



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti

Risorse naturali e Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

La coltivazione fuori-suolo della fragola nel Nord Italia: aspetti produttivi e qualitativi

Relatore: Professore Paolo Sambo
Correlatore: Dott.ssa Silvia Locatelli

Laureando: Sara Ballista
Matricola n. 1222995

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

Indice

Riassunto	5
Abstract	7
1.Introduzione.....	9
1.1 Origine dell'ibrido <i>Fragaria x ananassa</i>	9
1.2 Caratteristiche botaniche	9
1.3 La fragola nel mondo.....	11
1.4 La fragola nel contesto italiano	12
1.5 Cultivar di fragole.....	14
1.6 Gestione agronomica	14
1.6.1 Coltivazione su terreno	15
1.6.2 Coltivazione fuori-suolo	15
1.7 Gestione dei macro- microelementi nella coltivazione	17
1.8 Materiali di propagazione.....	19
1.9 Ambiente di coltivazione.....	20
2. Scopo del lavoro	21
3. Materiali e metodi.....	23
3.1 Schema e sito sperimentale.....	23
3.2 Monitoraggio climatico	24
3.3 Sviluppo vegetativo	25
3.4 Rilievi morfo-ponderali	27
3.5 Analisi qualitative.....	28
3.6 Analisi statistica.....	29
4. Risultati.....	31
4.1 Monitoraggio climatico	31
4.2 Sviluppo vegetativo	32
4.3 Rilievi morfo-ponderali	33
4.4 Analisi qualitative.....	36

5. Discussione.....	39
6. Conclusioni.....	43
Bibliografia.....	45

Riassunto

Negli ultimi anni il mercato della fragolicoltura ha registrato un trend positivo, con l'Italia che si posiziona quattordicesima a livello mondiale e quarta tra i produttori europei. La coltivazione della fragola in Italia è prevalentemente in pieno campo e in serra. Tuttavia, la coltivazione fuori-suolo, seppur ancora minoritaria, rappresenta un'importante innovazione, offrendo vantaggi in termini di gestione e sostenibilità. Questa tesi ha l'obiettivo di analizzare le performance produttive e qualitative di due varietà di fragola: Aprica e Sibilla, coltivate fuori-suolo in tre serre sperimentali con diverse aperture e diverso arieggiamento. Durante lo studio, sono stati monitorati parametri fisiologici, lo sviluppo fisiologico (scala BBCH), l'indice SPAD per la valutazione dello stato nutrizionale e la resa produttiva. In laboratorio sono state inoltre condotte analisi per determinare la consistenza e qualità del frutto, fornendo un quadro completo delle potenzialità di questa tecnica nel contesto italiano.

Abstract

In recent years, the strawberry cultivation market has grown positively, placing Italy fourteenth globally and fourth among European producers. In Italy, strawberries are primarily cultivated in open fields and greenhouses, though soilless methods, while less common, are emerging as an important innovation with advantages in sustainability and management. This thesis evaluates the productivity and quality of two strawberry varieties, Aprica and Sibilla, grown using soilless methods in three experimental greenhouses. Throughout the study, we monitored physiological parameters, growth stages (using the BBCH scale), nutritional status (via the SPAD index), and production yield. Laboratory tests also assessed fruit firmness and quality, providing a comprehensive view of the potential for soilless cultivation in Italy.

1.Introduzione

1.1 Origine dell'ibrido *Fragaria x ananassa*

La fragola odierna (*Fragaria x ananassa*), appartiene alla famiglia delle Rosaceae, genere *Fragaria*, ed è una delle specie vegetali più complesse, caratterizzata da un genoma ottoploide ($2n = 8x = 56$) (Davis et al., 2007).

La fragola come specie coltivata ha una storia lunga trecento anni ed è il risultato di un'ibridazione casuale avvenuta nel 1766 di *F. virginiana*, originaria dagli Stati Uniti, con *F. chiloensis*, proveniente dalle coste cilene del Pacifico. Tuttavia, le origini di questo frutto sono molto più antiche: i primi reperti risalgono al periodo preistorico e ci sono numerosi riferimenti anche nella Bibbia, nelle favole e in alcuni antichi trattati di medicina e botanica.

Nel sedicesimo secolo, in Europa c'erano tre specie di fragole spontanee: *F. moschata*, *F. viridis* e *F. vesca*. L'ultima, nota anche come fragolina di bosco, era l'unica specie di interesse agricolo, utilizzata come decorazione nelle aiuole grazie alla loro fioritura.

Soltanto dalla fine del 1600 iniziò la coltivazione della fragola per scopi orticoli, e nel 1712 si diffuse una nuova specie di origine cilena (*Fragaria chiloensis*), scoperta dall'ufficiale francese Amédée François Frézier. Egli descrisse questa pianta come caratterizzata da frutti di dimensione insolite, che potevano raggiungere la grandezza di una noce.

Inizialmente, la coltivazione è stata casuale e incerta, ma a partire dalla metà del 1700 Antoine Nicolas Duchesne iniziò a studiarla con assiduità, definendo una prima classificazione delle varietà e creando le basi della moderna fragolicoltura. Duchesne registrò diverse nozioni sulle stagioni di fioritura, fruttificazione e sui diversi effetti meteorologici, e scoprì che le piante di fragola potevano avere sia fiori ermafroditi che unisessuali (Angelini et al., 2010)

Fin da subito fu evidente che questo nuovo ibrido possedeva caratteristiche superiori rispetto alle altre varietà di fragole. Oltre a presentare frutti rossi brillanti, saporiti e di grossa pezzatura, aveva qualità riproduttive eccezionali: gli acheni, che spesso sono confusi con i semi, erano perfettamente germinabili e creavano nuove piante facilmente impollinabili.

1.2 Caratteristiche botaniche

La fragola coltivata è una pianta perenne caratterizzata da un apparato radicale poco profondo, un fusto raccorciato (rizoma o corona) e un apparato fogliare.

L'apparato radicale è di tipo fascicolato e si sviluppa a partire dalla corona nei primi 25-30 cm della rizosfera. Le radici vengono classificate in primarie, che hanno origine dalla corona, e secondarie, che si sviluppano a partire dalle primarie, ed insieme svolgono più funzioni: la principale è

l'assorbimento e trasporto di acqua e sostanze nutritive, la seconda è la conservazione di sostanze di riserva.

Il fusto è raccorciato e può raggiungere lunghezze fino a 10 cm. Ha una funzione di accumulo di sostanze di riserva e si sviluppa formando germogli con relative radici.

Le foglie sono composte, di forma ovale, dentate e riunite a rosetta, sono suddivise in tre foglioline con picciolo di lunghezza variabile. Presentano molti stomi che permettono un'elevata evapotraspirazione (AA.VV., 2010). A livello dell'ascella sono presenti delle gemme che, grazie al processo di differenziazione, possono dare origine ad infiorescenze, stoloni o nuovi germogli, come rappresentato nella figura 1. La fragola coltivata attualmente si riproduce principalmente per via vegetativa mediante l'emissione di stoloni, che sono fusti sottili e striscianti. Quando entrano in contatto con il terreno, gli stoloni sono in grado di radicare, dando origine ad una nuova piantina geneticamente identica alla pianta madre. In genere, la stolonizzazione avviene in estate durante la fase vegetativa, successiva a quella di fruttificazione.

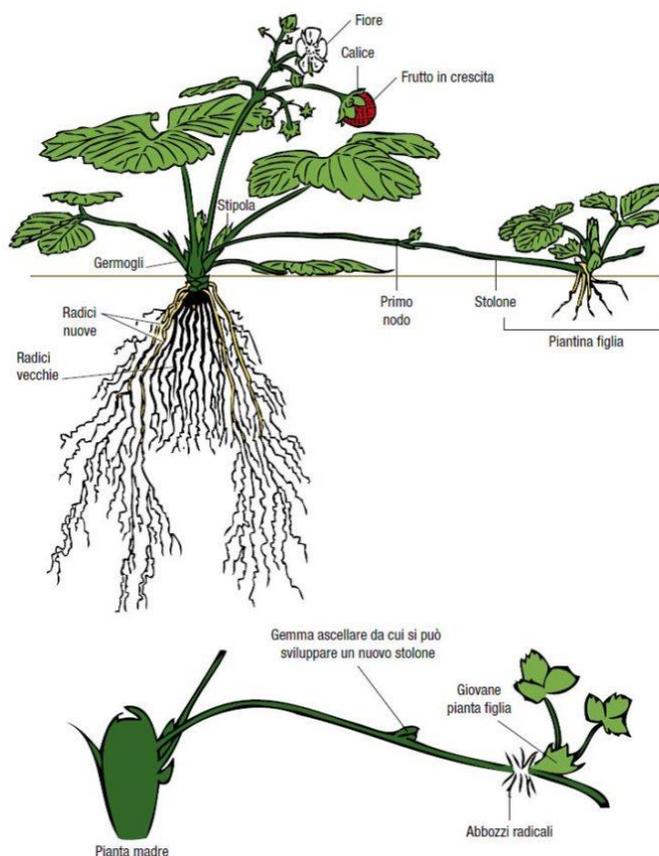


Figura 1. Struttura di una pianta di fragola (Agraria.org)

Il fiore è perfetto, in genere ermafrodita (possiede entrambi gli apparati riproduttivi: maschile e femminile). È costituito da un calice con 5 o più sepali e una corolla di 5 o più petali, di norma di

colore bianco, che hanno forma arrotondata o ellittico-ovoidale. Al centro del fiore si trovano numerosi stami che sorreggono le antere, mentre sul ricettacolo si trovano i pistilli disposti a spirale, che, una volta fecondati, daranno origine ad un achenio.

Il frutto edule è un'infruttescenza, un falso frutto, perché deriva dallo sviluppo del ricettacolo sul quale sono inseriti gli acheni. Il "frutto" può avere diverse forme: reniforme, subsferica, sferica, conica, bi-conica, quasi cilindrica, ovoidale e cuoriforme, come schematizzato in figura 2. Per il corretto sviluppo del "frutto" è importante che tutti i pistilli vengano fecondati altrimenti si rischia di incorrere in frutti deformi.

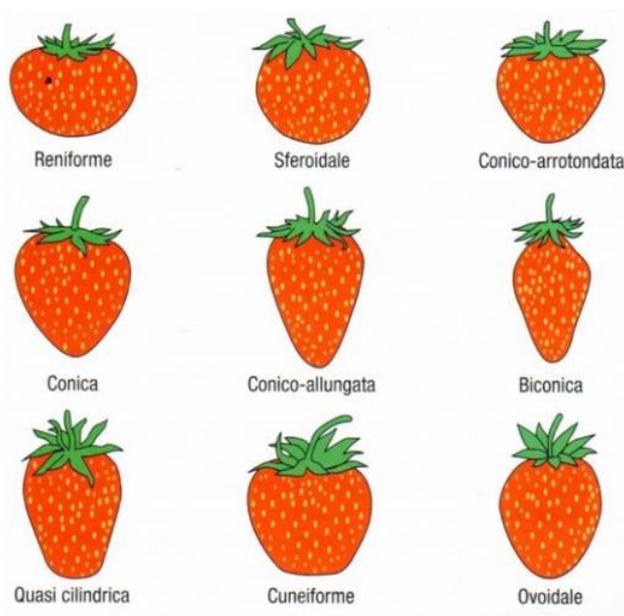


Figura 2. Principali forme del frutto della fragola.

1.3 La fragola nel mondo

Grazie al loro gusto dolce e aromatico, amato dai consumatori, la domanda di fragole è in aumento e con essa anche il trend produttivo. Tra il 1980 e il 2000 è stato registrato un aumento dell'83% nella produzione, superando le 4 milioni di tonnellate. Nel 2013, la produzione ha superato le 7,7 milioni di tonnellate, e nel 2022, secondo i dati FAOSTAT, sono state prodotte 9.569.864 tonnellate di fragole su una superficie di circa 400 mila ettari (rappresentato in figura 3). La maggior parte dell'offerta si concentra in Cina (3.364.007 tonnellate su 130 mila ha) e negli Stati Uniti (1.261.890 tonnellate su 21.287 ha). Seguono Egitto, Turchia e Messico. L'Italia è al quattordicesimo posto nella classifica mondiale con 100.680 tonnellate su 3.800 ha ed è quarta nella classifica europea. Insieme a Spagna, Polonia, Germania e Regno Unito, l'Italia fornisce oltre i tre quarti della produzione totale europea.

La Spagna si classifica come il maggior produttore in Europa con 325.880 tonnellate su 7.270 ha (dati FAOSTAT 2022) ed è anche il principale esportatore netto, con oltre il 60% dei volumi di fragole diretti verso gli altri stati membri. La quasi totalità della produzione iberica proviene dalla provincia di Huelva, in Andalusia: in quest'area le superfici investite a fragole si stima coprano 6.705 ha su un totale destinato ai piccoli frutti di oltre 11.000 ha.

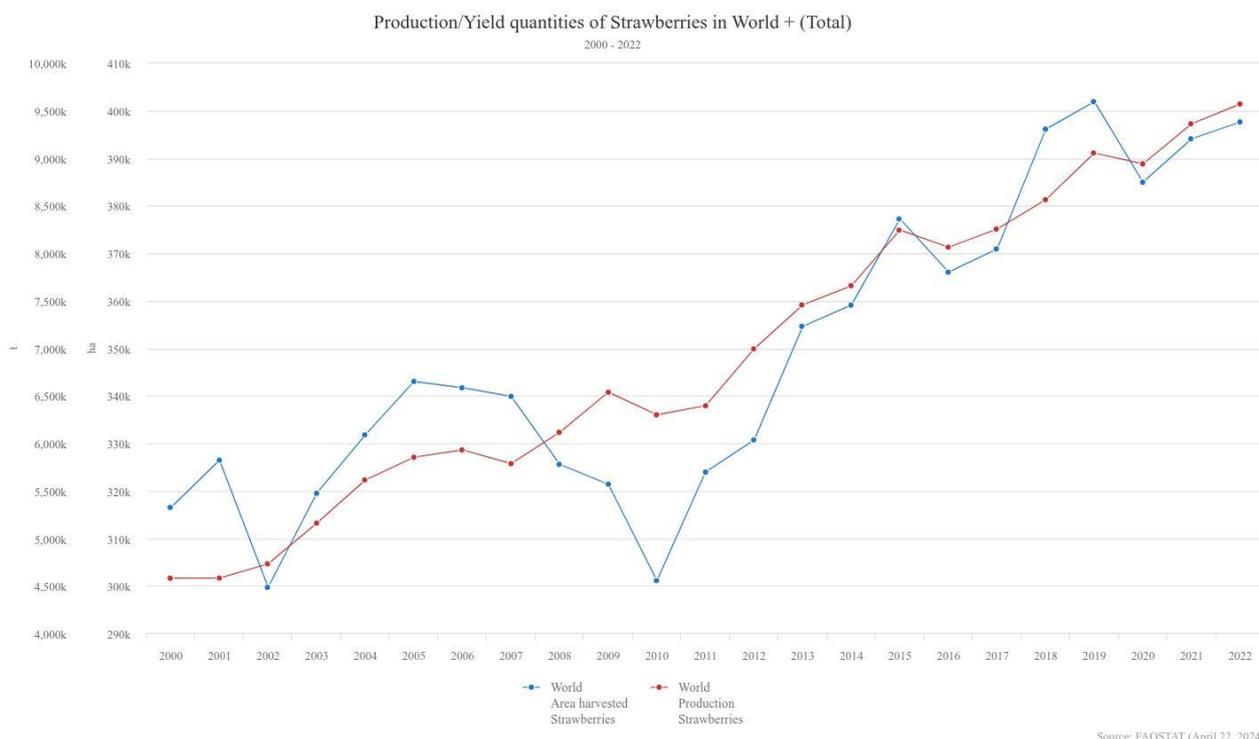


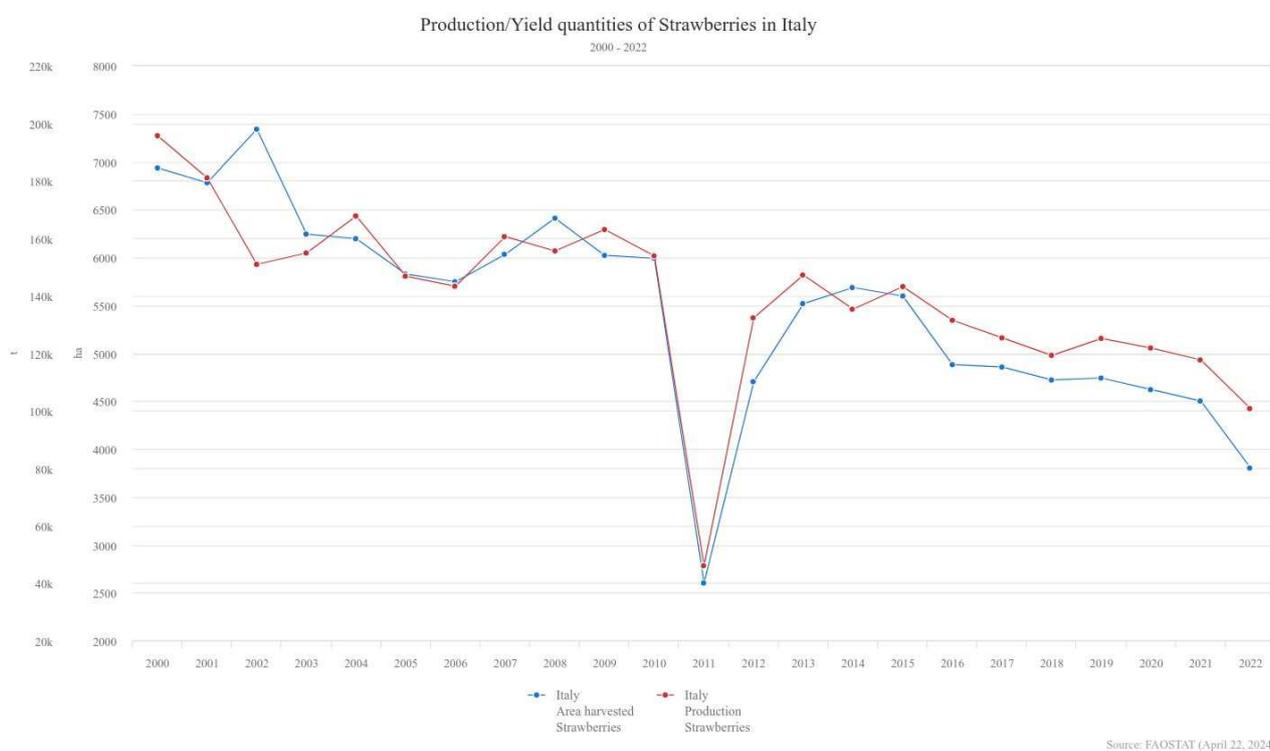
Figura 3. Andamento della produzione mondiale di fragola dal 2000 al 2022 (fonte: FAOSTAT).

1.4 La fragola nel contesto italiano

Rispetto agli altri Paesi, dove la fragolicoltura si concentra in aree specifiche, in Italia è diffusa su tutto il territorio nazionale, dalle Alpi alla Sicilia. Grazie alle condizioni climatiche variabili tra le diverse regioni produttrici e a un panorama varietale piuttosto articolato, oggi è possibile coltivare fragole durante tutto l'anno. Il calendario di produzione inizia già a gennaio nelle aree più calde del sud del Paese, per raggiungere un picco nei mesi di aprile-maggio, quando si concentrano le produzioni in Campania, Basilicata, Emilia-Romagna e Veneto. La produzione continua in estate con le coltivazioni in Trentino e Piemonte, fino al tardo autunno con le colture autunnali veronesi (Carotenuto, 2020). I dati raccolti negli ultimi anni dimostrano che l'Italia ha un buon posizionamento a livello mondiale, con il principale mercato di riferimento in Europa. Tuttavia, come dimostra la figura 4, i trend di medio-lungo periodo evidenziano un calo di produttività nel comparto della fragolicoltura negli ultimi venti anni, portando alla fuoriuscita delle aziende meno professionali ed

efficienti. Secondo i dati di Cso Italy, nel 2020 le superfici specializzate dedicate alla fragola sono state pari a 3.646 ettari, con un calo di circa il 4% rispetto al 2019. Viene quindi rilevata una lieve diminuzione dopo un periodo di crescita che aveva portato a guadagnare oltre 250 ettari nel quadriennio 2016-2019. L'83% delle superfici investite sono in coltura protetta e solamente il 17% resiste in pieno campo. Si stima che circa 250 ettari sono coltivati con tecnica biologica.

La fragolicoltura italiana è da anni in fase di concentrazione nelle regioni meridionali e, nel 2020, è stata registrata una diminuzione del 7% nelle aree settentrionali e del 6% in quelle meridionali. Nel Nord Italia, sono soprattutto Veneto ed Emilia-Romagna a mostrare le maggiori sofferenze, con una perdita del 20% delle superfici coltivate nell'ultimo quinquennio, mentre Piemonte e Trentino-Alto Adige evidenziano maggiore stabilità (Carotenuto, 2020).



Source: FAOSTAT (April 22, 2024)

Figura 4. Produzione di fragola in Italia dal 2000 al 2022 (fonte: FAOSTAT).

Nel Nord Italia, la coltivazione della fragola è particolarmente concentrata nel Veronese, che si conferma uno dei principali centri di produzione nazionale con superfici pressoché stabili. La superficie dedicata alla fragolicoltura è di circa 300 ettari, suddivisa in fragola coltivata a terra (80%) e fuori suolo (20%). Sulla maggior parte del territorio è diffusa la coltura “autunnale veronese”, meglio conosciuta come coltivazione autunno-primaverile. Questa tecnica prevede l’impiego di piante frigo-conservate di grosse dimensioni (“A+” e “A++”) messe a dimora nella seconda metà di agosto, che forniscono una prima produzione autunnale a partire da ottobre fino a novembre inoltrato

e un secondo raccolto a partire dalla primavera successiva, dopo la fase di ripresa vegetativa (Baruzzi, Macchi 2019).

Per quanto riguarda le piantine di minor calibro (A) si utilizzano impianti che prevedono una sola raccolta primaverile, principalmente concentrata nel mese di maggio. La messa a dimora è anticipata di una decina di giorni rispetto alla tecnica autunnale per permettere alla piantina di svilupparsi adeguatamente prima del riposo vegetativo.

1.5 Cultivar di fragole

La fragola è una pianta estremamente versatile e grazie alle numerose varietà, può essere coltivata praticamente in ogni parte del mondo. I principali parametri che condizionano lo sviluppo delle piante sono la temperatura e la lunghezza del giorno. In base alla relazione col fotoperiodo, le cultivar possono essere classificate nelle seguenti categorie:

Cultivar brevidiurne (unifere): la differenziazione delle gemme a fiore avviene in autunno, il che comporta una sola fioritura in primavera, per questo sono definite unifere. L'induzione delle gemme a fiore richiede un fotoperiodo breve con meno di 12 ore di luce e temperature intorno ai 17-19 °C. All'aumento della temperatura, non avviene la differenziazione e la pianta entra in una fase vegetativa con produzione di stoloni (Faedi, 2010).

Cultivar longidiurne (rifioventi): caratterizzate dalla differenziazione delle gemme a fiore nel periodo primaverile-estivo, quando le giornate sono lunghe con almeno 14 ore di luce. Fruttificano dalla primavera fino all'autunno e le piante con questa attitudine producono meno stoloni rispetto alle unifere (Faedi, 2010).

Cultivar neutrodiurne (rifioventi): si tratta di cultivar indifferenti al fotoperiodo, che differenziano gemme indipendentemente dalla durata del giorno. L'unico fattore limitante è la temperatura, che deve essere sufficiente a favorire l'attività vegetativa delle piante (15°-16 °C) ed evitare la loro entrata in dormienza invernale (< 5 °C). Il carattere rifiovente neutrodiurno DN (day neutral) è presente in tutte le principali varietà rifioventi coltivate nel mondo, permettendo di estendere le produzioni nei periodi di "fuori stagione" (Pachioli, 2021)

1.6 Gestione agronomica

La tecnica di coltivazione della fragola è in costante evoluzione al fine di ottenere una produzione sana e di qualità. La coltivazione tradizionale è praticata in campo, ma dalla fine degli anni '80 ha iniziato a diffondersi la coltivazione fuori suolo praticata su substrati alternativi al di fuori del terreno (Tesi, 2002).

1.6.1 *Coltivazione su terreno*

Le fragole hanno un sistema radicale superficiale che si sviluppa meglio in terreni leggeri, leggermente acidi (pH compreso tra 5.5 e 7), di medio impasto, ben drenati e ricchi di sostanza organica (Lucchi, 2010). Sono molto sensibili ai ristagni di umidità che favoriscono marciumi delle radici e malattie fungine. Pertanto, la coltura necessita di un'accurata preparazione del terreno, creando leggere pendenze o utilizzando un sistema di drenaggio nel caso di terreni argillosi. Per evitare problemi di sviluppo stentato, stress o "collasso" delle piante causati da parassiti come *Phytophthora*, *Rhizoctonia* e *Verticillium*, è consigliabile l'uso di rotazioni, che migliorano la struttura del suolo, mantengono la fertilità e riducono l'attacco dei parassiti (Angelini, 2010).

L'impianto della fragola è tradizionalmente effettuato su prode ben baulate di altezza variabile, solitamente coperte da una pacciamatura di film plastico nero con fori a distanza variabile, dove vengono inserite le piantine di fragola. I vantaggi della pacciamatura includono principalmente il contenimento delle erbe infestanti e la prevenzione dell'imbrattamento dei frutti.

La maggior parte della superficie dedicata alla fragolicoltura è coltivata sotto tunnel, proteggono la pianta dagli eventi atmosferici sfavorevoli e favoriscono un effetto serra che può incrementare la precocità di maturazione dei frutti e prolungare la stagione di fruttificazione (Angelini, 2010).

1.6.2 *Coltivazione fuori-suolo*

La coltivazione fuori suolo è una tecnica sviluppata alla fine degli anni '80, che si basa sulla coltivazione delle piante, nel nostro caso di fragole, su substrati alternativi al di fuori del terreno. Inizialmente, la coltura fuori suolo era un'alternativa a quella in terreno, che dopo ripetuti cicli di coltivazione diventava sempre più contaminato da malattie e parassiti. I vantaggi di questa tecnica sono molteplici: riduce l'uso di erbicidi e fitofarmaci, permette un utilizzo più efficace dei mezzi di lotta integrata e, grazie alle migliori condizioni operative, attrae più facilmente forza lavoro e aumenta la velocità di raccolta. Inoltre, in base alla sistemazione utilizzata, è possibile aumentare la densità di piantagione, favorendo così un aumento della produttività.

Tra gli svantaggi della coltivazione fuori suolo c'è la minore formazione di radici, che rende le piante più suscettibili alla qualità dell'acqua, alla concimazione e alle variazioni di temperatura. Il substrato si raffredda e si scalda più velocemente rispetto al suolo, causando cali nella produzione (Lieten, 2010).

I substrati più utilizzati, secondo il libro "La fragola" della Collana Coltura&Cultura, ideata e coordinata da R. Angelini e Bayer CropScience (2010), sono:

- Torba: è il substrato maggiormente utilizzato in Europa, caratterizzato da un'elevata capacità di ritenuta idrica, un basso contenuto di sostanze nutritive e un pH basso;
- Fibra di cocco: nel 2010 costituiva circa il 25% del mercato e viene utilizzata in purezza o mescolata alla torba. È un substrato più areato, che trattiene meno l'acqua e può presentare elevate concentrazioni di potassio, azoto e cloro, favorendo la fissazione del calcio, che può causare disseccamenti dell'apice fogliare, frutti di qualità inferiore e sintomi di carenza di ferro. Per questo è buona norma lavare questo substrato con calcio, magnesio e ferro;
- Perlite: utilizzata principalmente in Italia, è un minerale vulcanico espanso che migliora la struttura del suolo favorendo il drenaggio idrico e l'aerazione, oltre a trattenere l'umidità garantendo un buon livello di idratazione delle piante;
- Lana di roccia: è un substrato realizzato a partire da rocce vulcaniche fuse, leggero e inerte, ideale per garantire un buon drenaggio del terreno. Tuttavia, viene usata sempre meno perché causa difficoltà di radicazione e non è biodegradabile;
- Compost: substrato sostenibile che può avere diverse origini vegetali come corteccia di pino, sughero, tralci di vite e fibre di cocco. Può causare problemi di salinità e contenere elevate concentrazioni di carbonio, portando a un'intensa attività microbica e a un eccesso di azoto. Per questo motivo è necessario compostare il substrato per un tempo abbastanza lungo.

I vari substrati possono essere utilizzati per più cicli di coltivazione, ma è consigliabile effettuare dei lavaggi con acqua per ridurre l'accumulo di sali. Tuttavia, la torba riutilizzata riduce il vigore e la produzione delle piante di circa l'8-10%, mentre le miscele di cocco si sono dimostrate più stabili nel corso degli anni.

Esistono vari tipi di sistemazioni fuori suolo, per le fragole i più utilizzati sono:

- Coltura NFT (Nutrient Film Technique): meglio conosciuta come idroponica, dove le piante a radici nude vengono coltivate in una soluzione circolante di acqua ed elementi nutritivi che fluisce ininterrottamente;
- Coltura in sacchi: sacchi in materiale plastico contenenti fino a 18 litri di materiale organico. A causa dei costi elevati e dei problemi derivanti dallo smaltimento dei substrati esauriti, l'interesse per questa tecnica è in diminuzione, ma si è riscontrato un aumento in paesi con leggi in materia di smaltimento più permissive come Francia, Spagna e Italia;
- Vasi contenitori: tecnica più utilizzata in Belgio e in Olanda, consiste nella coltivazione delle piante in vasi alti 22 cm e larghi 20 cm, che possono contenere circa 5-7 litri di substrato. Esistono anche vasi più piccoli (4 litri) appesi su una struttura di sostegno (Figura 5). Nel 2010 questi contenitori rappresentavano il 60% della produzione fuori suolo dell'Europa settentrionale (Lieten, 2010).



Figura 5: coltivazione di fragole in vasi contenitori, foto scattata in Trentino, 2018

1.7 Gestione dei macro- microelementi nella coltivazione

La gestione della concimazione nella coltivazione della fragola è fondamentale per raggiungere obiettivi culturali come il mantenimento della fertilità del terreno o del substrato, una crescita equilibrata delle piante e una produzione soddisfacente sia in termini quantitativi che qualitativi. La somministrazione di macro, meso e micronutrienti può avvenire tramite diverse tecniche di concimazione e impiego di vari prodotti.

Nelle coltivazioni in campo, la concimazione di fondo precede la messa a dimora delle piante e ha l'obiettivo di arricchire il suolo con elementi poco mobili e aumentare il livello di sostanza organica. Solitamente, per raggiungere questi obiettivi, si utilizzano concimi ammendanti come letame e compost.

Nei sistemi di coltivazione fuori suolo, la distribuzione dei nutrienti avviene tramite fertirrigazione, generalmente utilizzando impianti a goccia. Questa tecnica offre numerosi vantaggi, tra cui la possibilità di intervenire a più riprese dopo il trapianto delle fragole, mantenere valori nutritivi ottimali nel substrato, evitare carenze e ridurre le perdite di elementi mobili come l'azoto, che potrebbero causare inquinamento delle falde acquifere.

La concimazione fogliare, che integra o talvolta sostituisce l'apporto di nutrienti al suolo, è estremamente vantaggiosa grazie alla sua rapidità di azione e alla maggiore efficienza dei fertilizzanti utilizzati. È particolarmente utile quando la richiesta di nutrienti supera la capacità di assorbimento della pianta o quando le condizioni per lo sviluppo della radice sono sfavorevoli (Andreotti &

Tagliavini, 2010). I principali elementi nutritivi necessari per la coltivazione delle fragole e le loro carenze sono:

- **Azoto (N):** la carenza di azoto si manifesta con macchie di colore verde chiaro sulle foglie adulte e una riduzione della crescita vegetativa e della produzione di stoloni. Per una produzione a ciclo annuale con trapianto a luglio e maturazione delle fragole nella primavera-estate dell'anno successivo, l'assorbimento complessivo di azoto è di circa 90 kg/ha. Tra il trapianto e il termine della stagione vegetativa le richieste sono basse, diventano praticamente nulle durante il periodo di riposo vegetativo ed aumentano sensibilmente a partire dalla ripresa vegetativa con un picco di fabbisogno individuale a cavallo tra inizio di fioritura e maturazione dei frutti.
- **Fosforo (P):** La carenza di fosforo si manifesta con una crescita limitata della pianta e una colorazione verde scuro delle foglie, a volte accompagnata da malformazioni e punti necrotici. Il fosforo viene assorbito principalmente durante la fase di fioritura e lo sviluppo dei frutti, con quantitativi inferiori rispetto ad azoto e potassio (tra i 15 e i 20 kg/ha). In terreni naturalmente ben dotati di fosforo, il fabbisogno della pianta può essere soddisfatto dalla fertilità del suolo.
- **Potassio (K):** Essendo un catione (K⁺), la carenza di potassio si manifesta con clorosi e, nei casi più gravi, necrosi dei margini fogliari. Le foglie diventano più piccole e anche la crescita degli stoloni è ridotta. Il picco di fabbisogno di potassio si verifica tra l'inizio della fioritura e l'inizio della maturazione dei frutti, con un assorbimento complessivo variabile tra 90 e 125 kg/ha durante il ciclo produttivo. In terreni naturalmente ben dotati di potassio, la concimazione può essere evitata.
- **Calcio (Ca):** La carenza di calcio si manifesta nei giovani organi in formazione, come apici del germoglio e foglie giovani, con sintomi di clorosi e necrosi. Il consumo annuale di calcio per la coltura è stimabile tra 80 e 90 kg/ha, con un picco di assorbimento durante la fioritura e l'accrescimento dei frutti. Per evitare carenze, è consigliabile non eccedere con la fertilizzazione azotata in suoli poco dotati di calcio.
- **Magnesio (Mg):** Essendo l'atomo centrale della clorofilla, la carenza di magnesio provoca clorosi internervale, che può portare a ingiallimenti e caduta delle foglie, mentre i frutti possono manifestare mancata colorazione. Le quantità di magnesio asportate variano tra 20 e 25 kg/ha all'anno, con l'assorbimento concentrato nella fase di ripresa vegetativa fino allo sviluppo dei frutti.

Microelementi:

- Boro (B): La carenza di boro riduce l'allegagione e aumenta il numero di fiori abortiti, riducendo la produzione di fragole e causando malformazioni.
- Ferro (Fe): Le carenze di ferro si manifestano in primavera con clorosi internervale sulle foglie apicali. Se non trattata, porta a un aumento degli abortimenti fiorali e dei frutti malformati, soprattutto in suoli alcalini o calcarei.
- Zinco (Zn): La carenza di zinco può influenzare negativamente l'allegagione e le dimensioni finali dei frutti, in particolari substrati. (Angelini et al., 2010).

1.8 Materiali di propagazione

I materiali di propagazione utilizzati per gli impianti di fragola si suddividono in categorie:

- Piante “frigo conservate”: Moltiplicate in vivai specializzati, vengono estirpate durante la fase di riposo vegetativo e conservate in celle frigorifere a temperature comprese tra -1,5 e -2 °C fino alla piantagione. Le piante includono:
 - Tipo A: Pianta standard con un diametro del colletto tra 8 e 12 mm, commercializzata in casse contenenti 600-700 piante. Le piante con un diametro del colletto tra 6 e 8 mm sono considerate di seconda scelta e vendute come A- in casse da 900-1000 unità (Angelini et al., 2010).
 - Tipo A+: Piante con un diametro del colletto tra 12 e 15 mm, commercializzate in casse contenenti 250-300 piante. Le piante con un diametro al colletto superiore ai 15 mm sono denominate A++ (Angelini et al., 2010).
 - Waiting Bed (WB): Piante di grosso calibro prodotte in letti di attesa e derivate da piante A-, utilizzate in coltivazioni precoci e destagionalizzate, nonché in sistemi di coltivazione fuori suolo (Angelini et al., 2010).
 - Tray plant (TP) e mini tray: Piante ottenute da cime di stoloni messe a radicare in contenitori alveolati con 8-9 fori di 7-8 cm di diametro (tray) o 16-19 fori di 5-6 cm di diametro (mini tray) (Angelini et al., 2010).
- Piante fresche: Prelevate da vivai appositamente predisposti, queste cime di stoloni non radicati ma con abbozzi radicali vengono poste a radicare in contenitori alveolati con fori di 3-4 cm di diametro. Dopo 25-30 giorni le piante sono pronte per la messa a dimora.
 - “A radice nuda”: Estratte dal vivaio in autunno e trasportate immediatamente nelle zone di produzione per essere messe a dimora.
 - “Cime radicate”: Stoloni giovani radicati su torba in contenitori alveolari di polistirolo (Angelini et al., 2010).

1.9 Ambiente di coltivazione

L'ambiente di coltivazione gioca un ruolo fondamentale nel successo della fragolicoltura, influenzando direttamente lo sviluppo delle piante e la qualità dei frutti. Per garantire una crescita ottimale, è necessario gestire attentamente parametri come temperatura, umidità, ventilazione e illuminazione. La fragola prospera a temperature comprese tra i 15 e i 25 °C; tuttavia, quando queste superano i 30 °C, la qualità dei frutti può diminuire, mentre temperature inferiori a 5 °C rallentano lo sviluppo vegetativo. Anche il controllo dell'umidità è essenziale: un livello ideale intorno al 60-70 % aiuta a prevenire malattie fungine, come la *Botrytis cinerea*, che si sviluppano in condizioni di elevata umidità.

La ventilazione naturale, ottenuta attraverso aperture nei serre-tunnel, è fondamentale per regolare sia la temperatura che l'umidità interna, contribuendo a creare un microclima favorevole per le piante. Questo tipo di ventilazione previene anche l'insorgenza di malattie, migliorando la salute generale delle coltivazioni (Baeza et al., 2008). La configurazione ottimale per la ventilazione naturale spesso include sia le aperture sul tetto che quelle laterali, che favoriscono un microclima più omogeneo, essenziale per la salute delle colture (Munar & Aldana, 2019).

Nel contesto del Nord Italia, l'uso di strutture protettive come i serre-tunnel è molto diffuso per difendere le colture dalle condizioni climatiche avverse e per prolungare la stagione produttiva. I tunnel low-tech, con aperture regolabili per favorire una corretta ventilazione, rappresentano una soluzione efficace per migliorare la crescita e la resa delle piante, soprattutto in sistemi di coltivazione fuori suolo.

In conclusione, la gestione attenta dell'ambiente di coltivazione, attraverso l'uso di tecniche protettive e un controllo preciso dei parametri climatici, è essenziale per ottenere una produzione di fragole di alta qualità e costante durante l'anno.

2. Scopo del lavoro

Lo scopo del presente lavoro di tesi è indagare come le diverse aperture di serre-tunnel low-tech influenzino la produzione, la crescita e la fioritura di due varietà di fragola (Aprica e Sibilla) coltivate fuori-suolo. Questo approccio di coltivazione rappresenta una novità nel panorama produttivo italiano, tradizionalmente basato su sistemi in pieno campo. L'ipotesi di partenza è che le differenti aperture dei tunnel generino moti di arieggiamento distinti, i quali potrebbero avere un impatto diretto sulla fisiologia delle piante e sui parametri produttivi, quali resa, qualità dei frutti e sviluppo vegetativo.

L'obiettivo principale è quindi fornire nuove informazioni utili sull'ottimizzazione delle tecniche di gestione microclimatica nei sistemi di coltivazione protetta, con un focus specifico sulla possibilità di migliorare le performance produttive e qualitative delle fragole in ambiente fuori-suolo.

3. Materiali e metodi

3.1 Schema e sito sperimentale

La sperimentazione è stata condotta presso l'Azienda Agraria Sperimentale “Lucio Toniolo” dell'Università degli Studi di Padova (45°18'N, 11°95'E). Il complesso produttivo è costituito da tre serre di circa 82 m² ciascuna, con una lunghezza di 12.20 metri e una larghezza di 6.7 metri. La coltivazione è avvenuta in canaletta su sacchi (Figura 6). Il substrato di coltivazione GROTEC® era composto da due tipologie di fibra di cocco (a frazione media e crush) e perlite. Ogni tunnel presentava quattro file di canalette (orientamento Nord-Sud).



Figura 6. Struttura e divisione delle file nelle serre sperimentali.

I sacchi sono stati disposti lungo tutta la lunghezza del tunnel, formando delle file su cui sono state piantate, in modo alternato, le varietà Sibilla e Aprica. Ogni canaletta è stata suddivisa in tre repliche. Per ciascuna replica sono state selezionate e analizzate dieci piante, per un totale di circa 30 piante per canaletta.

I tre tunnel differivano per diversa ventilazione naturale, nello specifico il tunnel 1, apertura al colmo, tunnel 2 apertura frontale e tunnel 3, apertura laterali. La fertirrigazione è stata garantita con impianto a goccia IRRITEC utilizzato per la coltivazione delle fragole (Figura 7).

La messa a dimora delle piante di fragola è avvenuta il 18 ottobre 2022, sono state piantate n piante di Aprica e di Sibilla provenienti da Vivaio Mazzoni la densità di impianto era 10 piante/m².



Figura 7. Impianto di fertirrigazione IRRITEC utilizzato per la coltivazione delle fragole fuori-suolo.

3.2 Monitoraggio climatico

Il monitoraggio dei parametri climatici all'interno della serra è stato eseguito utilizzando sensori data logger HOBO® (Onset Computer Corporation, Bourne, Massachusetts, USA), programmati per registrare temperatura dell'aria. I sensori sono stati posizionati ad altezza pianta nella parte centrale del tunnel, come illustrato in Figura 8, con l'obiettivo di rilevare le variazioni microclimatiche all'interno della struttura che potessero influenzare crescita e resa delle piante. I dati di temperatura sono stati acquisiti ogni dieci minuti, consentendo di analizzare eventuali fluttuazioni in correlazione al clima esterno. Per la raccolta dei dati meteorologici esterni, è stata utilizzata la stazione meteo di Legnaro (dati ARPAV).

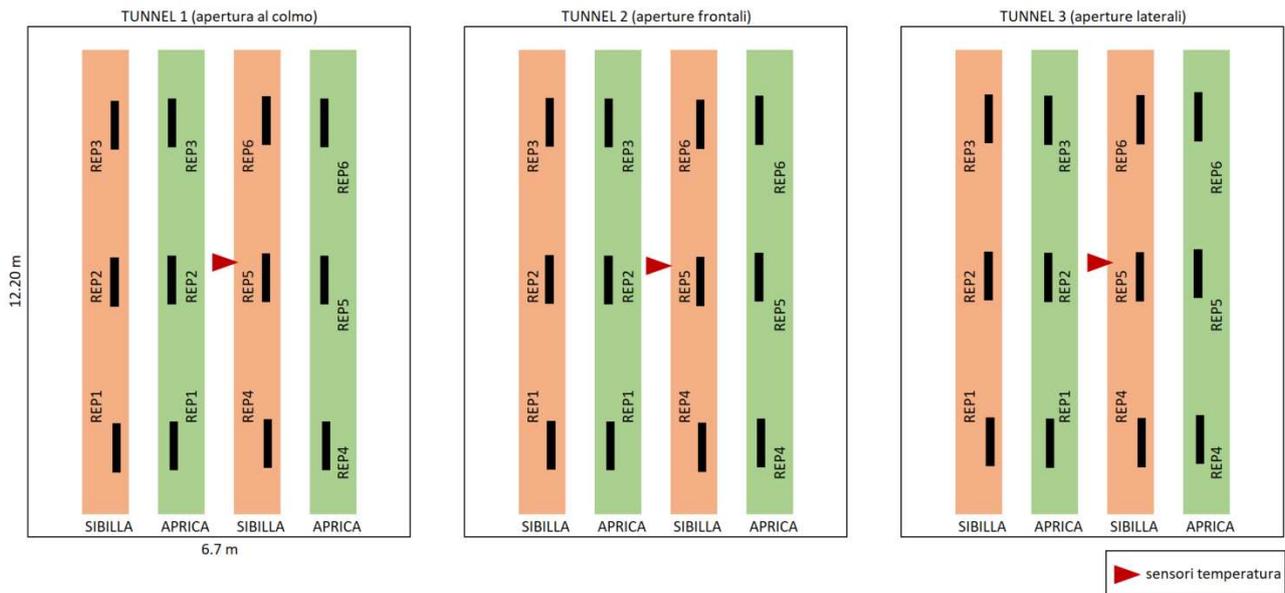


Figura 8. Schema sperimentale e collocazione dei sensori per il monitoraggio della temperatura all'interno dei tunnel.

3.3 Sviluppo vegetativo

A partire dal 21 marzo 2023 è iniziata la raccolta dei dati relativi allo sviluppo vegetativo delle piantine di fragola. Per il monitoraggio, le file di piante sono state suddivise in tre particelle, ciascuna identificata da appositi cartelli. All'interno di queste particelle sono state selezionate cinque piante rappresentative, le quali sono state monitorate per valutare lo sviluppo vegetativo e per eseguire i rilievi morfo-ponderali.

Durante la prima fase del ciclo vegetativo, con cadenza settimanale, sono stati rilevati i seguenti parametri:

Stato nutrizionale della coltura, misurato tramite l'indice SPAD 502 (Chlorophyll Meter SPAD-502Plus.). Questo strumento (Figura 9) consente di determinare in modo rapido e non invasivo il contenuto di clorofilla nelle foglie. La misurazione viene effettuata su una porzione di foglia mediante una clip integrata nello strumento, e il contenuto di clorofilla è visualizzato sul display sotto forma di unità SPAD.



Figura 9. SPAD 502 plus.

Assegnazione dello stadio fisiologico secondo la scala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie). Si tratta di un sistema standardizzato utilizzato in agricoltura per descrivere le fasi fenologiche di crescita delle piante, dalle prime fasi di sviluppo fino alla maturazione e alla senescenza. La scala è suddivisa in codici numerici da 0 a 9, corrispondenti ai diversi stadi di crescita, ulteriormente classificati in sottostadi per descrivere con maggiore precisione il ciclo di sviluppo della pianta (Meier et al., 2009). Per assegnare lo stadio fisiologico ogni settimana si è proceduto al conteggio del numero di foglie di fiori e all'osservazione della pianta stessa. Gli stadi principali della scala BBCH che abbiamo utilizzato per la coltivazione della fragola sono (Figura 10):

0. Sviluppo del germoglio
1. Sviluppo fogliare
4. Sviluppo di stoloni e giovani piante
5. Comparsa dell'infiorescenza
6. Fioritura
7. Sviluppo del frutto
8. Maturità del frutto

9. Senescenza e inizio della dormienza

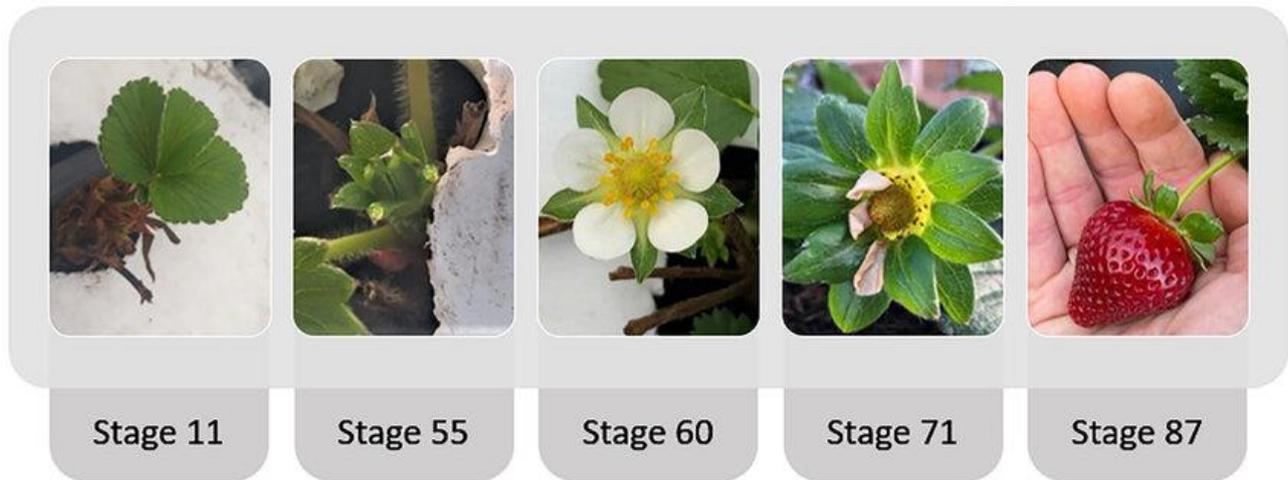


Figura 10. Scala fenologica BBCH della fragola secondo Meier et al. (1994) (fonte: dos Santos Deggerone et al (2023)).

3.4 Rilievi morfo-ponderali

Durante la fase di raccolta, alla maturazione commerciale dei frutti, la produzione di ciascuna particella è stata sottoposta a una serie di misurazioni. I frutti raccolti sono stati pesati e contati al fine di ottenere i seguenti parametri: produzione totale e peso medio dei frutti.

Successivamente, da ciascuna particella sono state selezionate dieci fragole rappresentative. Questi frutti sono stati misurati per ottenere il diametro e l'altezza, utilizzando un calibro elettronico con precisione millimetrica. Inoltre, è stata rilevata la posizione degli acheni rispetto alla superficie esterna del frutto, mediante una scala di valutazione così definita:

1. Acheni immersi nella superficie,
5. Acheni a livello della superficie,
9. Acheni sporgenti dalla superficie. (Veneto agricoltura)

Infine, su ciascun frutto è stata eseguita un'analisi colorimetrica tramite il colorimetro Minolta CR310, che ha permesso di rilevare le coordinate cromatiche secondo lo standard internazionale CIELab, con le seguenti definizioni:

- L*: variazione dal bianco ($L = 100$) al nero ($L = 0$),
a*: variazione dal rosso ($a = +60$) al verde ($a = -60$),
b*: variazione dal giallo ($b = +60$) al blu ($b = -60$).

I valori di hue e chroma sono stati calcolati a partire dai parametri L*, a*,b* rilevati tramite il colorimetro. Il parametro chroma (C*) rappresenta l'intensità o la saturazione del colore, ed è stato calcolato con la seguente formula:

$$C^*_{ab} = (a^* + b^*)^{1/2}$$

Mentre hue angle (h°) descrive la tonalità del colore, e la sua formula è:

$$h \text{ degrees} = \arctan (b^*/a^*).$$

Questi parametri permettono una valutazione quantitativa delle caratteristiche cromatiche dei campioni analizzati, fornendo informazioni dettagliate su variazioni di colore osservate durante l'esperimento.

3.5 Analisi qualitative

Per condurre le analisi qualitative sono stati prelevati dei campioni di prodotto per ogni particella di ogni varietà con lo scopo di individuare i parametri qualitativi. La sostanza secca (in %) è stata determinata essiccando un campione in stufa a 65 °C per 48 ore. Il campione essiccato è stato poi nuovamente pesato per ottenere la differenza tra il peso secco e quello iniziale. Moltiplicando il risultato per cento si ottiene la quantità di sostanza secca presente nel frutto in percentuale.

Una aliquota del succo è servita anche per la determinazione del contenuto di solidi solubili (°Brix), che è stata effettuata tramite rifrattometro portatile digitale HI 96801 Hanna Instruments; uno strumento che utilizza la misura dell'indice di rifrazione per determinare il contenuto zuccherino. Parte del succo è stata inoltre prelevata per eseguire le analisi di pH e conducibilità elettrica (EC) tramite pHmetro-conduttivimetro portatile, modello H19811.

L'acidità titolabile è stata determinata secondo il metodo standard ISO 750:1998 (E) tramite il titolatore automatico Titrex Act (Steroglass). Il volume di soda necessario al raggiungimento del punto di flesso (pH 8.2) è stato utilizzato nella seguente formula:

$$Z = [(V*N*mEqwt)/Y]*100$$

dove:

Z= g di acido per 100 g di campione

V= volume in mL di NaOH usata per la titolazione

N= normalità di NaOH

mEqwt= milliequivalenti di acido (0.064 acido citrico)

Y= volume in mL di campione

3.6 Analisi statistica

Lo studio è stato condotto utilizzando un disegno sperimentale a blocchi randomizzati con tre repliche. Per l'analisi dei dati, è stato impiegato un modello lineare misto tramite il software statistico SAS (versione 9.4; SAS Institute, Cary, NC, USA). Questo approccio ha permesso di valutare la correlazione tra la struttura di coltivazione (tunnel) e le varietà di fragola coltivate (Aprica e Sibilla) sui parametri morfo-fisiologici e qualitativi.

Le variabili considerate sono state analizzate come effetti fissi, mentre i blocchi sono stati inclusi come effetto casuale per tenere conto delle variazioni ambientali all'interno del sito sperimentale. I dati sono stati espressi come medie dei minimi quadrati (LS means) con l'errore standard associato (SE). Il confronto tra le medie dei minimi quadrati è stato effettuato utilizzando il test post hoc di Tukey HSD, il quale consente di gestire il rischio di errori di Tipo I nei confronti multipli. La soglia di significatività statistica è stata fissata a $P < 0.05$.

4. Risultati

4.1 Monitoraggio climatico

L'andamento della temperatura dell'aria misurata all'interno dei tre tunnel (Tunnel 1, Tunnel 2, Tunnel 3) confrontato con i dati rilevati da una stazione meteorologica esterna è riportato in figura 11. Le misurazioni coprono il periodo di coltivazione della fragola da metà marzo a fine giugno.

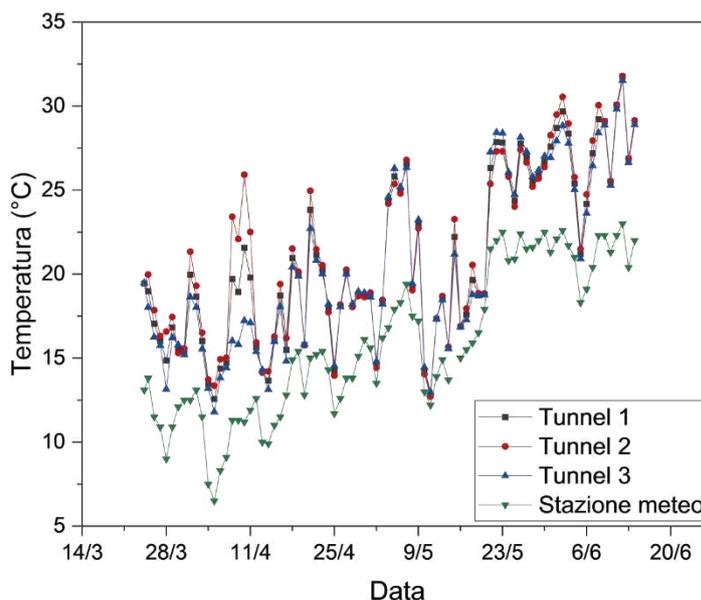


Figura 11. Andamento della temperatura media dell'aria all'interno dei tre tunnel di coltivazione e della Stazione meteo di Legnaro (ARPAV). Tunnel 1 apertura al colmo, Tunnel 2 apertura frontale e Tunnel 3 aperture laterali.

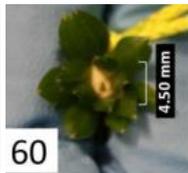
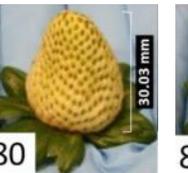
Le temperature registrate all'interno dei tre tunnel mostrano un andamento simile, con oscillazioni comprese tra circa 10°C e 30°C. Tuttavia, si osservano alcune differenze nei valori massimi rilevati, infatti il Tunnel 1 con apertura al colmo (linea nera) e il Tunnel 2 con aperture frontali (linea rossa) presentano picchi di temperatura generalmente più elevati rispetto al Tunnel 3 con aperture laterali (linea blu). Questo è particolarmente evidente durante i mesi più caldi di maggio e giugno, dove le temperature all'interno di questi due tunnel superano frequentemente i 25°C.

In generale, tutti i tunnel tendono a mantenere temperature più alte e più stabili rispetto all'ambiente esterno, infatti, la stazione meteorologica (linea verde) evidenzia temperature più basse rispetto a quelle registrate all'interno dei tunnel. Le oscillazioni sono anche più ampie, con una maggiore variabilità tra il giorno e la notte.

4.2 Sviluppo vegetativo

Lo sviluppo vegetativo delle varietà Aprica e Sibilla, coltivate in tre tunnel, è stato valutato utilizzando la scala BBCH per misurare il progresso fenologico e i giorni dal trapianto (GDT) (Tabella 1).

Tabella 1. Scala BBCH indicata in giorni dal trapianto (GDT) per le varietà Aprica e Sibilla, coltivate in tre diversi tunnel. Tunnel 1 apertura al colmo, Tunnel 2 apertura frontale e Tunnel 3 aperture laterali. Scala BBCH 60 e 65 indica la fioritura, 70-75 sviluppo del frutto e 80-85 maturazione del frutto.

						
Tunnel 1	176	183	185	190	194	197
Tunnel 2	176	183	185	190	194	197
Tunnel 3	176	183	185	190	194	197
Aprica	169	176	183	185	188	190
Sibilla	183	190	193	194	195	197

Lo sviluppo delle fragole è stato osservato a partire dallo stadio BBCH 60 (inizio della fioritura) fino allo stadio BBCH 85 (maturazione del frutto).

I dati rivelano che lo sviluppo delle fragole nei tre tunnel è avvenuto in modo simile. In tutti e tre i tunnel, le piante hanno iniziato la fioritura a 176 GDT, progredendo fino alla maturazione al giorno 197 GDT. Nonostante le differenze strutturali, le fragole coltivate in tutti e tre i tunnel hanno seguito lo stesso ritmo di crescita, impiegando 21 giorni per passare dalla fioritura alla maturazione del frutto. La varietà Aprica ha mostrato una fioritura precoce rispetto alla varietà Sibilla, rispettivamente a 169 GDT. La varietà Sibilla ha invece mostrato un comportamento più tardivo con l'inizio della fioritura al giorno 183 GDT, più tardi rispetto sia ai tunnel che alla varietà Aprica.

Lo stato nutrizionale delle fragole, espresso come indice SPAD, in giorni dal trapianto (GDT) per le varietà Aprica e Sibilla, coltivate in tre tunnel con differenti aperture è rappresentato in tabella 2.

Tabella 2. Stato nutrizionale delle piante, indicato come indice SPAD in giorni dal trapianto (GDT) per le varietà Aprica e Sibilla, coltivate in tre diversi tunnel. Tunnel 1 apertura al colmo, Tunnel 2

apertura frontale e Tunnel 3 aperture laterali. Per ciascun parametro, le lettere differenti indicano differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra i trattamenti.

	Giorni dal trapianto (GDT)							
	154	162	169	176	183	190	197	218
Tunnel 1	40.0 a	37.7 a	37.8 a	33.4 b	37.1 a	35.9 a	35.3 a	41.2 a
Tunnel 2	40.4 a	38.9 a	41.1 a	36.5 a	37.2 a	35.3 a	36.2 a	41.6 a
Tunnel 3	40.1 a	37.5 a	38.4 a	34.6 ab	36.5 a	35.6 a	35.8 a	41.6 a
Aprica	39.4 a	37.2 b	38.1 a	35.0 a	36.8 a	34.6 b	35.2 a	40.6 b
Sibilla	41.0 a	38.9 a	40.1 a	34.7 a	37.0 a	36.6 a	36.3 a	42.4 a

Per quanto riguarda il trattamento tunnel, non ci sono state differenze significative da 154 a 218 GDT, solamente a 176 GDT le piante nel tunnel 2 hanno registrato un indice SPAD maggiore rispetto a quelle del tunnel 1.

Per quanto riguarda le varietà, le piante di Aprica e Sibilla hanno mostrato un andamento simile. A 162, 190 e 218 GDT la varietà Aprica ha evidenziato un indice SPAD maggiore rispetto alle piante della varietà Sibilla.

4.3 Rilievi morfo-ponderali

I parametri morfo-metrici dei frutti raccolti riportati in tabella 3, includono il diametro massimo e minimo e la lunghezza dei frutti.

Tabella 3. Analisi morfo-metrica, effettuata tramite calibro elettronico. I dati sono espressi come media \pm errore standard. Per ciascun parametro, le lettere differenti indicano differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra i trattamenti.

	Diametro massimo	Diametro minimo mm	Lunghezza
	Tunnel 1	38.1 \pm 0.629 b	31.5 \pm 0.985 b
Tunnel 2	34.2 \pm 0.639 c	27.4 \pm 0.990 c	41.8 \pm 0.939 b
Tunnel 3	39.9 \pm 0.626 a	33.9 \pm 0.984 a	47.8 \pm 0.929 a
Aprica	41.8 \pm 0.599 a	35.0 \pm 0.968 a	47.2 \pm 0.908 a
Sibilla	33.0 \pm 0.616 b	27.1 \pm 0.978 b	43.8 \pm 0.922 b

I dati suggeriscono una variabilità significativa nelle dimensioni dei frutti in base sia all'ambiente di coltivazione che alla varietà. In particolare, le fragole coltivate nel Tunnel 3 hanno registrato un diametro massimo e minimo maggiore rispetto al trattamento Tunnel 1 e 2. Mentre la lunghezza del frutto è risultata maggiore nel trattamento Tunnel 1 e 3, rispettivamente 46.9 e 47.8.

La varietà Sibilla ha evidenziato diametro dei frutti massimi e minimi inferiori (33.0 e 27.1), rispetto alla varietà Aprica che ha registrato un diametro dei frutti di 41.8 mm e 35.0 mm.

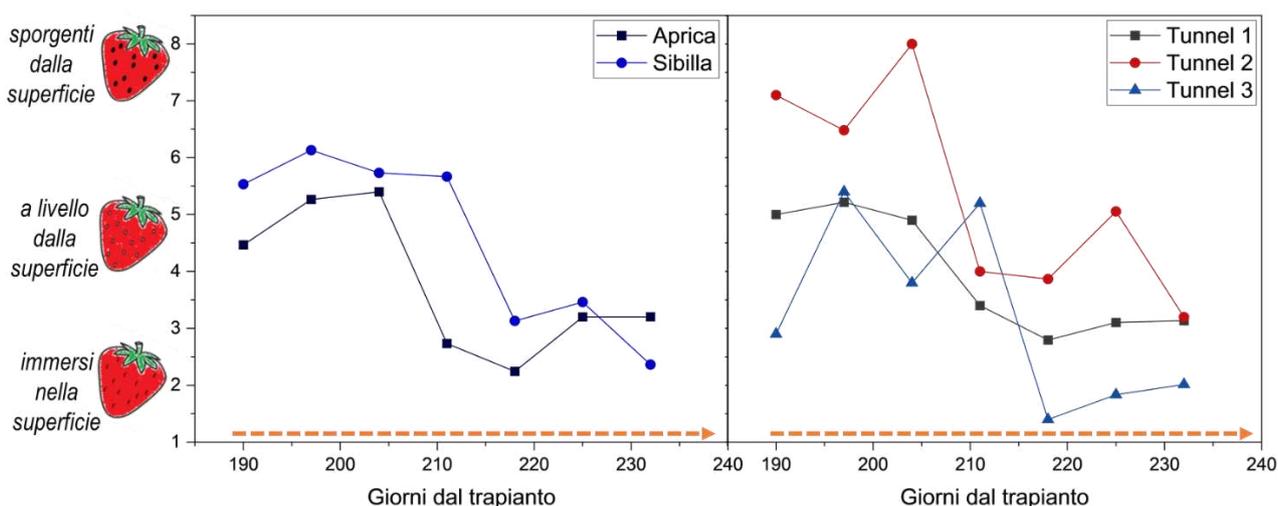


Figura 12. Rappresentazione grafica della posizione degli acheni rispetto alla superficie. Le lettere differenti indicano differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra i trattamenti secondo il Test HSD di Tukey. Le barre di errore rappresentano l'errore standard.

L'andamento della posizione degli acheni dei campioni raccolti, rappresentato in Figura 12, ha evidenziato delle differenze durante il ciclo. Il grafico a sinistra rappresenta la varietà Sibilla, la quale mostra inizialmente una posizione media degli acheni più sporgente dalla superficie (5.5) rispetto alla varietà Aprica (4.5). Entrambe le varietà mostrano una tendenza generale alla diminuzione della sporgenza degli acheni nel tempo, con Aprica che raggiunge anche valori di 2, più bassi rispetto a Sibilla il cui minimo medio è 2.5.

Il grafico a destra mostra l'andamento della posizione degli acheni nei tre tunnel di coltivazione. I frutti del trattamento Tunnel 2 mostra tendenzialmente valori più elevati, con un massimo pari a 8, indicando acheni più sporgenti. I frutti coltivati nel Tunnel 1 è quello che dimostra un comportamento più stabile, con valori intermedi che vanno da un massimo di 5 ad un minimo di 3.

Per quanto riguarda e analisi qualitative del colore del frutto (tabella 4), si osserva che i valori della luminosità “L” sono statisticamente simili per frutti del trattamento Tunnel 1 e il Tunnel 3, entrambi con un valore pari a 41.0, mentre il Tunnel 2 presenta un valore leggermente superiore, pari a 41.9. Per quanto riguarda le varietà: Sibilla mostra un valore di luminosità più elevato (42.2) rispetto ad Aprica (40.4).

Tabella 4. Analisi dei valori colorimetrici L, a e b secondo lo standard internazionale CIELab delle fragole appartenenti alle varietà Aprica e Sibilla, coltivate in tre diversi tunnel. Tunnel 1 apertura al colmo, Tunnel 2 apertura frontale e Tunnel 3 aperture laterali. I dati sono espressi come media \pm errore standard. Per ciascun parametro, le lettere differenti indicano differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra i trattamenti.

	L	a	b
Tunnel 1	41.0 \pm 0.512 b	32.3 \pm 0.455 a	19.9 \pm 0.706 a
Tunnel 2	41.9 \pm 0.515 a	31.9 \pm 0.460 a	20.2 \pm 0.710 a
Tunnel 3	41.0 \pm 0.511 b	32.5 \pm 0.454 a	19.2 \pm 0.705 b
Aprica	40.4 \pm 0.501 b	31.6 \pm 0.438 b	18.9 \pm 0.692 b
Sibilla	42.2 \pm 0.507 a	32.9 \pm 0.448 a	20.6 \pm 0.700 a

Per la componente cromatica verde-rosso, espressa dal parametro “a”, i valori dei frutti nei tre tunnel non risultano statisticamente differenti tra loro. Tuttavia, nel confronto tra le varietà, Sibilla ha registrato un valore superiore (32.9) rispetto a quello di Aprica (31.6), suggerendo una maggiore intensità del rosso nei frutti.

Per quanto riguarda la componente cromatica blu-giallo (b), i frutti nel Tunnel 3 hanno evidenziato un valore inferiore (19.2) rispetto a quelli riscontrati nei Tunnel 1 e 2.

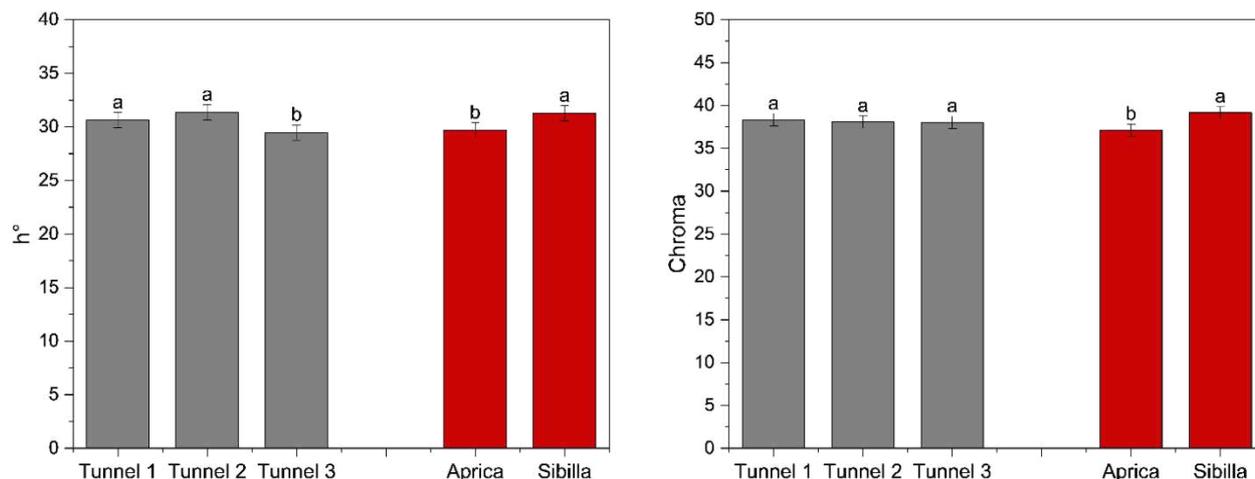


Figura 13. Valori di Hue e Chroma delle fragole appartenenti alle varietà Aprica e Sibilla, coltivate in tre diversi tunnel. Tunnel 1 apertura al colmo, Tunnel 2 apertura frontale e Tunnel 3 aperture laterali. Le lettere differenti indicano differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra i trattamenti secondo il Test HSD di Tukey. Le barre di errore rappresentano l'errore standard.

I valori del parametro Hue (h°) (Figura 13, grafico a sinistra) evidenzia come i frutti del Tunnel 1 e 2 presentano valori di Hue non significativamente diversi. I frutti del Tunnel 3, invece, mostra valori inferiori a 30, il che suggerisce una tonalità di colore differente rispetto agli altri due tunnel. Per quanto riguarda le varietà, Sibilla mostra valori statisticamente superiori di Hue $^\circ$ rispetto ai frutti della varietà Aprica.

Il grafico a destra, invece, si osserva che i valori di Chroma per i tre tunnel sono statisticamente non significativi, superiori a 35. Tuttavia, la varietà Aprica presenta un valore di Chroma pari a 35, che è inferiore rispetto alla varietà Sibilla (40), che dimostra un colore più intenso.

4.4 Analisi qualitative

I parametri qualitativi, pH, la conduttività elettrica (EC), la percentuale di acido citrico e il contenuto di solidi solubili ($^\circ\text{Brix}$), fondamentali per la valutazione organolettica sono riportati in tabella 5.

Il pH evidenzia una leggera variazione tra i campioni, con valori statisticamente inferiori per la varietà Aprica (3.61), indicando una maggiore acidità, mentre la varietà Sibilla mostra il valore di pH più alto (3.83).

La conducibilità elettrica (EC) registrata è stata significativamente maggiore nei frutti del trattamento tunnel 2 (3.13 mS cm^{-1}) rispetto al tunnel 3 (2.85 mS cm^{-1}).

Per quanto riguarda l'acido citrico, non si sono registrate differenze significative tra i trattamenti tunnel e varietà. Infine, i solidi solubili espressi in gradi °Brix, non ci sono state differenze significative tra i trattamenti.

Tabella 5. Risultati delle analisi qualitative di pH, conducibilità elettrica, acido citrico e solidi solubili. I dati sono espressi come media \pm errore standard. Per ciascun parametro, le lettere differenti indicano differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra i trattamenti secondo il Test HSD di Tukey.

	pH	EC mS cm⁻¹	Acido citrico %	Solidi solubili °Brix
Tunnel 1	3.70 \pm 0.033 b	2.92 \pm 0.224 ab	78.2 \pm 0.058 a	9.75 \pm 0.547 a
Tunnel 2	3.75 \pm 0.039 a	3.13 \pm 0.229 a	85.2 \pm 0.069 a	10.8 \pm 0.699 a
Tunnel 3	3.70 \pm 0.036 a	2.85 \pm 0.226 b	81.0 \pm 0.064 a	9.73 \pm 0.637 a
Aprica	3.61 \pm 0.032 b	2.85 \pm 0.243 a	76.2 \pm 0.056 a	10.4 \pm 0.480 a
Sibilla	3.83 \pm 0.045 a	3.08 \pm 0.368 a	86.7 \pm 0.081 a	9.81 \pm 0.684 a

Infine, la figura 14 rappresenta la concentrazione di sostanza secca (%) nelle fragole, analizzata sia per le varietà Aprica e Sibilla che per le piante coltivate nei tre diversi tunnel. Nei primi due tunnel, Tunnel 1 e Tunnel 2, i valori di sostanza secca si aggirano intorno all'9%, senza differenze statisticamente rilevanti, al contrario, nel Tunnel 3, che presenta aperture laterali la concentrazione di sostanza secca è aumentata leggermente, raggiungendo circa il 10%. Questo suggerisce che una maggiore ventilazione laterale possa avere un impatto positivo sull'accumulo di sostanza secca nelle fragole. Dal confronto tra le varietà, emerge che Sibilla ha una concentrazione di sostanza secca superiore rispetto ad Aprica. Mentre Aprica ha un valore del 9%, Sibilla raggiunge valori superiori (9.5%).

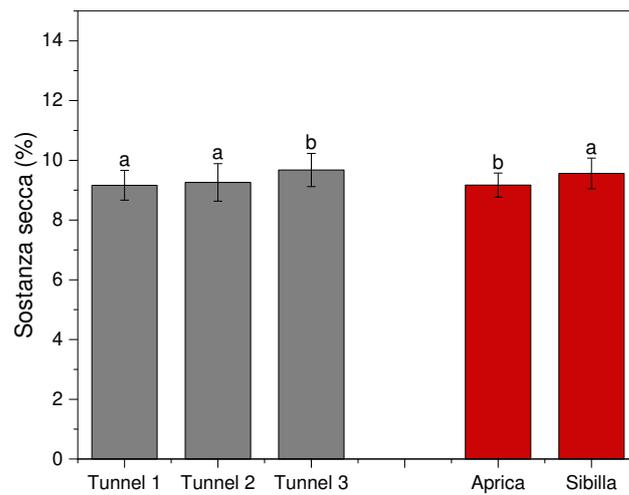


Figura 14. Contenuto della sostanza secca delle fragole appartenenti alle varietà Aprica e Sibilla, coltivate in tre diversi tunnel. Tunnel 1 apertura al colmo, Tunnel 2 apertura frontale e Tunnel 3 aperture laterali. Le lettere differenti indicano differenze statisticamente significative ($p < 0.05$) tra i trattamenti secondo il Test HSD di Tukey. Le barre di errore rappresentano l'errore standard.

5. Discussione

Lo scopo di questo lavoro di tesi è stato il confronto dello sviluppo vegeto-qualitativo di due varietà di fragole tipiche del veronese, Aprica e Sibilla, coltivate fuori suolo in tre serre con ventilazione naturale differente. Nello specifico il tunnel 1 presentava apertura a colmo, tunnel 2 apertura frontale e tunnel 3 aperture laterali. L'andamento climatico all'interno dei tre tunnel di coltivazione, come dimostrato anche da Teitel et al (2010), ha mostrato temperature più elevate e stabili rispetto all'esterno, con oscillazioni comprese tra 10°C e 30°C durante il ciclo primaverile estivo. I tunnel con apertura al colmo e apertura frontale hanno registrato picchi di temperatura più alti, rispetto al tunnel con aperture laterali che ha mantenuto temperature più basse grazie a una migliore distribuzione del flusso di ventilazione, fenomeno già osservato in altre coltivazioni protette da Kittas et al. (1997).

Lo sviluppo fenologico delle piante, rappresentato dalla scala BBCH, non ha mostrato significative differenze tra i tunnel, suggerendo che la variabilità microclimatica non abbia alterato il ciclo di sviluppo in maniera sostanziale. Tuttavia, la varietà Aprica ha iniziato la fioritura con sette giorni di anticipo rispetto a Sibilla, risultato che potrebbe essere correlato a una maggiore sensibilità alle temperature più elevate, come riportato da Sønsteby e Heide (2009). Inoltre l'indice SPAD ha evidenziato una concentrazione di clorofilla stabile e simile tra i trattamenti e tra le varietà, durante tutto il periodo di osservazione. Questi risultati sono coerenti con le osservazioni di Jifon et al. (2005), che evidenziano come l'indice SPAD possa mantenersi stabile anche in altre colture, se sottoposte a condizioni ambientali leggermente diverse, confermando che le condizioni microclimatiche offerte dai tunnel sono state sufficienti per garantire la coltivazione.

Considerando i rilievi morfo-ponderali, la ventilazione laterale, Tunnel, ha prodotto frutti di maggiore diametro, dimostrando che un controllo più stabile delle temperature può favorire una pezzatura superiore. La varietà Aprica ha mostrato un calibro dei frutti mediamente maggiore rispetto a Sibilla, suggerendo una maggiore tolleranza agli stress ambientali, come riportato da Lieten (2004). Lo sviluppo degli acheni ha rivelato differenze significative tra varietà e tra tunnel. Inizialmente, Sibilla presentava una sporgenza degli acheni maggiore rispetto ad Aprica, ma nel corso del ciclo entrambi hanno ridotto progressivamente questo parametro, con Aprica che ha raggiunto i valori più bassi. I frutti del Tunnel 2 mostravano una maggiore sporgenza degli acheni, suggerendo un ambiente con temperature più alte o minore ventilazione, in linea con quanto riportato da Kadir et al. (2006). In contrasto, il Tunnel 1 ha garantito una maggiore stabilità nella sporgenza degli acheni, indice di condizioni microclimatiche più equilibrate.

Il colore è una caratteristica chiave per la qualità percepita delle fragole. I risultati ottenuti durante l'analisi colorimetrica dei frutti hanno riportato valori di luminosità *L simili per i frutti dei Tunnel 1 e 3, mentre il Tunnel 2 ha mostrato un valore leggermente superiore. Per quanto riguarda la

componente cromatica verde-rosso *a, i valori dei frutti nei tre tunnel non sono risultati particolarmente differenti tra loro ed infine, per la componente cromatica blu-giallo *b, i frutti del Tunnel 3 hanno evidenziato il valore più basso di tutti. La componente *a, colorazione tra rosso e verde, influisce sulla percezione del consumatore. Infatti, come affermato da Lewers et al., 2020, le fragole con una tonalità di rosso più brillante sono spesso valutate in termini di qualità visiva e freschezza superiore rispetto a quelle con valori di *a inferiori

Inoltre, secondo lo studio di Lewers et al., 2020, i consumatori tendono a preferire le fragole che presentano un colore arancione-rosso chiaro (valori *L e *b più elevati) rispetto alle varietà più scure, più viola-rosse. Questa preferenza è legata alla percezione della freschezza e della maturità, che sono cruciali per l'accettazione da parte dei consumatori. Per quanto riguarda il parametro Hue il trattamento Tunnel 3 ha presentato i valori più bassi, mentre per il parametro Chroma non sono state notate differenze significative tra i trattamenti. Questi risultati sono compatibili con lo studio di Kadir et al. (2006), il quale afferma come tunnel con diversi gradienti di temperatura, possono portare a variazioni di colorazione sulle varietà di fragole. La differenza nei valori di Hue° e Chroma tra le due varietà può essere attribuita a variabili genetiche che influenzano la sintesi dei pigmenti, confermando quanto osservato in studi precedenti (Lee et al., 2022), dove le differenze varietali hanno mostrato un impatto significativo sulla colorazione e sul profilo sensoriale dei frutti.

Per quanto riguarda i risultati delle analisi qualitative, il pH ha mostrato una lieve variazione tra i campioni, con valori statisticamente più bassi nella varietà Aprica, indicando una maggiore acidità. Questa differenza potrebbe essere attribuita alla genetica delle cultivar. Studi come quello di Patel et al. (2023) dimostrano infatti come la genetica possa avere un'influenza maggiore rispetto alle condizioni ambientali sulle caratteristiche qualitative, in particolare sull'acidità e sui livelli di acidi organici, come l'acido citrico. La conducibilità elettrica (EC) è risultata significativamente più elevata nei frutti del trattamento Tunnel 2. Studi come quello di Wang et al. (2010), hanno rilevato che i valori di °Brix possono essere influenzati dal tipo di substrato e dalle condizioni di coltivazione, il risultato ottenuto durante la nostra sperimentazione ha dimostrato che il solo variare delle configurazioni di apertura dei trattamenti, non è probabilmente sufficiente per causare differenze significative nel grado zuccherino delle fragole. Inoltre, Turci et al., 2021 ha evidenziato come in 5 diverse varietà coltivate in Italia, il grado zuccherino si attestava in un range tra 7.3 e 8.0 °Brix.

Considerando i valori di sostanza secca, non sono state rilevate differenze statisticamente significative nei trattamenti Tunnel 1 e Tunnel 2, mentre nel Tunnel 3, dotato di aperture laterali, la concentrazione di sostanza secca è aumentata leggermente. È stato riscontrato anche nello studio condotto da Doust et al. (2023) che la coltivazione in tunnel aperti, simili al trattamento Tunnel 3, ha favorito una qualità

superiore e un conseguente incremento della sostanza secca. Dal confronto tra le varietà, è emerso che Sibilla ha mostrato una concentrazione di sostanza secca superiore rispetto ad Aprica.

6. Conclusioni

Questo lavoro di tesi ha evidenziato come le diverse configurazioni di ventilazione dei tunnel influenzino il microclima e, di conseguenza, alcune caratteristiche qualitative delle fragole. Tra i tre trattamenti, il tunnel con aperture laterali, Tunnel 3, ha dimostrato la capacità di mantenere un ambiente termico più stabile e favorevole per la produzione di frutti di diametro maggiore e colorazione più intensa, caratteristiche visivamente apprezzate sul mercato. La varietà Aprica ha evidenziato una maggiore tolleranza agli stress termici rispetto a Sibilla, iniziando la fioritura con una settimana di anticipo e mostrando un'acidità lievemente superiore. Le analisi qualitative non hanno riportato variazioni significative nel contenuto zuccherino tra i trattamenti, indicando che la dolcezza del frutto è influenzata principalmente da altri fattori agronomici, oltre che dalla configurazione del tunnel.

In conclusione, l'utilizzo di tunnel con ventilazione laterale rappresenta una tecnica promettente per migliorare le caratteristiche qualitative delle fragole coltivate fuori suolo, poiché consente un miglior controllo delle condizioni microclimatiche e favorisce lo sviluppo di frutti visivamente più attraenti. Tuttavia, ulteriori ricerche sarebbero necessarie per approfondire l'influenza di altri fattori agronomici sulle caratteristiche organolettiche dei frutti, in particolare il contenuto zuccherino, e per ottimizzare ulteriormente le tecniche di coltivazione in serra.

Bibliografia

- A.A. V.V., 2002. Monografia di cultivar di fragole coord. Faedi W., Baruzzi G., Lovati F., Sbrighi P., Lucchi P., Pogetto finalizzato MiPAAF “Liste di orientamento varietale dei fruttiferi”, pubbl. 201 AA.VV. (2010): La fragola, coordinamento scientifico di W. Faedi. Collana Coltura&Cultura, ideata e coordinata da R. Angelini, Bayer CropScience, Ed. Script, Bologna.
- Andreotti, C. & Tagliavini, M., 2010. Concimazione. In: La Fragola. Milano: Bayer CropScience
- Baeza, E., Perez-Parra, J. J., López, J. C., Gazquez, J. C., & Montero, J. I. (2008, October). Numerical analysis of buoyancy driven natural ventilation in multi-span type greenhouses. In International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions 797 (pp. 111-116).
- Balasoorya, B.L.H.N., Dassanayake, K. and Ajlouni, S. (2020). High temperature effects on strawberry fruit quality and antioxidant contents. *Acta Hortic.* 1278, 225-234
- Baruzzi G., Macchi E., “La nuova fragolicoltura italiana produce tutto l’anno” *Rivista di Frutticoltura e di Orticoltura*, 14 giugno 2019
- Baruzzi, G. & Faedi, W., 2010. Innovazione varietale. In: La Fragola. Milano: BayerCropScience
- Bucci, A., Faedi, W. & Baruzzi, G., 2010. Botanica. Origine ed evoluzione. In: La Fragola. Milano: BayerCropScience
- Davis, T.M., Denoyes-Rothan, B., Lerceteau-Köhler, E. (2007). Strawberry. In: Kole, C. (eds) *Fruits and Nuts. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*, vol 4. Springer, Berlin, Heidelberg
- Davis, T.M., Denoyes-Rothan, B., Lerceteau-Köhler, E. (2007). Strawberry. In: Kole, C. (eds) *Fruits and Nuts. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*, vol 4. Springer, Berlin, Heidelberg
- dos Santos Deggerone, Y., dos Santos Trentin, T., Kujawa, S. C., Albrecht, G. E., Fante, R., Kaspariy, I. J., ... & Chiomento, J. L. T. (2023). Phenology and phyllochron of seven strawberry cultivars grown in substrate and greenhouse in the Brazilian subtropics. *Comunicata Scientiae*, 14, e4054-e4054.
- Doust, J. R., Nazarideljou, M. J., & Ferrante, A. (2023). Comparison of the growth, physio-biochemical characteristics, and quality indices in soilless-grown strawberries under greenhouse and open-field conditions. *Horticulturae*
- Emiliana Carotenuto. (2020, October 14). Il quadro produttivo della fragola - L'Informatore Agrario. <https://creafuturo.crea.gov.it/10583/>
- <https://www.venetoagricoltura.org/wp-content/uploads/2021/02/pub-fragola19-20.pdf>
- Jifon, J. L., Syvertsen, J. P., & Albrigo, L. G. (2005). Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in *Citrus* sp. leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*

- Kadir, S., Sidhu, G., & Al-Khatib, K. (2006). Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. *HortScience*
- Kittas, C., Bartzanas, T., & Jaffrin, A. (1997). Influence of ventilation on the microclimate and energy balance of a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*
- L'Informatore Agrario. <https://www.informatoreagrario.it/filiere-produttive/frutticoltura/il-quadro-produttivo-della-fragola/>
- L'Informatore Agrario. <https://www.informatoreagrario.it/filiere-produttive/frutticoltura/il-quadro-produttivo-della-fragola/>
- Lieten, P., 2010. Coltivazione fuori suolo. In: *La Fragola*. Milano: Bayer CropScience
- Lucchi, P., 2010. Coltivazione. Tecnica colturale. In: *La fragola*. Milano: BayerCropScience.
- Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Heß, M., ... & Zwerger, P. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants—history and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, 61(2), 41-52.
- Munar, E. A. V., & Aldana, C. R. B. (2019). Study of natural ventilation in a Gothic multi-tunnel greenhouse designed to produce rose (*Rosa* spp.) in the high-Andean tropic. *Ornamental Horticulture*, 25(2), 133-143.
- Pachioli S., “Guida alla coltivazione e difesa: Fragola – lampone – mirtillo.” Roseto degli Abruzzi (TE), Tipografia Rosetana, 2021
- Patel, H., Taghavi, T., & Samtani, J. B. (2023). *Fruit Quality of Several Strawberry Cultivars during the Harvest Season under High Tunnel and Open Field Environments*. *Horticulturae*, 9(10), 1084.
- Phenological growth stages and BBCH-identification keys of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants*, 2, 62-64.
- Simpson, D. (2018). The Economic Importance of Strawberry Crops. In: Hytönen, T., Graham, J., Harrison, R. (eds) *The Genomes of Rosaceous Berries and Their Wild Relatives*. *Compendium of Plant Genomes*. Springer, Cham.
- Sønsteby, A., & Heide, O. M. (2009). Temperature responses, flowering and fruit yield of the June-bearing strawberry cultivars Florence, Frida and Korona. *Scientia Horticulturae*
- Teitel, M., Tanny, J., Barak, M., & Hetzroni, A. (2010). Airflow patterns through roof openings of a naturally ventilated greenhouse and its effect on temperature and humidity distributions. *Biosystems Engineering*
- Tesi, R. (2002). *Colture fuori suolo in orticoltura e floricoltura*. Bologna, Italy: Edagricole.
- Turci, P., Baruzzi, G., Ballini, L., Birolli, M., Capriolo, G., Carullo, A., ... & Sbrighi, P. (2021, May). Updates on Italian strawberry breeding programs coordinated by CREA. In *IX International Strawberry Symposium* 1309 (pp. 1069-1075).

Wang, J., Jafarnia, S., & Caso, A. (2010). Hydroponics and substrate-based systems for strawberries: A comparative study. *Scientia Horticulturae*