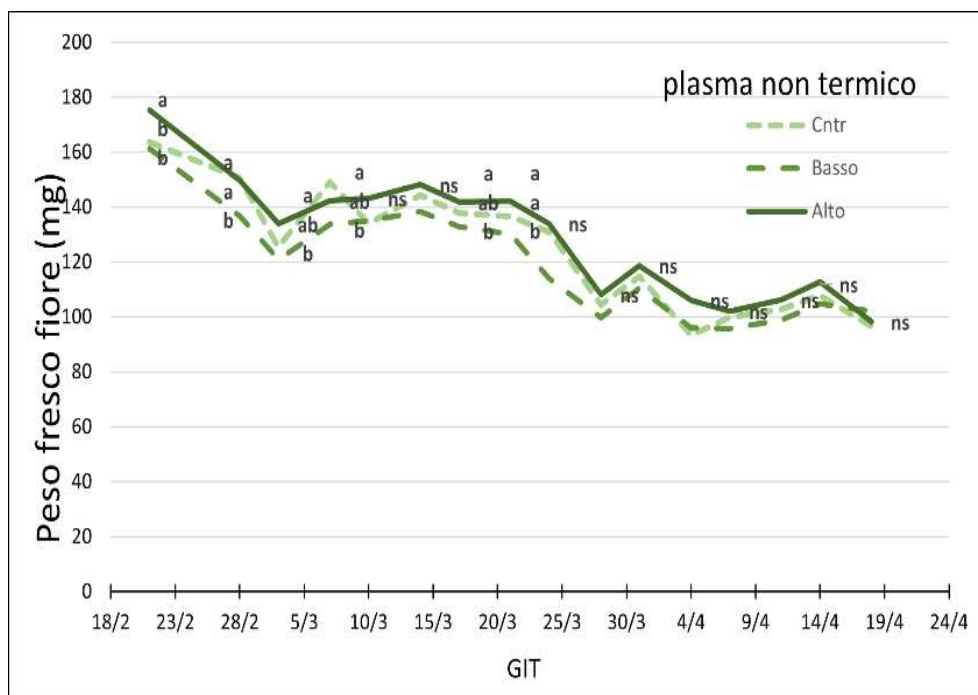


Figura 29. Andamento del peso fresco medio dei singoli fiori raccolti durante la prova, in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Nei riguardi dell'effetto dell'irradianza, inizialmente l'aumento dell'intensità luminosa ha influenzato positivamente questo parametro, ma questo effetto è cambiato nel tempo e si è poi invertito alla raccolta del 21 marzo. All'inizio l'effetto (ricordo positivo) è stato notevole con pesi medi dei fiori che, con irradianza alta, sono stati superiori del 21.7% rispetto al controllo (Fig. 30).

Per quanto concerne l'accrescimento in lunghezza del fiore, l'effetto del PNT è stato contenuto (Fig. 31). Si sono osservate piccole differenze dovute ai trattamenti in quattro dei nove rilievi eseguiti, i valori più elevati sono stati riscontrati nel trattamento PNT alto rispetto agli altri due trattamenti.

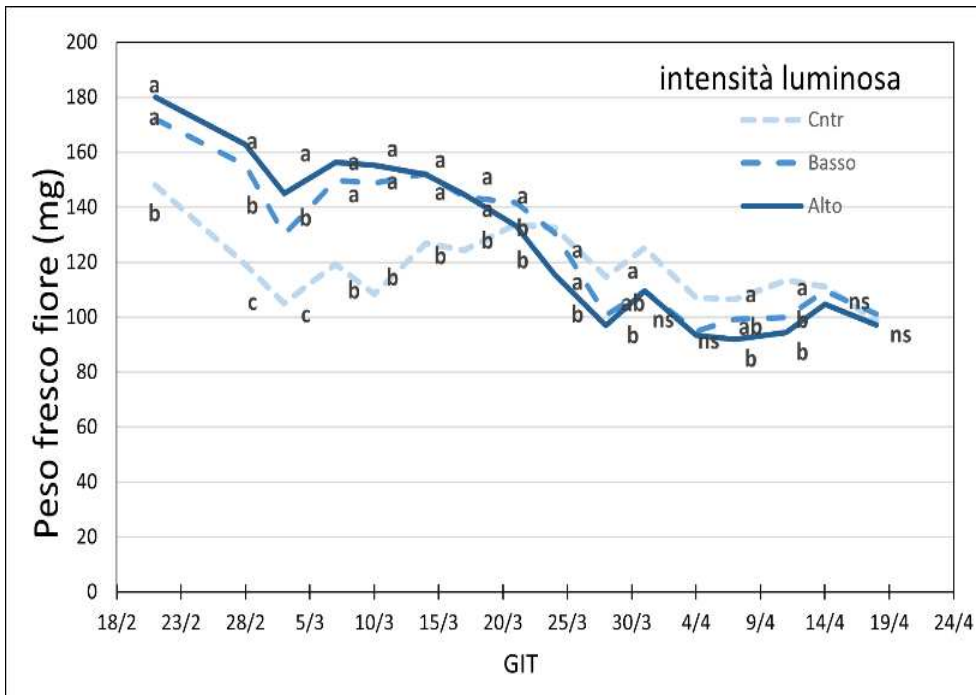


Figura 30. Andamento del peso fresco medio dei singoli fiori raccolti durante la prova in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

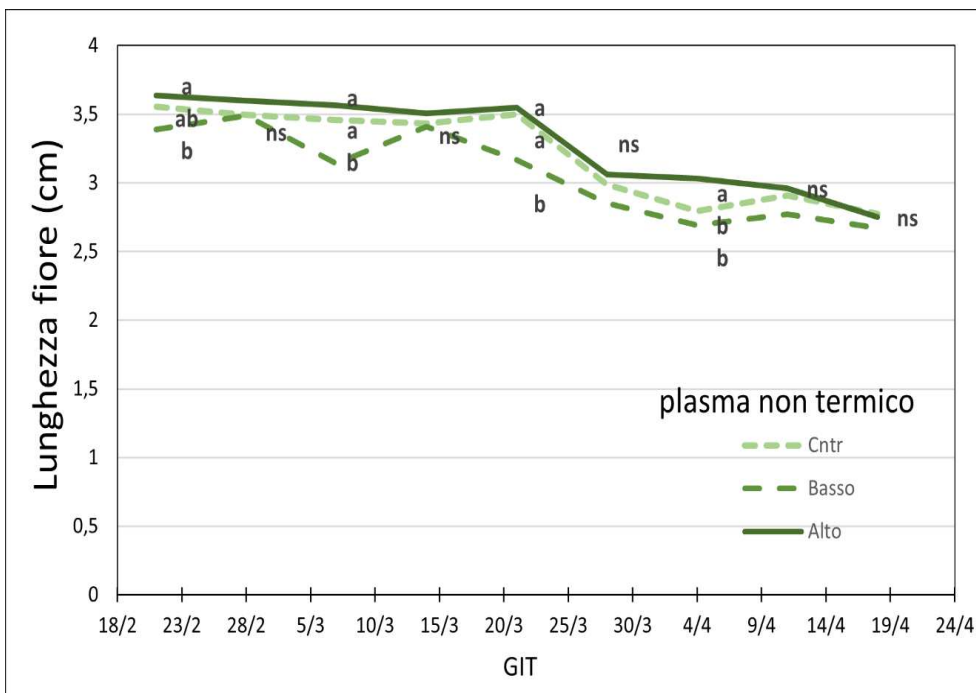


Figura 31. Andamento della lunghezza media del fiore raccolti durante la prova, in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Sulla lunghezza del fiore, le diverse intensità di luce applicate hanno avuto un effetto molto particolare (Fig. 32). Alle prime raccolte l'aumento dell'irradianza da 1.66, a 75 e quindi a 150  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ha avuto un effetto positivo. Questo si è invertito a partire da metà marzo.

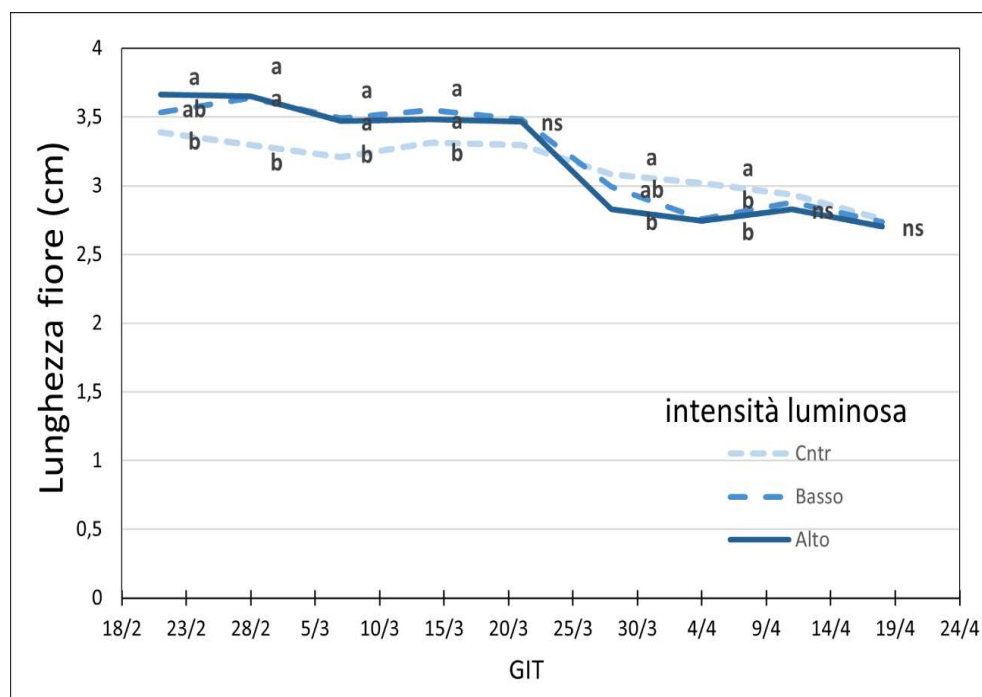


Figura 32. Andamento della lunghezza media del fiore raccolti durante la prova, in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Durante la prova sono anche state monitorate le dimensioni dei fiori (larghezza e lunghezza).

Le figure 33 e 34 mostrano una leggera decrescita dei valori della larghezza del fiore nel tempo (in media, 3.0 cm ad inizio e 2.3 cm a fine prova). I due fattori allo studio applicati (PNT e irradianza) hanno avuto scarso effetto su questo parametro, in particolare del trattamento con PNT (Fig. 33). L'effetto dell'irradianza è stato inizialmente positivo con le due intensità maggiori che si sono differenziate rispetto alla minore (controllo) (Fig. 34).

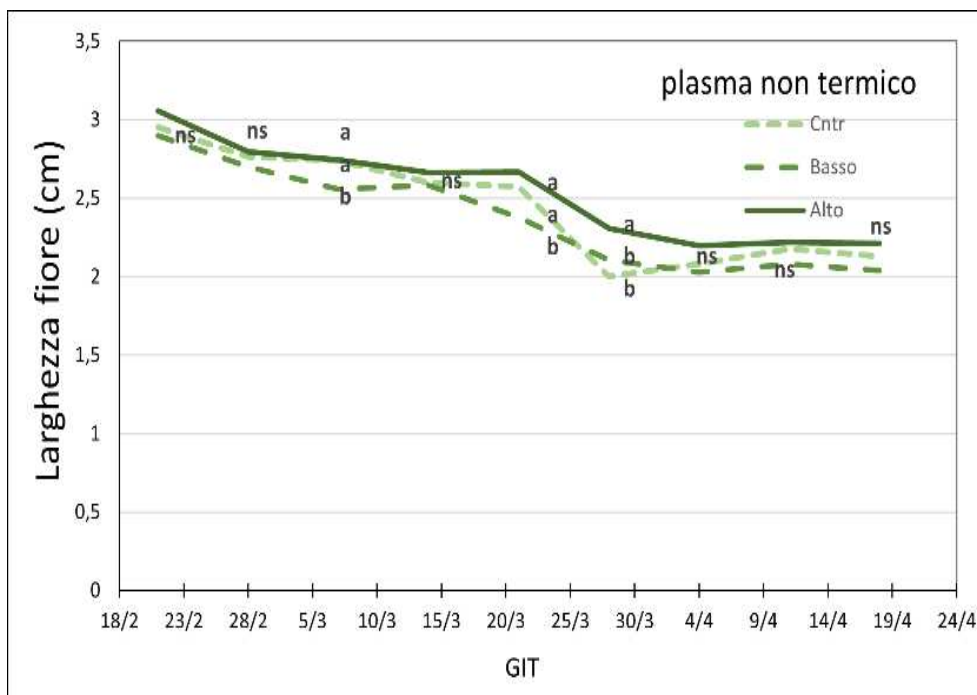


Figura 33. Andamento della larghezza media del fiore raccolti durante la prova in funzione del trattamento con Plasma Non Termico all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

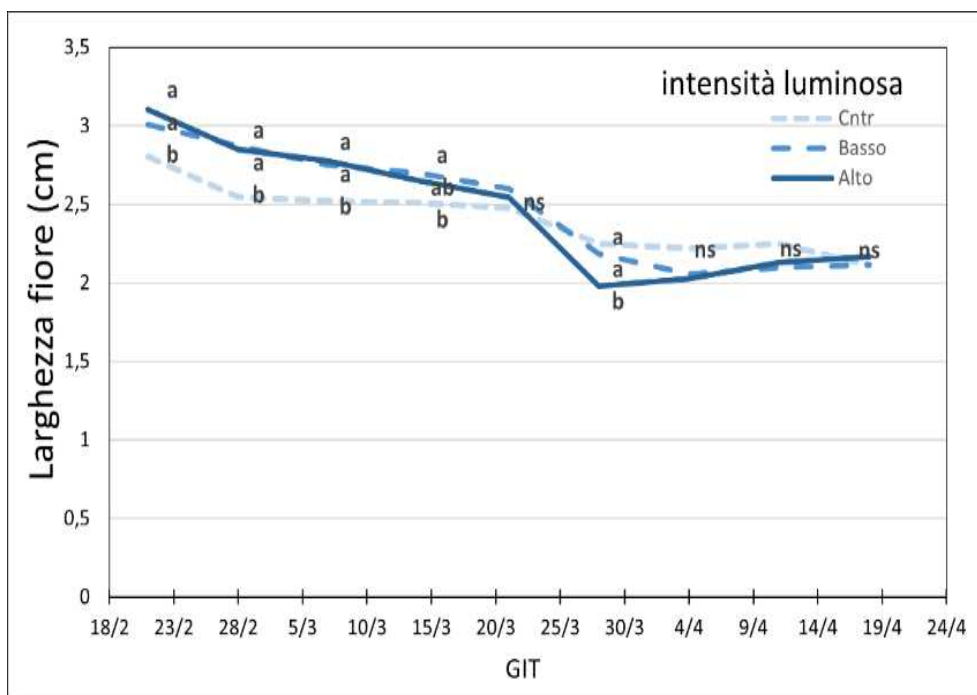


Figura 34. Andamento della larghezza media del fiore raccolti durante la prova in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.



### 3.3. Shelf Life

Con cadenza di 15 giorni (per un totale di 6 prove) la produzione raccolta è stata avviata ad una prova di shelf Life, procedura che serve a valutare la conservazione del prodotto fresco post raccolta per qualificare la produzione e valutare l'effetto dei trattamenti sulla durata del prodotto in condizioni simili allo scaffale di un supermercato. La valutazione ha riguardato il peso del fiore e la valutazione visiva dei parametri qualitativi del fiore con una scala da 1 a 9.

L'andamento del peso fresco di tutte e sei le prove di shelf Life avviate ha sempre evidenziato una (attesa) diminuzione dei valori soprattutto nei primi 10 giorni.

L'effetto dei trattamenti allo studio non hanno in genere influito su questo parametro. Ha fatto eccezione il V ciclo durante il quale è stato riscontrato un effetto del PNT con i risultati migliori (minore diminuzione del peso), sempre con l'alto PNT rispetto al controllo (Fig. 35).

Inoltre, la durata delle 6 prove hanno differito tra di loro, con durata maggiore nel V ciclo (17/4-11/5) e minore nel II ciclo, dove è stato possibile effettuare solamente 2 rilievi (13/3-20/3).

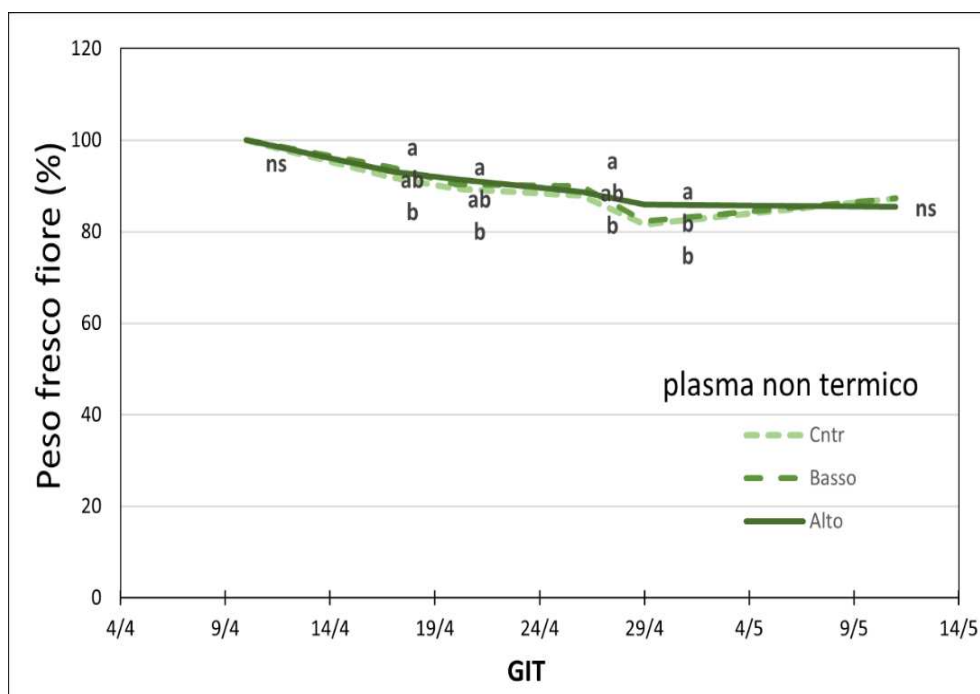


Figura 35. Ciclo I. Andamento del peso fresco dei fiori (espresso in percentuale del valore iniziale) durante la fase di conservazione in funzione del trattamento con Non thermal Plasma all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Relativamente alla valutazione visiva del prodotto, i valori sono ovviamente diminuiti con il passare del tempo.

Nel primo ciclo (21/2-16/3) gli effetti dei trattamenti (PNT e irradianza) non sono risultati significativi.

Nel secondo (7/3-20/3), invece, si è assistito ad un effetto significativo del PNT. In particolare, l'applicazione dell'alto PNT si è confermato essere, fin dalla seconda osservazione, il trattamento migliore rispetto al basso PNT e il controllo (Fig. 36).

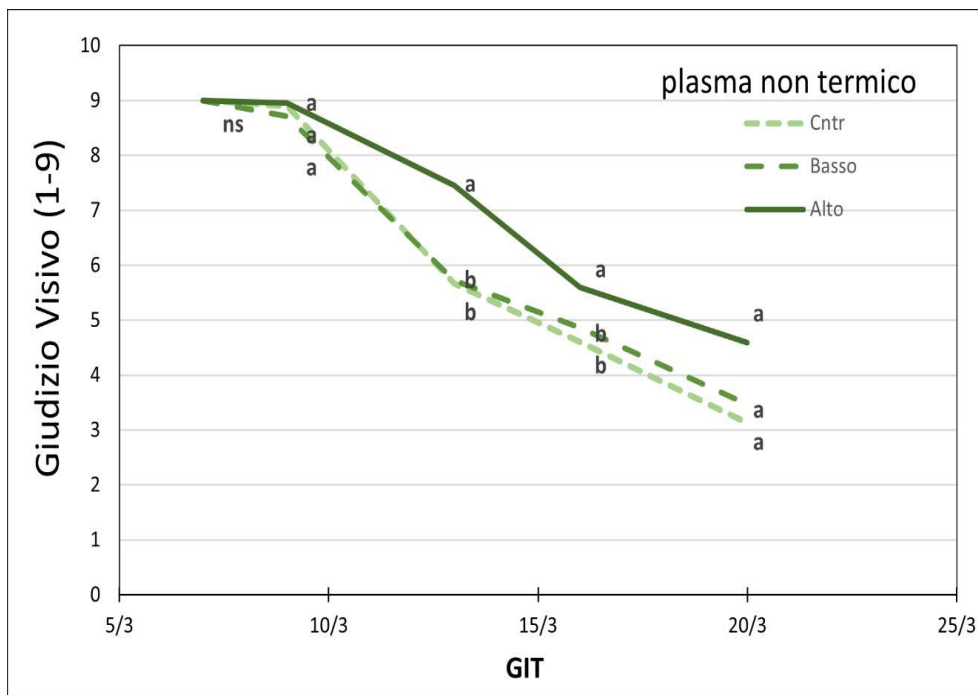


Fig. 36. Ciclo II. Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione del trattamento con Non thermal Plasma all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Nel terzo ciclo (21/3 – 6/4), entrambi i fattori allo studio hanno prodotto delle differenze significative anche se non a tutte le date di osservazione (Figg. 37 e 38). I migliori risultati (valori più alti) sono stati riscontrati con alto PNT e il trattamento di controllo dell'irradianza ( $1.66 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

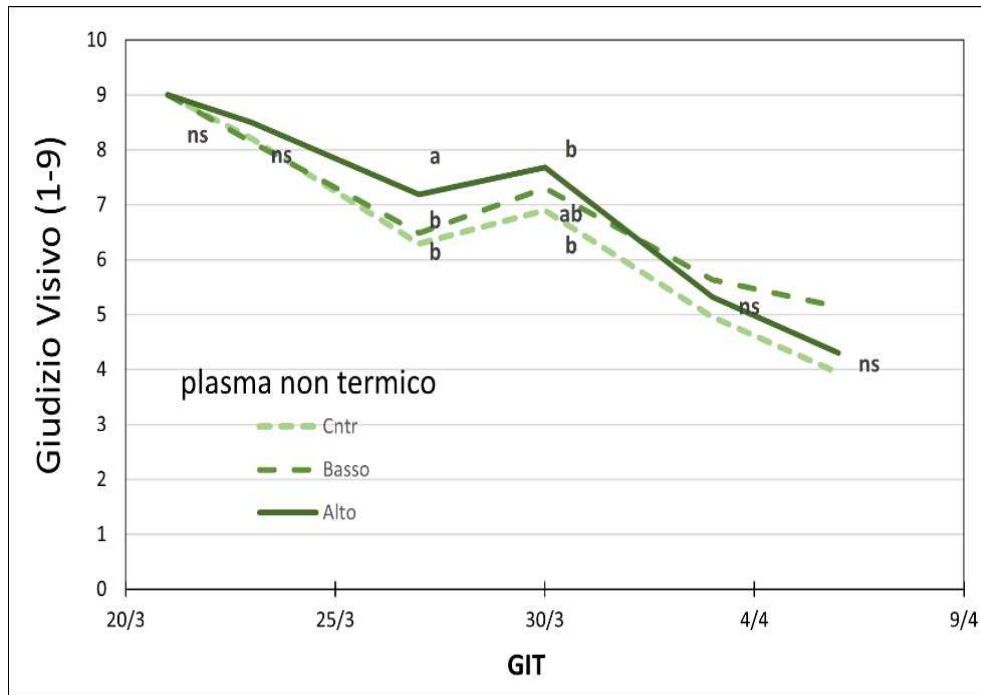


Figura 37. Ciclo III. Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione del trattamento con Non thermal Plasma all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

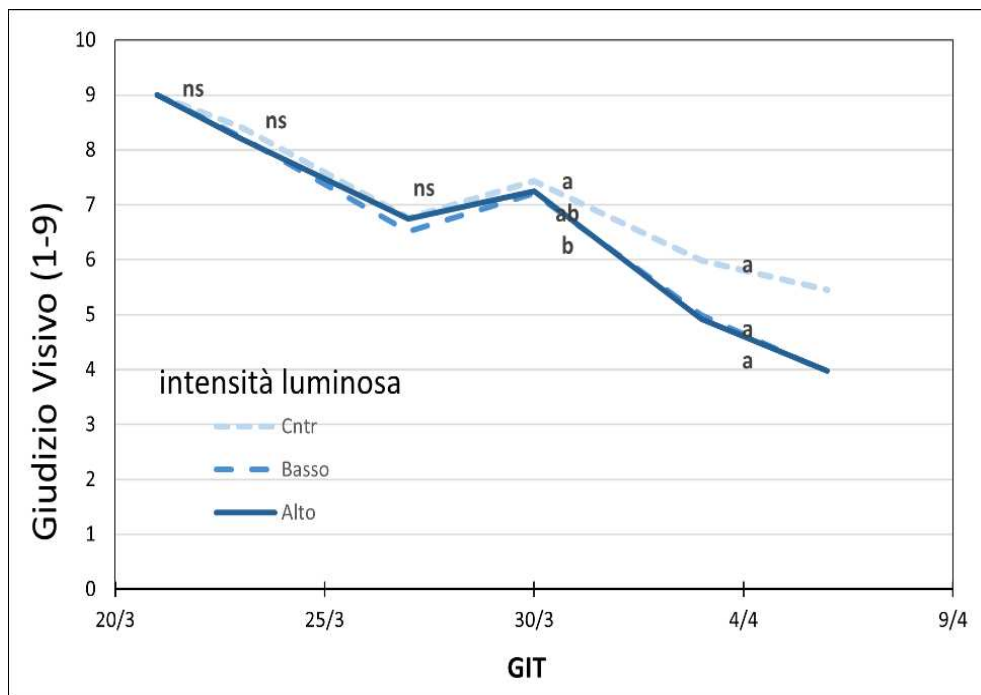


Figura 38. Ciclo III Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Dal quarto ciclo (24/3-10/4) in poi gli effetti dei fattori sono risultati più evidenti (Figg. 39, 40, 41, 42, 43). In tutti i casi, quando le differenze erano significative, i valori più alti sono stati ottenuti con l'alto PNT rispetto agli altri due livelli (Figg. 39, 41 e 42). Un effetto negativo importante della irradianza a 75 e 150  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  è stata osservata nel 4° e 6° ciclo rispetto al controllo. Va precisato che l'effetto (significativo) negativo si è osservato avanti nel periodo di conservazione, a partire dal 10° o 14° giorno da inizio prova.

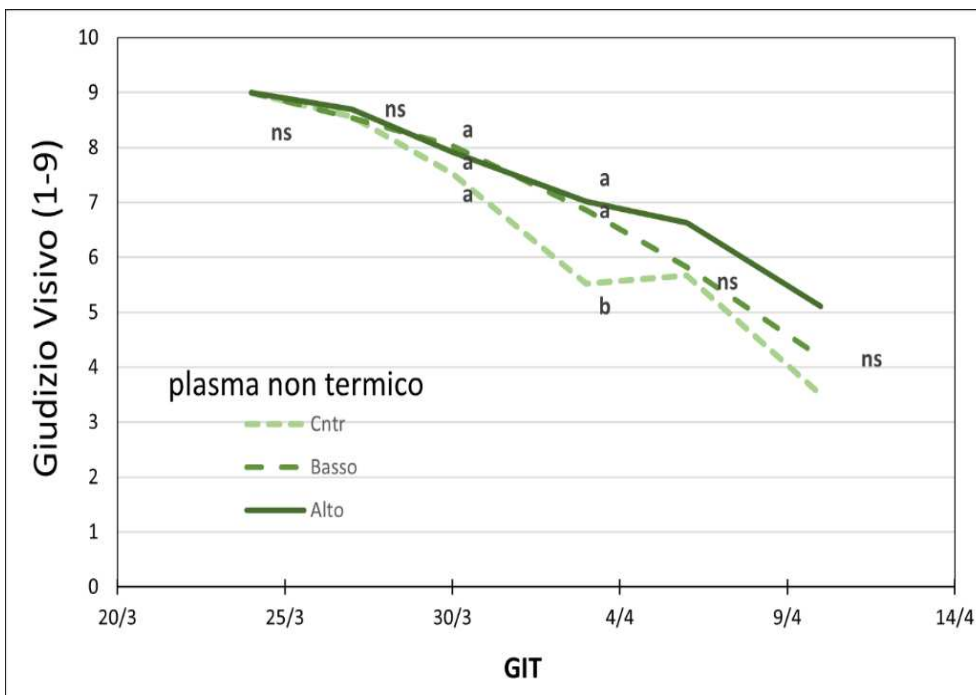


Figura 39. Ciclo IV. Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione del trattamento con Non thermal Plasma all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

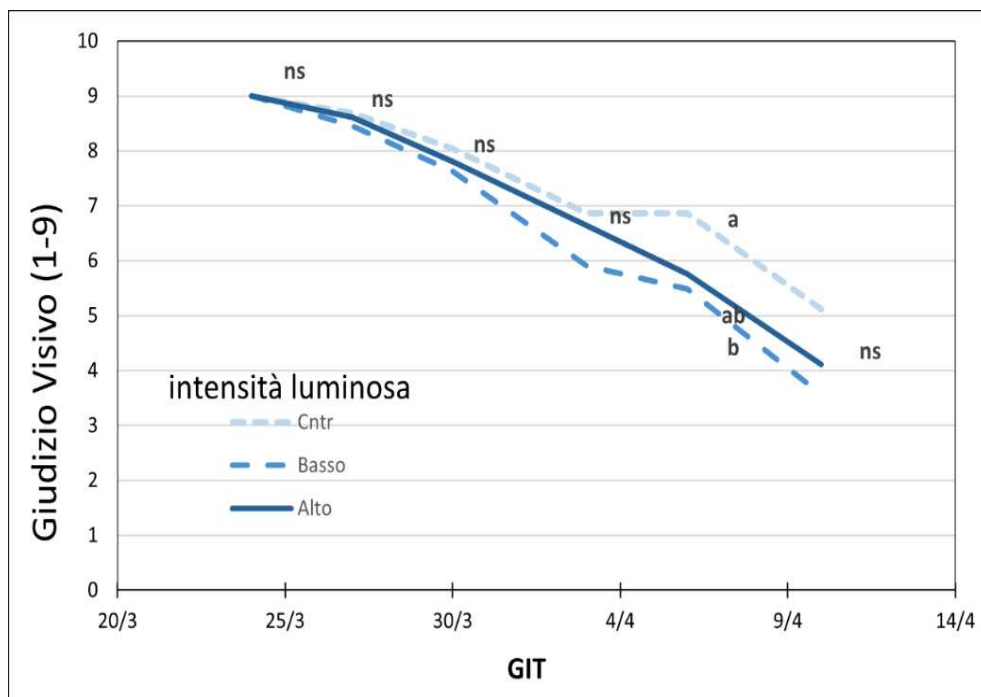


Figura 40. Ciclo IV. Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

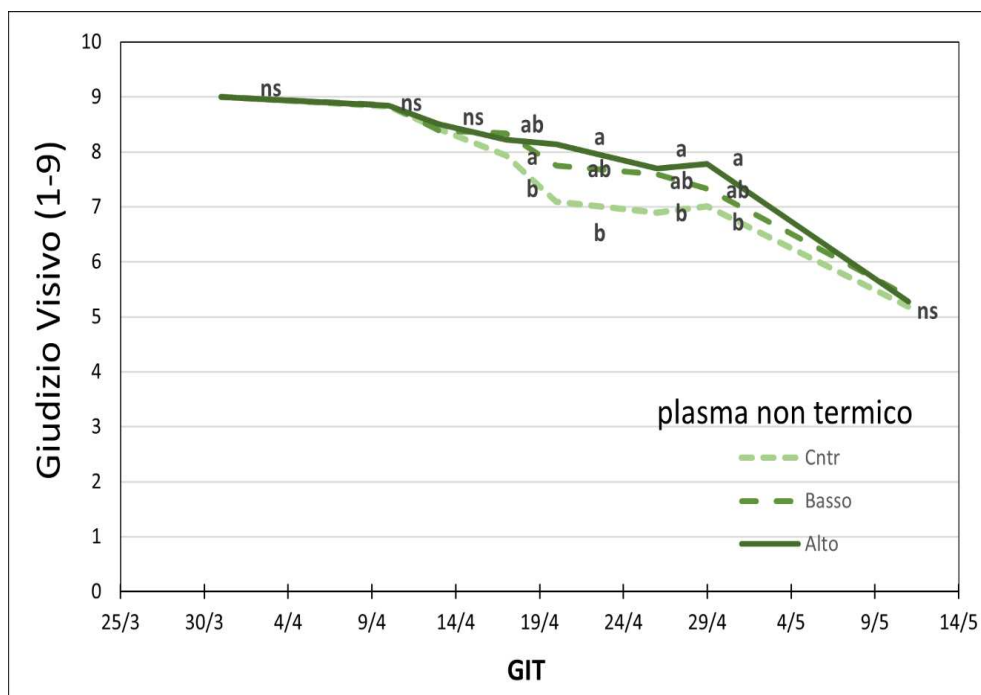


Figura 41. Ciclo V. Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione del trattamento con Non thermal Plasma all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

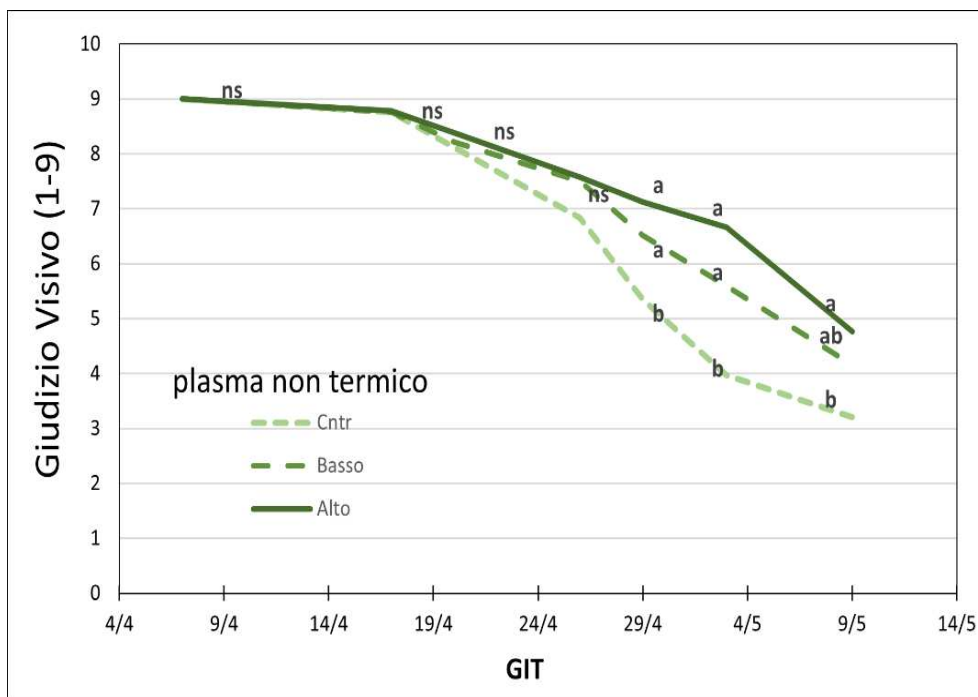


Figura 42. Ciclo VI. Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione del trattamento con Non thermal Plasma all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

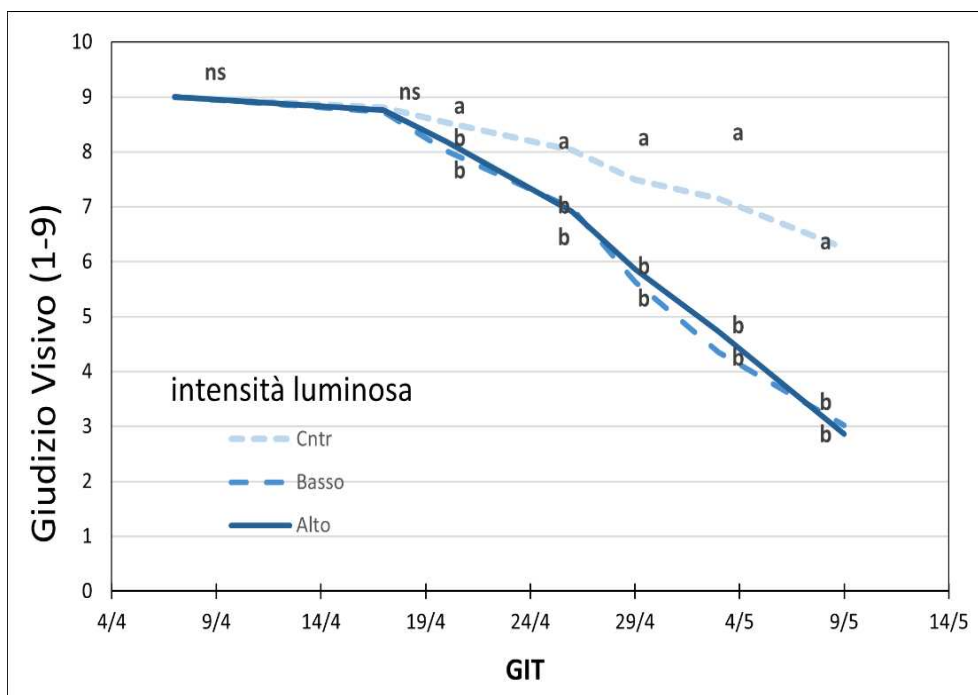


Figura 43. Ciclo VI. Andamento dell'aspetto visivo dei fiori (scala 1-9) durante la fase di conservazione in funzione dell'irradianza artificiale all'interno della serra (GIT = giorni da inizio trattamento). Entro ogni data, valori con lettere diverse differiscono statisticamente per  $P \leq 0.05$  (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

#### 4. DISCUSSIONE

I risultati ottenuti dimostrano che le lampade LED in combinazione con il Plasma Non Termico, possono influenzare significativamente la crescita della pianta, la produzione e la qualità dei fiori *Viola cornuta*.

Nella maggior parte dei parametri considerati, come ad esempio nella produzione di fiori per pianta, sia in numero che in peso.

L'elevata intensità luminosa ( $150 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) si è confermato essere l'intensità ottimale così come l'alto PNT (0,08 ppm  $\text{O}_3$ ). Questi hanno stimolato maggiormente la crescita e, soprattutto, la produzione sia in termini quantitativi e qualitativi, parametri fondamentali per il produttore che si voglia cimentare nella produzione e commercio dei fiori eduli. Questo miglioramento può essere attribuito all'utilizzo del PNT grazie ai numerosi effetti benefici sulla sanità delle piante, sterilizzando le superfici e stimolando il loro sistema di difesa, influenzando positivamente anche la fotosintesi delle piante (L'udmila et al., 2020);

Ad oggi l'illuminazione artificiale consente di controllare le caratteristiche della luce, con potenziali effetti delle risposte metaboliche sulle piante primarie e secondarie (Darko et al., 2014). Nel presente lavoro, l'altezza della pianta, l'indice di crescita e la lunghezza dei fusti alla fine della prova, sono stati influenzati positivamente dall'irradianza maggiore ( $150 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) avendo riportato i valori più bassi. Questo perché ha indotto una crescita più compatta rispetto a irradianza di 1.66 e  $75 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Al contrario, in presenza di luce inferiore, le strutture vegetative si sono allungate di più, probabilmente per una maggiore estensione degli internodi. Decisamente maggiore è stato l'effetto sull'aumento della produzione di fiori (sia in numero che in peso), in particolare con l'irradianza maggiore.

Relativamente alla durata dei fiori in post-raccolta, i due fattori non hanno avuto effetto sul rallentamento della perdita di peso dei fiori, ma hanno comunque influito sul mantenimento della qualità. L'effetto dei trattamenti (sia PNT che irradianza) sulla durata della qualità del prodotto è risultato minore ad inizio della prova, quando l'andamento climatico (in particolare le temperature moderate) era favorevole alla crescita di viola e il trattamento con PNT era appena iniziato e non aveva ancora avuto la possibilità di manifestarsi appieno. Sulla shelf-life, positivo è stato, nuovamente, l'alto PNT. Negativo, invece, è stato l'effetto dell'aumento

dell'irradianza. Va però precisato, che questo effetto si è sempre manifestato relativamente tardi (dopo 10-14 giorni), quando il prodotto non è comunque più commercializzabile.

I risultati ottenuti relativi alla fase sperimentale, indicano che i parametri di questo ambiente controllato potrebbe essere utilizzati dai produttori per lo sviluppo della specie agricola *Viola cornuta*, in quanto si sono ottenuti buoni risultati riguardo i parametri dell'aggiunta di radiazione artificiale LED e del trattamento al plasma non termico. Questa produzione può essere presa in considerazione, perché i fiori commestibili sono considerati una nuova fonte di alimenti funzionali e negli ultimi anni molti ricercatori hanno concentrato la loro attenzione su questo argomento in relazione alla crescente domanda dei consumatori e del mercato (Marchioni et al., 2020).

Sarebbero necessarie ulteriori ricerche a riguardo per stabilire con esattezza i meccanismi coinvolti nelle risposte delle piante alla coltivazione delle specie eduli secondo determinati trattamenti, dato che questo lavoro rappresenta il primo studio che tratta l'effetto del PNT in combinazione al trattamento di irradianza artificiale nella coltivazione della *Viola cornuta*. Tuttavia, i trattamenti potrebbero essere utilizzati per la coltivazione delle specie edibili e altro, individuando e rispettando i valori ottimali di ogni pianta, sia in ambito agricolo che forestale.

A tal proposito, questi sistemi di coltivazione sono in grado di aumentare la produttività, utilizzando un uso ridotto di risorse, visto che in entrambi i sistemi applicati (luci led e PNT) possono essere gestiti applicando intensità diverse. Da questo punto di vista, particolarmente interessante è l'utilizzo dei diodi ad emissione luminosa (LED), che offrono diversi vantaggi: sono meno ingombranti, hanno una maggiore durata, producono una minor dispersione di calore e consentono di ottenere un risparmio energetico fino all'80% (Yeh e Chung, 2009). Per esempio, la coltivazione di piante nelle stazioni spaziali o nelle basi sulla Luna o su Marte presentano difficoltà che potrebbero essere, almeno in parte, alleviate dall'utilizzo di luce artificiale e dal trattamento NTP dei semi di piante (L'udmila et al., 2020).



## 5. CONCLUSIONE

Questo studio ha fornito informazioni sull'effetto dei trattamenti al Plasma Non Termico e dell'illuminazione supplementare su *Viola cornuta*. L'analisi ci ha permesso di valutare l'efficacia delle varie intensità dei parametri, applicati in combinazione tra di loro, in relazione all'accrescimento, la resa in fiori e sulla shelf life degli stessi.

Quando le condizioni di trattamento sono ottimizzate, il PNT può migliorare i parametri di crescita delle piante andando ad influenzare i processi coinvolti nella risposta della pianta alle condizioni di stress. I nostri dati suggeriscono che i trattamenti ad alto PNT hanno influito positivamente sui parametri presi in esame favorendo sia la crescita della pianta (maggiore produzione di biomassa fresca e secca), sia la produttività (numero e peso di fiori raccolti), sia la qualità dei fiori (maggiore durata nella fase di post raccolta). Il livello basso di PNT applicato non ha avuto, in generale, alcun effetto.

A tal proposito, si potrebbe ipotizzare una sperimentazione con PNT ancora più intenso (maggiore del parametro elevato già utilizzato pari 0,08 ppm di O<sub>3</sub>), per vedere se potrebbero manifestarsi miglioramenti ulteriori riguardanti la resa produttiva ed eventuali sull'accrescimento delle piante. Attualmente, inoltre, le ricerche sugli effetti specifici del plasma non termico su prodotti eduli sono ancora limitate, per questo motivo bisogna valutare gli effetti a breve e lungo termine sulle diverse specie, tenendo conto dei vari parametri utilizzati onde evitare di indurre le piante ad un eccessivo stress ossidativo, comportando così effetti indesiderati come danni ai tessuti e alterazioni nello sviluppo.

Ancora più determinante è stato l'effetto dell'illuminazione supplementare, che ha contribuito ad aumentare l'attività fotosintetica. In modo ancora più evidente rispetto al PNT, l'illuminazione supplementare ad irradianza intermedia (75  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e ancor di più quella alta (150  $\mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) hanno promosso una crescita compatta e con maggiori accrescimenti della pianta. In particolare, è stata migliorata la produzione di fiori di bel il 66% circa, sia in numero che in peso.

Un effetto negativo è stato invece osservato nella shelf-life ma questo, solo nel lungo termine, quando la durata del prodotto supera quella comunemente adottata a livello commerciale.

In conclusione, viste le diverse problematiche che il settore agricolo sta affrontando negli ultimi anni, dovute principalmente alla scarsa diversificazione e ad una pratica di agricoltura di tipo convenzionale, la sperimentazione proposta individua un sistema di coltivazione che è in grado di andare in contro alle esigenze di mercato, sia per l'utilizzo di tecniche all'avanguardia, con l'applicazione di metodi innovativi come l'utilizzo di luci Led e il trattamento di ionizzazione, sia per la diversificazione del prodotto. Questo perché i fiori commestibili sono considerati una nuova fonte di alimenti funzionali e negli ultimi anni molti ricercatori hanno concentrato la loro attenzione su questo argomento in relazione alla crescente domanda dei consumatori e del mercato.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Anderson, R., Schnelle, R., & Bastin, S. Edible flowers. *UK Cooperative Extension Serves, CCD Crop Profiles, Extension Specialist*, 2012.

Adhikari, B., Pangomm, K., Veerana, M., Mitra, S., & Park, G. (2020). Plant Disease Pressure Plasma. *Frontiers in Plant Science* 11:17

Ahmad Khan, M.S., Ahmad, I., 2018. Herbal Medicine: Current Trends and Future Prospects, New Look to Phytomedicine: Advancements in Herbal Products as Novel Drug Leads.

Alrifai O, Hao X, Marcone MF and Tsao R, Current review of the modulatory effects of LED lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of microgreen vegetables. *J Agric Food Chem* 67:6075–6090 (2019).

Bursac', D.; Vahc'ic', N.; Levaj, B.; Dragovic'-Uzelac, V.; Bisko, A. *L'influenza della cultivar sui profili sensoriali dei frutti freschi e trasformati di fragole coltivate in Croazia. Flavour Fragr. J.* 2007.

Cavaiuolo, M., Cocetta, G., and Ferrante, A. (2013). The antioxidants changes in ornamental flowers during development and senescence. *Antioxidants* 2, 132–155

Cavins T.J., Dole J.M., Stamback V., *Produzione in serra invernale non riscaldata e minimamente riscaldata di fiori recisi speciali.* – HortTechnology, 2000.

Chitrakar, B., Zhang, M., Bhandari, B., 2019a. Edible flowers with the common name “marigold”: their therapeutic values and processing. *Trends Food Sci. Technol.* 89, 76–87. doi:10.1016/j.tifs.2019.05.008. Chitrakar, B., Zhang, M., Bhandari, B., 2019b

Dou H, Niu G, Gu M and Masabni JG, Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. *Horticulturae*

3:36 (2017)

Fernandes, L.; Casal, S.; Pereira, J.A.; Saraiva, J.A.; Ramalhosa, E. *Fiori commestibili: Una revisione delle proprietà nutrizionali, antiossidanti, antimicrobiche e degli effetti sulla salute umana*. J. Food Compos. Anal. 2017.

Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., and Ramalhosa, E. (2020). An overview on the market of edible flowers. Food Rev. Int. 36, 258–275

Heberlein, J. (2002). New approaches in thermal plasma technology. Pure and Applied Chemistry 74:327335

Holubova, L., Kyzek, S., Durovcová, I., Fabová, J., Horváthová, E., Sevcovicová, A., Gálová, E. (2020). Non Thermal Plasma- a new green priming agent for plants? International Journal of Molecular Sciences 21: 1-16.

Hong, S.-H.; Szili, E.J.; Jenkins, A.T.A.; Short, R.D. *Gas ionizzato (plasma) per la somministrazione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) a cellule artificiali*. J. Phys. Appl. Phys. 2014.

Gandolfo E., Hakim G., Geraci J., Feuring V., Giardina E., Di Benedetto A. *Risposte della viola del pensiero (Viola x wittrockiana Gams.) alla qualità dei terreni di coltura*. 2016.

Joachim V. R. Heberlein., E. Pfender., S. Ghorui., Thermodynamica and Transport Properties of Two-temperature Oxygen Plasmas, 2007.

Kelley, K. M., Behe, B. K., Biernbaum, J. A., & Poff, K. L. (2001a). *Consumer preference for edible-flower color, container size, and price*. HortScience, 36(4), 801-804.

Kelley K.M., Behe B.K., Biernbaum J.A., Poff K.L., *Valutazione da parte dei consumatori della qualità, della miscela e del colore dei fiori commestibili*. HortTechnology, 2001 b.

Kelley K.M., Cameron A.C., Biernbaum J.A., Poff K.L., *Effetto della temperatura di conservazione sulla qualità dei fiori commestibili*. Postharvest Biol. Tec., 2003.

Koike, A., Barreira, J.C.M., Barros, L., Santos-Buelga, C., Villavicencio, A.L.C.H., Ferreira, I.C.F.R. *Fiori commestibili di Viola tricolor L. come nuovo alimento funzionale: attività antiossidante, singoli fenoli ed effetti dell'irradiazione con raggi gamma ed elettroni*. Food Chem, 2015 a.

Kopsell D, Belisle C, Lowery H and Whitlock C, Genotype and lighting environment impact petal tissue pigmentation in Tagetes tenuifolia. Acta Horti 1134:103–110 (2016).

Kozai T., Fujiwara K., Runkle E.S., *Illuminazione a LED per l'agricoltura urbana*. Springer Science+Business Media Singapore, 2016.

Kozai T, Niu G and Takagaki M, Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production, 2nd edn. Academic Press, Cambridge, US (2019).

Landi, M., Ruffoni, B., Combournac, L., and Guidi, L. (2017). Nutraceutical value of edible flowers upon cold storage. Ital. J. Food Sci. 30, 1–18.

Loizzo MR, Pugliese A, Bonesi M, Tenuta MC, Menichini F, Xiao J et al., Edible flowers: a rich source of phytochemicals with antioxidant and hypoglycemic properties. J Agric Food Chem 64:2467–2474 (2016).

López, M.; Calvo, T.; Prieto, M.; Múgica-Vidal, R.; Muro-Fraguas, I.; Alba-Elías, F.; Alvarez-Ordóñez, A. *Una rassegna sul plasma atmosferico non termico per la conservazione degli alimenti: Modalità d'azione, fattori determinanti dell'efficacia e applicazioni*. Microbiol, 2019.

Lu B., Li M., Yin R., Contenuto fitochimico. *Benefici per la salute e tossicologia dei comuni fiori commestibili: Una rassegna (2000-2015)*. Critical Reviews in Food

Sci. Nutr, 2016.

Matyjaszyk, E.; Smiechowska, M., *Fiori commestibili. Benefici e rischi legati al loro consumo*. TrendsFood Sci. Technol, 2019.

Menegaes, J. F., Nunes, U. R., Bellé, R. A., and Backes, F. A. A. L. (2019). Postharvesting of cut flowers and ornamental plants. Sci. Agr. Paran. 18, 313–323.

Mlcek, J., and Rop, O. (2011). Fresh edible flowers of ornamental plants - a new source of nutraceutical foods. Trends Food Sci. Technol. 22, 561–569.

Morrow RC, LED lighting in horticulture. HortScience 43:1947–1950 (2008).

Netam, N. Edible flower cultivation: A new approach in floriculture industry. *The Pharma Innovation Journal*, 10(3), 857-859, 2021.

Newman, S. E., and O'Connor, A. S. *Edible Flowers, Gardening Series, Extension*. Fort Collins, CO: Colorado State University, 2009.

Pagare S, Bhatia M, Tripathi N, Pagare S and Bansal YK, Secondary metabolites of plants and their role: overview. Curr Trends Biotechnol Pharm 9:293–304 (2015)

Pavlović, D.R.; Veljković, M.; Stojanović, N.M.; Gočmanac-Ignjatović, M.; Mihailov-Krstev, T.; Branković, S.; Sokolović, D.; Marčetić, M.; Radulović, N.; Radenković, M. *Fiori commestibili: caratteristiche dei loro composti bioattivi e conservazione durante il post raccolta*. J. Pharm. Pharmacol, 2017.

Pires, T.C.S.P., Dias, M.I., Barros, L., Ferreira, I.C.F.R., 2017. Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: valorization as new food ingredients

Rop O., Mlcek J., Jurikova T., Neugebauerova J., Vabkova J. *Fiori commestibili: una nuova promettente fonte di elementi minerali nell'alimentazione umana*. 2012.

Rodríguez Amado I., Franco D., Sánchez M., Zapata C., Vázquez J.A., *Ottimizzazione dell'estrazione di antiossidanti dagli scarti della buccia di patata Solanum tuberosum mediante la metodologia della risposta superficiale*. 2014.

Sande, D., 2019. Edible flowers: bioactive profile and its potential to be used in food development.

Shapira, Y.; Bormashenko, E.; Drori, E. Pre-Germination. *Il trattamento al plasma dei semi non altera la struttura del DNA dei cotiledoni, né il fenotipo e la fenologia delle piante di pomodoro e peperone*. Biochem. Biophys. Res. Commun, 2019.

V Kaushik, ST Smith, E Mikobi., *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias.*, 2018.

Villa-Rodriguez, J.A., Kerimi, A., Abranko, L., Tumova, S., Ford, L., Blackburn, R.S., Rayner, C., Williamson, G., 2018. Acute metabolic actions of the major polyphenols in chamomile: an in vitro mechanistic study on their potential to attenuate postprandial hyperglycaemia.

Vlasta Stepánová, Pavel Slavicek, Jakub Kelar, Jan Pràsil, Milan Smékal, Monika Stupavská, Jana Jurmanová, Mirko Cernàk., *Atmospheric pressure plasma treatment of agricultural seeds of cucumber (Cucumis sativus L.) and pepper (Capsicum annuum L.) with effect on reduction of diseases and germination improvement.*, 2017.

Villavicencio, A.L.C.H., Heleno, S.A., Calhelha, R.C., Santos-buelga, C., Barros, L., Ferreira, I.C.F.R., 2018a. The influence of electron beam radiation in the nutritional value, chemical composition and bioactivities of edible flowers of *Bauhinia variegata* L. var. *candida alba* Buch.

Yeh N and Chung JP, High-brightness LEDs—energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renew Sustain Energy Rev* 13:2175–2180 (2009).

Zhang, X.; Liu, D.; Zhou, R.; Song, Y.; Sun, Y.; Zhang, Q.; Niu, J.; Fan, H.; Yang,

S. Atmospheric Cold Plasma Jet for Plant Disease Treatment. Appl. Phys. Lett. 2014.