DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

RISPOSTE VEGETATIVE, PRODUTTIVE E QUALITATIVE DI FRAGOLE CV "AUREA" SOTTOPOSTE A DIVERSI APPORTI NUTRIZIONALI

Vegetative, productive and qualitative responses of Cv "Aurea" strawberries subjected to different nutritional inputs.

TESI SPERIMENTALE

Studente:
MIRCO MENIGATTI

Relatore:
PROF. FRANCO CAPOCASA

Correlatore:
DOTT.SSA MICOL MARCELLINI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

A mia moglie Anna Maria che mi supporta e mi sopporta

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE 5

ELENCO DELLE FIGURE 6

1 INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI 7

2 LA FRAGOLA 8

2.1 Tassonomia 8

2.2 Caratteristiche botaniche 8

2.3 Varietà 9

2.3.1 Varietà ottenute dai ricercatori dell'UNIPVM 10

2.3.2 La varietà "Aurea" 10

2.4 Gestione di macro e microelementi nella coltivazione 11

2.4.1 Macroelementi 11

2.4.2 Microelementi 12

2.5 Valori nutrizionali 12

3 LE COLTIVAZIONI FUORI SUOLO 14

3.1 Tipologie 14

3.2 Vantaggi e criticità 16

3.3 La fragolicoltura fuori suolo 16

4 MATERIALI E METODI 18

4.1 Sistema di coltivazione 18

4.2 Schema sperimentale e campionamento 20

4.3 Parametri vegetativi **21**

4.4 Parametri produttivi **21**

4.5 Parametri qualitativi **22**

4.5.1 Colore del frutto 22

4.5.2 Consistenza della polpa 22

4.5.3 Residuo secco rifrattometrico (RSR) ed acidità titolabile 23

4.6 Parametri nutrizionali **23**

4.6.1 Estrazione delle molecole con funzione antiossidante 23

4.6.2 Quantificazione dei polifenoli totali 23

4.6.3 Dosaggio degli antociani (pH shift method) 24

4.6.4 Analisi della capacità antiossidante (TEAC) 24

4.7 Analisi statistica **25**

5 RISULTATI **26**

5.1 Parametri vegetativi **26**

5.2 Parametri produttivi **27**

5.3 Parametri qualitativi **29**

5.4 Parametri nutrizionali **30**

6 DISCUSSIONE **32**

BIBLIOGRAFIA **34**

RINGRAZIAMENTI **38**

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1. Composizione del substrato Grotec 21 18
Tabella 2. Analisi dell'acqua di irrigazione 19
Tabella 3. Composizione della soluzione madre 20
Tabella 4. Quadro d'insieme dei parametri studiati 26
Tabella 5. Dati produttivi medi delle annate 2021 e 2022 27
Tabella 6. Parametri qualitativi medi delle annate 2021 e 2022 29
Tabella 7. Parametri nutrizionali medi dell'annata 2021 30

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1. Morfologia di una tipica pianta di fragola. 8
Figura 2.Architettura della pianta di fragola. 9
Figura 3. Cultivar "Aurea" 11
Figura 4. Sistemi di fertirrigazione a ciclo chiuso e a ciclo aperto. 14
Figura 5. Bag culture. 15
Figura 6. Il sistema di coltivazione "Up & Down". 17
Figura 7. Coltivazione "Tabletop" presso l'azienda agricola Concetti 18
Figura 8. Linee di fertirrigazione con relative pompe 20
Figura 9. Schema del campionamento 21
Figura 10. Valutazione della consistenza dei frutti con penetrometro digitale 22
Figura 11. Altezza espressa in cm delle piante di fragola in due differenti time points nelle due annate 2021 e 2022 ± errore standard. 26
Figura 12. Numero medio delle foglie di fragola in due differenti time points nelle due annate 2021 e 2022 ± errore standard. 27
Figura 13. Peso medio ponderato del frutto (g). I dati sono presentati come media di due anni (2021-2022) ± errore standard. 28
Figura 14. Produzione totale (g/pianta). I dati sono presentati come media di due anni (2021-2022) ± errore standard. 28
Figura 15. Incremento significativo della consistenza dei frutti da piante fertirrigate con soluzione nutritiva T800. Dati medi anni 2021 e 2022 ± errore standard 29
Figura 16. Differenza statisticamente significativa dell'attività antiossidante in estratti di frutti da piante fertirrigate con soluzione nutritiva T800 e T1200 rispetto a quelle con T400 31

1 INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

L'interesse del mercato verso i piccoli frutti in generale e la fragola in particolare è in forte crescita grazie al riconoscimento da parte del consumatore della loro qualità sensoriale e nutrizionale. Infatti, questi frutti, ricchi di antiossidanti, vitamine, minerali e fibre, non dovrebbero mancare in una alimentazione sana ed equilibrata.

La tecnica colturale della fragola ha subito una costante evoluzione negli ultimi venti anni. Alla tradizionale coltura in pieno campo si sono affiancati sistemi di coltivazione fuori suolo in serra (López-Medina, Peralbo and Flores, 2003) al fine di ampliare il calendario di produzione e fornire nuove possibilità di guadagno per gli operatori della fragolicoltura.

L'obiettivo dello studio descritto in questa tesi è stato quello di valutare l'impatto di differenti protocolli di fertirrigazione nella coltivazione fuori suolo di fragole Cv "Aurea". Sono state valutate le risposte vegetative delle piante, la loro produttività ed inoltre sono state effettuate sul raccolto analisi merceologiche (colore, consistenza), organolettiche (acidità, grado zuccherino) e nutrizionali (quantificazione del contenuto di polifenoli totali ed antociani, analisi della capacità antiossidante). I ricercatori dell'area di frutticoltura e arboricoltura del D3A-UNIVPM hanno pubblicato diversi lavori scientifici sulla coltivazione fuori suolo della fragola (Capocasa et al., 2021b; 2021a; Ilari et al., 2021) e questo studio rappresenta un ulteriore approfondimento di questo interessante argomento di ricerca.

2 LA FRAGOLA

2.1 Tassonomia

La Fragola è una pianta che appartiene alla famiglia delle *Rosacee*, sottofamiglia *Rosoidae*, genere *Fragaria*. Al genere *Fragaria* appartengono numerose specie diffuse in tutte le zone ad eccezione dei continenti africano e australiano. In Europa la più diffusa è la *Fragaria vesca,* specie diploide (2n = 2× = 14) nota come fragola o fragolina di bosco di cui esistono numerosi biotipi. La specie ottoploide *Fragaria* × *ananassa* (2n = 8× = 56), a cui appartengono tutte le attuali varietà coltivate, è un ibrido interspecifico originatosi oltre due secoli orsono per incrocio fra due specie ottoploidi dioiche: la *Fragaria virginiana,* specie spontanea proveniente dagli Stati Uniti Orientali, e la *Fragaria chiloensis*, anch'essa spontanea originaria delle coste cilene del Pacifico.

2.2 Caratteristiche botaniche

La fragola è una pianta perenne costituita da un apparato radicale, da un fusto (germoglio o corona) e da un apparato fogliare *(Figura 1)*.

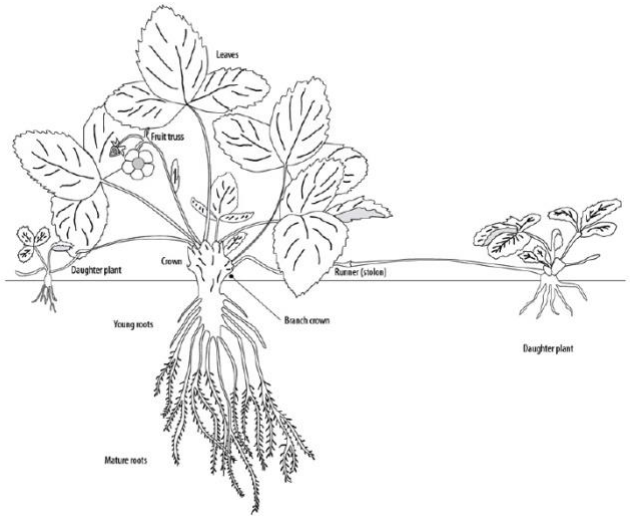

Figura 1. Morfologia di una tipica pianta di fragola. Tratto da Trejo-Téllez and Gómez-Merino (2014)

Le radici sono fascicolate, si sviluppano per la maggior parte nei primi 25-30 cm di suolo, hanno funzione di assorbimento degli elementi nutritivi e di immagazzinamento delle sostanze di riserva.

La corona sporge dal terreno fino a 10 cm ed è anch'esso un organo di riserva. Le foglie, composte da tre foglioline riunite a rosetta, sono inserite su un picciolo di lunghezza variabile ed

alla cui base si formano delle gemme che a seconda del fotoperiodo e dei valori di temperatura potranno dare origine ad infiorescenze, germogli di accestimento o stoloni *(Figura 2)* (Savini et al., 2005).

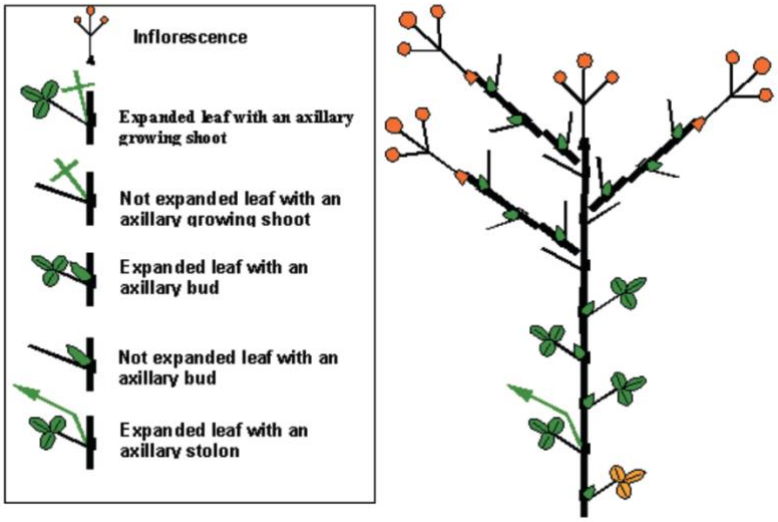

Figura 2.Architettura della pianta di fragola. Tratto da Savini et al. (2005)

Le infiorescenze a racemo sono costituite da un numero variabile di fiori collocati su assi con lunghezze differenti suddivisi in primari, secondari, terziari. Il fiore, nelle varietà coltivate, è generalmente ermafrodita ed è costituito da un calice con 5 o più sepali, una corolla composta per lo più da 5 petali bianchi, numerosi stami inseriti alla periferia di un ricettacolo alla cui estremità sono inseriti i pistilli disposti a spirale.

Il frutto edule della fragola è in realtà un'infruttescenza (falso frutto) che si origina dall'ingrossamento del ricettacolo a seguito della fecondazione e sul quale sono inseriti gli acheni (i frutti veri) in numero variabile da 100 a 300. Affinché il frutto si sviluppi con una forma regolare, è necessario che siano fecondati tutti i pistilli, in caso contrario può originarsi un frutto malformato o deformato con conseguente deprezzamento commerciale. Risulta quindi importante evitare tutte le condizioni che possano sfavorire una corretta impollinazione quali sbalzi termici eccessivi, scarso arieggiamento, eccessiva vigoria delle piante, scarsa presenza di insetti pronubi.

2.3 Varietà

Le cultivar di fragola sono classificate, oltre che in base alle caratteristiche pomologiche e delle infruttescenze, anche in base al fotoperiodo, in:

- Brevidiurne (Short Day) o June bearers– Unifere
- Neutrodiurne (Day Neutral) – Rifiorenti
- Longidiurne (Long Day) – Rifiorenti (non coltivate)

Le unifere (brevidiurne) necessitano per la fase di induzione-differenziazione a fiore di un fotoperiodo con meno di 12 ore di luce e temperature inferiori a 15-16 °C (la differenziazione comunque non avviene a temperature superiori a 30°C). Le cultivar rifiorenti (neutrodiurne) sono indifferenti al fotoperiodo, mentre sono condizionate dalla temperatura che se superiore a 30° determina l'arresto della fase di differenziazione e favorisce la fase vegetativa.

In base al periodo di maturazione le cultivar possono essere inoltre distinte in:

- Cultivar a maturazione precoce
- Cultivar a maturazione intermedia
- Cultivar a maturazione tardiva
- Cultivar a maturazione molto tardiva

2.3.1 *Varietà ottenute dai ricercatori dell'UNIPVM*

Il programma di miglioramento genetico fragola del D3A-UNIVPM ha portato al rilascio di diverse varietà ("Adria", "Sveva", "Cristina" e "Romina"). "Romina" è una cultivar unifera a maturazione precoce e di media pezzatura mentre "Cristina" (anch'essa unifera) è a maturazione tardiva e di grossa pezzatura (Capocasa et al., 2016). Recentemente, inoltre, sono state prodotte "Dina", varietà unifera a basso fabbisogno in freddo adatta al sud Italia, e 3 varietà unifere adatte agli ambienti settentrionali: "Francesca", "Lauretta" e "Silvia" (Mezzetti et al., 2021).

2.3.2 *La varietà "Aurea"*

In Italia sono presenti diverse aziende private che operano nel campo della selezione di nuove varietà che coniughino produttività, qualità del frutto e resistenza alle principali malattie. La New Fruits, sita a Savana (Ra), ha selezionato, oltre a numerose varietà che hanno riscosso un buon successo (tra le quali "Alba", "Asia", "Roxana"), la varietà "Aurea" (Fragolaurea NF149).

"Aurea" è una varietà unifera, è rustica, di buon vigore ed è in grado di raggiungere ottimi livelli produttivi. L'epoca di raccolta è precoce e prolungata fino a coprire quasi interamente l'intero calendario di raccolta delle fragole unifere. Il frutto *(Figura 3)* si presenta di forma conica uniforme, è di colore rosso brillante e raggiunge una buona pezzatura (25 g). Le caratteristiche organolettiche sono buone, consistenza e shelf-life elevate. La sua adattabilità in coltivazioni fuori suolo in serra si è dimostrata eccellente (Capocasa et al., 2021b).

Figura 3. Cultivar "Aurea" (foto tratta dal sito web di Geoplant vivai: http://www.geoplantvivai.com)

2.4 Gestione di macro e microelementi nella coltivazione

Un apporto equilibrato di acqua e nutrienti è fondamentale per il buon esito produttivo e qualitativo della coltura (Stefanelli, Goodwin and Jones, 2010). Nella moderna fragolicoltura, sia su suolo che fuori suolo, la fertirrigazione consente di gestire le concentrazioni di macro e macroelementi nella soluzione circolante a disposizione dell'apparato radicale. Ciò al fine di evitare da un lato l'instaurarsi di condizioni di carenza, dall'altro un'eccessiva salinità del suolo o del substrato di coltivazione. La fragola è molto sensibile alle variazioni di salinità (Barroso and Alvarez, 1997), ragione per cui deve essere costantemente monitorata la conducibilità elettrica o EC (Electrical Conductivity) della soluzione nutritiva, del terreno o del substrato.

2.4.1 *Macroelementi*

L'azoto (N) è l'elemento più limitante per la produzione delle colture (Taiz and Zeiger, 2010). La disponibilità di azoto nelle zone occupate dalle radici è molto importante per lo sviluppo vegetativo delle piante di fragola, la produzione di stoloni e la formazione di germogli (Trejo-Téllez and Gómez-Merino, 2014). Particolarmente nel periodo che va tra la fine della fioritura ed il raccolto vi è un elevato fabbisogno di azoto, mentre nel periodo successivo al trapianto una eccessiva supplementazione di tale elemento può avere effetti negativi sullo sviluppo delle piante (Neuweiler, 2001). Inoltre un eccesso di azoto tende a deprimere l'induzione a fiore favorendo lo sviluppo degli stoloni (Cantliffe, Castellanos and Paranjpe, 2007). Per quel che riguarda invece la correlazione tra

parametri qualitativi nel raccolto e differente disponibilità di N in coltura, i dati in letteratura appaiono discordanti e Cultivar specifici (Nestby et al., 2005).

Al fosforo (P), oltre all'importanza nelle prime fasi dello sviluppo delle colture nel garantire una buona radicazione e crescita delle foglie, è stato attribuita la capacità di aumentare il grado zuccherino, la concentrazione di antociani e la consistenza delle fragole se presente nella soluzione di fertirrigazione in forma di fosfito oltre che di fosfato (Estrada-Ortiz et al., 2013).

Per altri due macroelementi, potassio (K) (di cui il 60% della quota assorbita è presente nei frutti) (Baldi et al., 2003) e magnesio (Mg), sono state riportate delle manifestazioni da carenza in cui i frutti risultano meno intensamente colorati e con caratteristiche organolettiche mediocri (Ulrich, Mostafa and Allen, 1992).

Il calcio (Ca) aumenta lo spessore della parete cellulare contribuendo quindi al mantenimento della compattezza dei frutti (Easterwood, 2002). Oltre ad avere effetti positivi sulla crescita delle piante, aumenta infatti la conservabilità delle fragole (Motamedi, Jafarpour and Shams, 2013). Inoltre la supplementazione di Ca è in grado di contrastare gli effetti negativi della salinità sulla crescita delle piante e sulla produttività (Kaya et al., 2002).

2.4.2 *Microelementi*

I microelementi svolgono importanti funzioni nel metabolismo delle piante. Un insufficiente assorbimento di ferro (Fe) e zinco (Zn) determina clorosi fogliare e riduzione del calibro e del numero dei frutti (Lieten, 2001; Hafeez, Khanif and Saleem, 2013). Il boro (B) ed il molibdeno (Mo) sono altri due micronutrienti di una certa importanza particolarmente per i caratteri qualitativi delle fragole. E' stato osservato che una supplementazione eccessiva di boro, pur determinando un aumento delle foglie e della superficie delle stesse, può correlarsi con una diminuzione del contenuto di vitamina C e zuccheri nei frutti (Abdollahi, Eshghi and Tafazoli, 2010). Al contrario è stato visto che correggendo stati carenziali di molibdeno si ottengono frutti più ricchi di vitamina C e zuccheri (Nestby et al., 2005)

2.5 Valori nutrizionali

Le fragole sono costituite principalmente da acqua (91%) e carboidrati (7,7%) mentre le percentuali di lipidi e di proteine sono ridotte (rispettivamente 0.3% e 0.7%). Il loro apporto calorico ridotto (circa 32 kcal per 100 g) e la buona quantità in fibre (2.4 g/100g) ne fanno un alimento a basso indice glicemico (Mazzoni et al., 2013) e quindi consigliabile anche a pazienti affetti da diabete di tipo 2. Le fragole sono anche una buona fonte di minerali quali manganese, iodio, magnesio, rame, ferro e fosforo. Per quanto riguarda il contenuto vitaminico risultano buone le quantità di vitamina C (60mg/100g) e di folati (20-25 μg / 100g) (Tulipani et al., 2008) e la valutazione della loro concentrazione è un parametro di riferimento per il confronto ed il

miglioramento genetico delle varietà commerciali (Mezzetti et al., 2018). La capacità antiossidante della fragole oltre che al contenuto in vitamina C è correlata anche alla loro ottima concentrazione di polifenoli (Halvorsen et al., 2002). Questi ultimi rappresentano una classe eterogenea di composti biologicamente attivi. I polifenoli maggiormente presenti nella fragola sono i flavonoidi (principalmente antocianine, in secondo luogo flavonoli e flavanoli), vi sono poi tannini idrolizzabili e costituenti minori quali gli acidi fenolici ed i tannini condensati (Giampieri et al., 2012).

3 LE COLTIVAZIONI FUORI SUOLO

3.1 Tipologie

La coltura fuori suolo è una moderna tecnologia applicata principalmente nelle serre che si è sviluppata rapidamente negli ultimi 30-40 anni. Con questo sistema si può ovviare a condizioni poco idonee alla coltivazione quali scarsa fertilità, salinità, malattie trasmesse dal suolo stesso (Savvas et al., 2013). Il rifornimento di acqua e sali minerali, in assenza di suolo, avviene attraverso una soluzione nutritiva gestita mediante due tipi di sistemi *(Figura 4):*

- Sistema a ciclo chiuso che permette di recuperare il drenato e di riutilizzarlo più volte in uno stesso ciclo produttivo
- Sistema a ciclo aperto in cui le acque di drenaggio non vengono recuperate ma fatte drenare nel suolo o gestite come reflui.

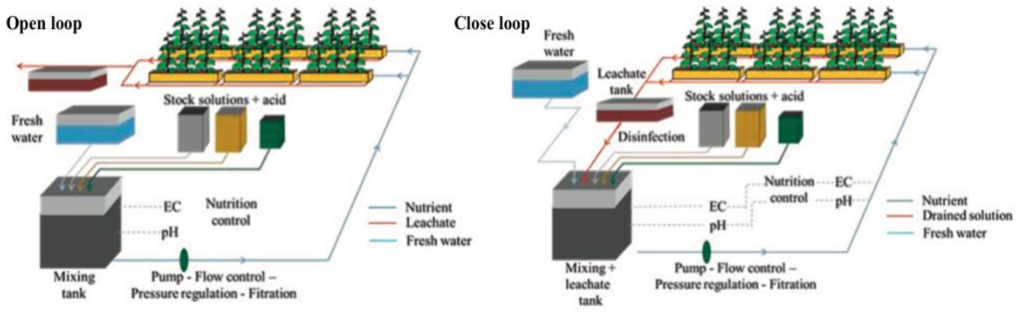

Figura 4. Sistemi di fertirrigazione a ciclo chiuso e a ciclo aperto. Tratto da Savvas et al., (2013)

Attualmente sono maggiormente diffusi gli impianti che utilizzano sistemi aperti, in quanto più semplici da gestire rispetto ai sistemi a ciclo chiuso. Questi ultimi sistemi, infatti, benché consentano un più efficiente l'utilizzo dell'acqua e dei concimi, necessitano di una serie di componenti addizionali quali vasche di drenaggio, filtri, sterilizzatori e sensori per la valutazione dei parametri di qualità del drenato (Savvas and Gruda, 2018).

Sulla base delle diverse tecniche usate, le coltivazioni fuori suolo possono essere catalogate in:

- Coltivazioni idroponiche: la radice è immersa direttamente nella soluzione nutritiva.
- Coltivazioni aeroponiche: la soluzione nutritiva viene diffusa alle radici per nebulizzazione.
- Coltivazione su substrato con irrigazione a goccia o subirrigazione.

Le tecniche basate sull'uso di un substrato solido sono le più diffuse in quanto permettono l'ancoraggio della pianta garantendone stabilità durante l'intero ciclo produttivo (Fussy and Papenbrock, 2022). Vi sono substrati di diversa natura:

- Organici: fibra di cocco, corteccia, lolla di riso, torba
- Inorganici: pomice, sabbia, argilla espansa, perlite, vermiculite, lana di roccia

Le coltivazioni vengono effettuate su bancali, canalette o più frequentemente usando sacchi in polietilene, vasi o vaschette riempibili con i substrati prescelti o già preconfezionati (bag culture) *(Figura 5)*

Figura 5. Bag culture. Tratto da https://cococoirglobal.com

3.2 Vantaggi e criticità

Attualmente le coltivazioni fuori suolo vengono impiegate prevalentemente nella produzione di pomodori, cucurbitacee, lattuga e ortaggi a foglia, peperoni, fragole, meloni e piante ornamentali (Fussy and Papenbrock, 2022). Queste tecniche, in confronto alle coltivazioni tradizionali, offrono degli indubbie benefici benché non siano prive di alcune criticità (Savvas et al., 2013; Hussain et al., 2014; Putra and Yuliando, 2015). Tra i vantaggi si hanno:

- Possibilità di ottenere rese elevate e di buona qualità anche in aree caratterizzate da suoli salini o sodici.
- Standardizzazione delle produzioni
- Maggiore precocità ed ampliamento del calendario di raccolta
- Minore incidenza di malattie e gestione più semplificata di esse
- Riduzione del consumo idrico
- Uso efficiente dei concimi e migliore gestione della nutrizione della pianta
- Razionalizzazione del lavoro ed operazioni di raccolta meno onerose

Tuttavia esistono degli svantaggi che ne possono limitare l'espansione:

- Costi d'impianto elevati
- Esigenza di personale tecnico specializzato
- Necessità di disporre di acqua di buona qualità
- Maggior uso di materiali difficili da riciclare

Nei sistemi di coltivazione fuori suolo, le maggiori criticità sono l'individuazione della composizione in macro e micronutrienti della soluzione di fertirrigazione più idonea per la coltura ed una programmazione razionale del turno e del volume irriguo (Balliu et al., 2021). Risulta inoltre fondamentale la valutazione di parametri quali il pH e la conducibilità elettrica (EC) nell'acqua che funge da solvente nella soluzione nutriva dato che entrambi influenzano le capacità di assorbimento delle colture (De Kreij, Voogt and Baas, 2003).

3.3 La fragolicoltura fuori suolo

Le prime coltivazioni di fragola fuori suolo risalgono all'inizio degli anni '80 in Olanda (Rathod, Patel and Chakraborty, 2021) come alternativa all'uso del bromuro di metile, allora largamente usato per contenere la maggioranza dei patogeni e parassiti della fragola coltivata su suolo. Nel tempo la produzione fuori suolo delle fragole ha avuto un forte sviluppo. La possibilità di fare un

uso molto limitato di agrofarmaci, la riduzione della manodopera necessaria nelle operazioni di raccolta e la maggiore versatilità nell'attuazione di colture fuori stagione hanno infatti suscitato un grande interesse presso i fragolicoltori (Angelini, 2010). La ricerca scientifica supporta la moderna fragolicoltura fuori suolo per consentire raccolti sempre più abbondanti, protratti nel tempo e di qualità. Tali obiettivi vengono perseguiti valutando la composizione delle soluzioni nutritive (Zucchi et al., 2015; Adak, 2019), le prestazioni ottenibili su substrati diversi (Palencia et al., 2016; Adak, Tozlu and Gubbuk, 2018), l'adattabilità delle cultivar a questa tipologia di coltivazione (Liu et al., 2016; Capocasa et al., 2021b). Inoltre un numero sempre crescente di aziende fa ricorso a soluzione tecnologiche innovative. Tra queste grande interesse ha suscitato il sistema "Up & Down" *(Figura 6)*, sviluppato dalla ditta Europrogress di Mirandola (Mo), che prevede l'uso di piani mobili di coltivazione consentendo un incremento della produzione al metro quadro in serra.

Figura 6. Il sistema di coltivazione "Up & Down". Tratto da https://www.europrogress.it

4 MATERIALI E METODI

4.1 Sistema di coltivazione

Le fragole varietà "Aurea" sono state coltivate in modalità fuori suolo in serra presso l'azienda agricola Concetti sita a Montefiore dell'Aso (AP) in Via Valdaso 71. Piante frigo-conservate A^+ sono state coltivate su sacchi di substrato professionale Grotec 21 (Agrochimica) della lunghezza di un metro ad una densità di 10 per singolo sacco. La composizione del substrato è riportata in *Tabella 1*

Composizione	
Cocco	medium extra coarse
Torba bionda da mattonella	0-25 mm
Torba bionda da mattonella	10-25 mm
Torba bionda da mattonella	20-40 mm
Struttura	media grossa
pH	5,5 - 6,5

Tabella 1. Composizione del substrato Grotec 21

I sacchi Grotec 21 sono state appoggiati su canaline rialzate da terra realizzando un sistema di coltivazione "Tabletop" *(Figura 7).*

Figura 7. Coltivazione "Tabletop" presso l'azienda agricola Concetti

È stato usato un sistema di fertirrigazione a ciclo aperto con erogazione della soluzione nutritiva alle piante per mezzo di gocciolatoi e senza il recupero della quota drenata dai moduli di coltivazione. Frequenza e volumi irrigui, estremamente variabili in base alle fasi fenologiche della coltura e delle temperature, sono stati gestiti dall'agricoltore sulle base delle informazioni fornite dalle misure della conducibilità elettrica (EC) e della quantità del drenato.

Preliminarmente alla formulazione della soluzione nutritiva concentrata è stato eseguito un campionamento dell'acqua irrigua da cui sono stati ottenuti i dati analitici riportati nella *Tabella 2*

Parametro	**U.M.**	**Valore**
Reazione	pH	7.14
E.C	µS/cm	599
Calcio (Ca)	mg/l	95.4
Sodio (Na)	mg/l	20.1
Magnesio (Mg)	mg/l	18.8
Manganese (Mn)	mg/l	0.1
Potassio (K)	mg/l	4.2
Cloruri (Cl)	mg/l	26.3
Nitrati (NO_3)	mg/l	22.19
Nitriti (NO_2)	mg/l	<0.1
Solfati (SO_4)	mg/l	61.2
Fosfati (PO_4)	mg/l	<0.1
Carbonati (CO_3)	mEq/l	<0.1
Bicarbonati (HCO_3)	mEq/l	5.4

Tabella 2. Analisi dell'acqua di irrigazione (U.M. =Unità di Misura)

La sperimentazione è consistita nel valutare gli effetti sulle piante di tre soluzioni di fertirrigazione a differente concentrazione di nutrienti. Partendo dalla medesima soluzione madre concentrata *(Tabella 3)* ed operando diverse diluizioni tramite un banco di fertirrigazione (Netafim, Rapallo) *(Figura 8)* sono state realizzate le tre differenti soluzioni nutritive: T400, T800, T1200 vale a dire con conducibilità elettrica di 400 µS/cm, 800 µS/cm e 1200 µS/cm (tutte al netto della EC dell'acqua di irrigazione).

Concime	Vasca A (kg)	Vasca B (kg)	Vasca C (kg)
Nitrato di calcio	13		
EDDHA 6%	2,796		
Nitrato di potassio		5	
Solfato di monopotassio		41	
Solfato di potassio		13	
Solfato di magnesio		12	
Microsol 680		1	
Acido nitrico (50%)			56

Tabella 3. Composizione della soluzione madre (quantitativo per 1000 l)

Figura 8. Linee di fertirrigazione con relative pompe

4.2 Schema sperimentale e campionamento

All'interno della serra erano presenti sei file di table tops. Nella prima e nella seconda le piante sono state fertirrigate con la soluzione nutritiva T400, nella terza e nella quarta con la T1200, nella quinta e nella sesta con la T800. Per ogni fila il campionamento è stato effettuato su due parcelle consecutive (ciascuna contenente 10 piante) *(Figura 9)* per un totale di 4 parcelle per tesi.

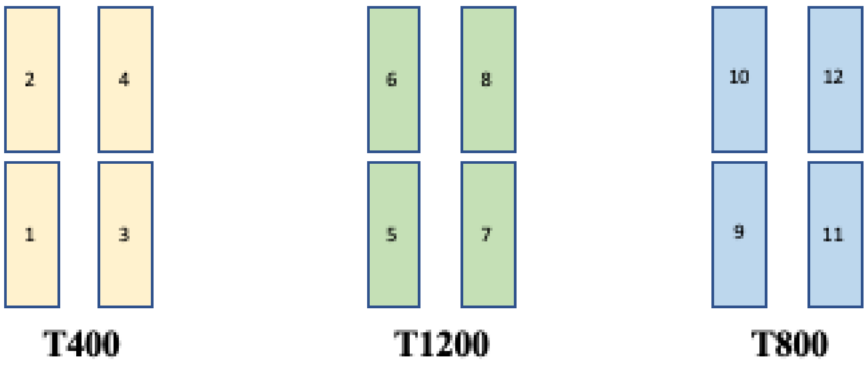

Figura 9. Schema del campionamento

4.3 Parametri vegetativi

Sono state rilevate l'altezza delle piante (misurata *in loco*) ed il numero delle foglie per pianta.

4.4 Parametri produttivi

In ogni operazione di raccolta i frutti sono stati suddivisi nelle seguenti categorie:

- frutti commerciabili (diametro ≥ 22 mm, sani e integri)
- frutti deformi (forma non regolare o presenza di spaccature)
- frutti sottomisura (diametro < 22 mm)
- frutti marci

Sono state annotate, per ogni categoria, il peso ed il numero di frutti in modo da rilevare per ogni sacco (parcella) la produzione totale, quella commerciale, quella di scarto. Inoltre, per ogni parcella, sono stati pesati 20 frutti, scelti a caso fra i commerciabili, per poter calcolare il peso medio del frutto.

Il peso medio ponderato del frutto (**PMP**) è stato calcolato usando la formula:

$$\mathbf{PMP = \Sigma\ (p\ x\ q)\ /\ Q}$$

in cui **p** = peso medio del frutto di una raccolta; **q** = produzione commerciale della stessa raccolta; **Q** = produzione commerciale di tutte le raccolte;

4.5 Parametri qualitativi

Ad ogni raccolta, un campione omogeneo costituito da 10 frutti da ogni parcella è stato analizzato per determinarne i parametri qualitativi di seguito riportati.

4.5.1 *Colore del frutto*

L'analisi è stata effettuata su due punti diametralmente opposti di ognuno dei frutti con un colorimetro automatico a riflettanza (Chroma-Meter CR-400 Konica-Minolta, Japan) che scompone il colore nello spazio colorimetrico L*, a*, b*. I parametri misurabili sono infatti la brillantezza L* (L* = 0 indica il colore bianco, mentre L = 100 il nero) e le coordinate cromatiche che vanno ad identificare la tinta del colore del frutto: a* indica la tonalità rossa (0 +60) o verde (0 -60), mentre b* rappresenta la tonalità gialla (0; +60) o blu (-60).

Attraverso le coordinate cromatiche a* e b* viene calcolato il Chroma (C*) secondo la formula $[(a^*)^2+(b^*)^2)]^{1/2}$. Il Chroma (C*) misura la saturazione del colore: valori di C* elevati indicano colori più vividi, mentre valori meno elevati sono caratteristici di colori opachi e più spenti.

4.5.2 *Consistenza della polpa*

Su ogni frutto sono state effettuate due misurazioni usando un penetrometro digitale (Digital fruit firmness tester Tr Turoni, Forlì) con puntale a stella del diametro di 6 mm *(Figura 10)*. Il puntale a stella, piuttosto che quello piatto, contrasta l'elasticità dell'epidermide della fragola consentendo un'accurata valutazione della consistenza della polpa che viene espressa in g/cm^2.

Al termine i frutti sono stati posti a -20° C in attesa delle successive determinazioni qualitative.

Figura 10. Valutazione della consistenza dei frutti con penetrometro digitale

4.5.3 *Residuo secco rifrattometrico (RSR) ed acidità titolabile*

Queste misurazioni sono state effettuate sul succo filtrato ottenuto mediante spremitura manuale dei frutti previamente scongelati.

Brevemente il RSR è stato determinato utilizzando un rifrattometro digitale (Atago Palette PR-101 α, Japan) a compensazione della temperatura. La percentuale di solidi solubili (essenzialmente zuccheri) nel campione viene espressa in gradi Brix (°Bx).

La misurazione dell'acidità titolabile è stata effettuata mediante una titolazione manuale che si basa sull'uso del blu di bromotimolo come indicatore di pH (giallo in soluzione acida, blu in soluzione basica). NaOH 0.1N è stato aggiunto ad una soluzione costituita da 10 ml di succo, 10 ml di acqua ed alcune gocce di blu bromotimolo fino ad ottenerne il viraggio di colore da giallo a verde/blu (pH 7.3). La quantità di soluzione titolante impiegata consente di esprimere l'acidità titolabile del campione come milliequivalenti di NaOH in 100g di succo (meq/100g)

4.6 Parametri nutrizionali

4.6.1 *Estrazione delle molecole con funzione antiossidante*

Campioni di fragola, conservati a -20, sono stati sottoposti ad una doppia estrazione con metanolo. Brevemente 10 g di frutta sono stati omogeneizzati, in tubi da 50ml in presenza di 20 ml di metanolo, usando un Ultra-Turrax T 25 (Janke & Kunkel, IKA-Labortechnik) per 20/30 secondi. Gli omogenati ottenuti sono stati posti su di un agitatore rotante per 30 minuti e successivamente centrifugati a 4°C per 10 minuti ad un regime di 4000 rpm. Dopo aver prelevato 1 ml di sovranatante è stata effettuata una seconda estrazione aggiungendo altri 20 ml di metanolo al precipitato poi sottoposto ad agitazione e centrifugazione usando le stesse condizioni descritte per la prima estrazione. Anche in questo caso è stati prelevato 1 ml di estratto che è stato aggiunto a quello precedentemente ottenuto e posto in fiale ambrate a -20°C. Tutte le procedure descritte sono state effettuate cercando di minimizzare il più possibile l'esposizione alla luce essendo le molecole estratte fotosensibili. Gli estratti così ottenuti sono stati utilizzati per i dosaggi descritti di seguito.

4.6.2 *Quantificazione dei polifenoli totali*

La determinazione spettrofotometrica è stata effettuata usando il reagente di Folin-Ciocalteu (una miscela miscela di fosfomolibdato di sodio e fosfotungstato di sodio) (Singleton, Orthofer and Lamuela-Raventós, 1999). Il metodo si basa su una reazione di ossidoriduzione a seguito della quale il molibdeno e il tungsteno vengono ridotti a numero di ossidazione +4 e +5 con formazione di un cromoforo di colore blu la cui intensità dipende dalla concentrazione dei composti fenolici nel campione (Agbor, Vinson and Donnelly, 2014). In breve in un tubo contenente 7,0 mi di acqua ed 1 ml dell'estratto diluito (1:20), sono stati aggiunti di 500 µL di reagente di Folin-Ciocalteu

miscelando quindi mediante agitazione su vortex. Dopo 3 minuti, sono stati aggiunti 1,5 mL di carbonato di sodio (0,53 mol/l) con successiva incubazione al buio per 60 minuti. L'assorbanza del campione è stata quindi misurata alla lunghezza d'onda 760 nm e calcolata confrontandola con una curva di calibrazione ottenuta utilizzando acido gallico come standard. Le quantificazioni sono state espresse come mg di acido gallico per Kg di frutta.

4.6.3 *Dosaggio degli antociani (pH shift method)*

È stato effettuato usando un metodo colorimetrico basato sul differente spettro di assorbimento degli antociani in soluzione al variare del pH (Wrolstad, Durst and Lee, 2005). Soluzioni contenenti antociani appaiono infatti di colore arancione-porpora a pH 1 (antociani in forma di cationi flavilio), incolori a pH 4.5 (prevalenza delle forme pseudo-basiche costituite da carbinolo)

Sono state misurate allo spettrofotometro le assorbanze degli estratti, diluiti con soluzioni tampone a pH 1.0 (KCl 0,025M) e a pH 4.5 (Acetato di Sodio 0,4M) a due lunghezze d'onda: 520nm (A520) e 700nm (A700). La concentrazione degli antociani nei differenti campioni, espressa come mg di Pelargonidina-3-glucoside (Pel-3-glu) per ml di estratto, è stata calcolata utilizzando la seguente formula:

$$(A*MW*DF*1000) / \varepsilon*L$$

A= [(A520 – A700), pH1.0 – (A520 – A700), pH4.5];
MW: peso molecolare della Pel-3-glu = 433.2 g/mol;
DF: fattore di diluizione del campione;
ε: coefficiente di estinzione molare della Pel-3-glu = 15600 L/mol*cm;
L: larghezza della cuvetta usata per la lettura allo spettrofotometro = 1cm.

Moltiplicando il dato analitico per **E** (concentrazione del campione in Kg/l) si può esprimerlo in mg Pel-3-glu /Kg di frutta.

4.6.4 *Analisi della capacità antiossidante (TEAC)*

Il saggio si basa sulla capacità delle sostanze antiossidanti di decolorare soluzioni contenti acido 2,2'-azino-bis 3-etilbenzotiazolin-6-solfonico (ABTS) nella sua forma di radicale monocationico ABTS•+ (Miller et al., 1993). L'intensità di tale decolorazione viene valutata come diminuzione dell'assorbanza leggibile allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di 734 nm.

Il giorno prima dell'analisi è stata preparata una soluzione madre di ABTS•+ mediante ossidazione dell'ABTS (incolore) con persolfato di potassio ($K_2S_2O_8$) overnight. Per l'analisi in triplicato dei campioni, 100 µl dell'estratto di fragola (diluito 1:20 in PBS) sono stati miscelati con

1900 µl di soluzione di lavoro ABTS•+ (ottenuta mediante diluizione della soluzione madre tale da avere valori di assorbanza intorno a 0,7-0,8 a 734 nm) ed incubati 6 minuti al buio prima della lettura allo spettrofotometro. Analogamente una curva standard è stata allestita usando a posto del campione concentrazioni scalari (da 0,025 a 0,45 mM finali) di Trolox (un analogo idrosolubile della vitamina E).

L'attività antiossidante totale (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity - TEAC) dei campioni viene infatti espressa in µmoli di Trolox equivalenti /g frutta e quindi convertita in mg Trolox equivalenti in Kg di frutta.

4.7 Analisi statistica

I parametri vegetativi, produttivi, qualitativi e nutrizionali sono stati presentati come media ± errore standard. Il test **ANOVA** (**AN**alaysis **O**f VAriances) "one way" è stato utilizzato per determinare eventuali differenze statistiche tra le medie dei parametri produttivi, qualitativi e nutrizionali analizzati nelle tre condizioni sperimentali di fertirrigazione adottate. Nei casi in cui è stata rifiutata l'ipotesi nulla (consistenza dei frutti, attività antiossidante totale) è stata effettuata la procedura "post hoc" di Fisher denominata **LSD** (**L**east **S**ignificant **D**ifference = Differenza Minima Significativa) per comparare una ad una le diverse varianze nei tre gruppi in esame (StatSoft® Tulsa, USA)

5 RISULTATI

Le analisi riportate in questa tesi si riferiscono alla coltivazione fuori suolo in serra di fragole unifere Cv "Aurea" nelle annate 2021 e 2022. Nella *Tabella 4* sono riassunte le valutazioni effettuate e le relative date di campionamento.

	18/02/2021	25/03/2021	29/03/2021	01/04/2021	06/04/2021	17/02/2022	07/04/2022	14/04/2022	20/04/2022
Parametri vegetativi	✔	✔				✔			✔
Parametri produttivi e qualitativi			✔	✔	✔		✔	✔	✔
Parametri nutrizionali			✔	✔	✔		in progress	in progress	in progress

Tabella 4. Quadro d'insieme dei parametri studiati (segno di spunta = valutazioni effettuate al giugno 2022)

5.1 Parametri vegetativi

La *Figura 11* mostra come lo sviluppo in altezza delle piante, in entrambe le annate di coltivazione, non risenta della differente soluzione nutritiva usata nella fertirrigazione delle parcelle.

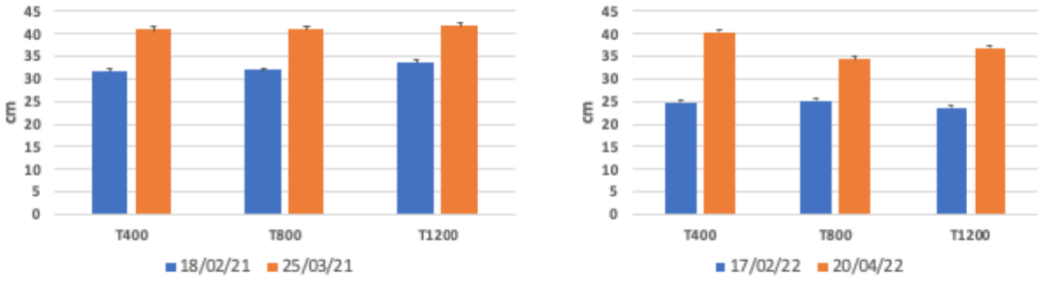

Figura 11. Altezza espressa in cm delle piante di fragola in due differenti time points nelle due annate 2021 e 2022 ± errore standard.

Allo stesso modo non sono state riportate differenze evidenti nel numero delle foglie come mostrato dalla *Figura 12*.

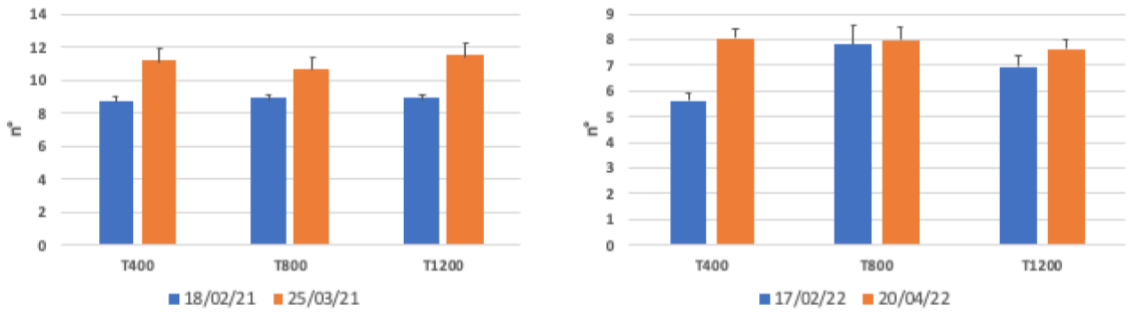

Figura 12. Numero medio delle foglie di fragola in due differenti time points nelle due annate 2021 e 2022 ± errore standard.

5.2 Parametri produttivi

La *Tabella 5* mostra l'analisi dei parametri produttivi ottenuta facendo le medie ± errore standard dei dati dai campionamenti effettuati nelle annate 2021 e 2022.

Fertirrigazione	**Peso Medio Ponderato Frutto (g)**	**Produzione Totale (g/pianta)**	**Produzione Commerciale (g/pianta)**
T400	21.2 ± 0.7 ns	229 ± 14.0 ns	185.7± 11.2 ns
T800	22.4 ± 1.2 ns	238.5 ± 25.6 ns	201.9 ± 24.0 ns
T1200	22.7 ± 1.0 ns	255.4 ± 12.8 ns	213.1 ± 13.2 ns

Tabella 5. Dati produttivi medi delle annate 2021 e 2022 ± errore standard (ns=differenza non significativa al test Anova "one way")

I dati riguardanti i parametri produttivi sono mostrati graficamente in *Figura 13* ed in *Figura 14.* Anche in questo caso ai trattamenti non si associano differenze significative pur se un lieve aumento della produzione commerciabile si osserva nelle parcelle trattate con percentuali crescenti di macro e microelementi nella soluzione nutritiva.

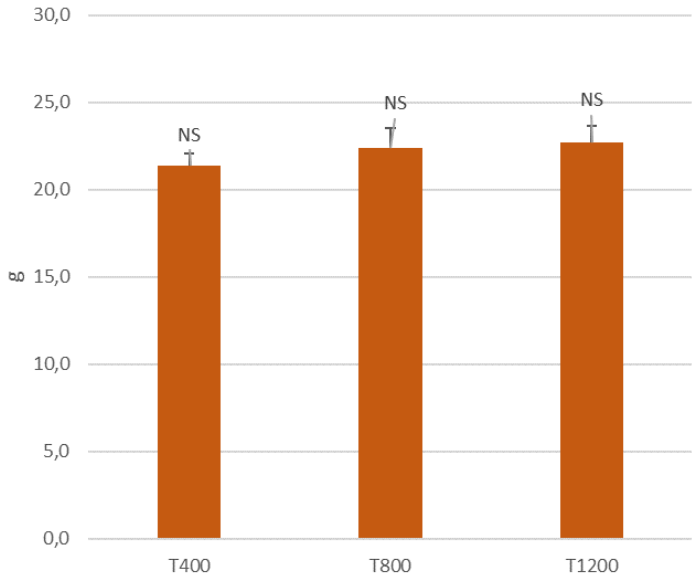

Figura 13. Peso medio ponderato del frutto (g). I dati sono presentati come media di due anni (2021-2022) ± errore standard. (NS=differenza non significativa al test Anova "one way")

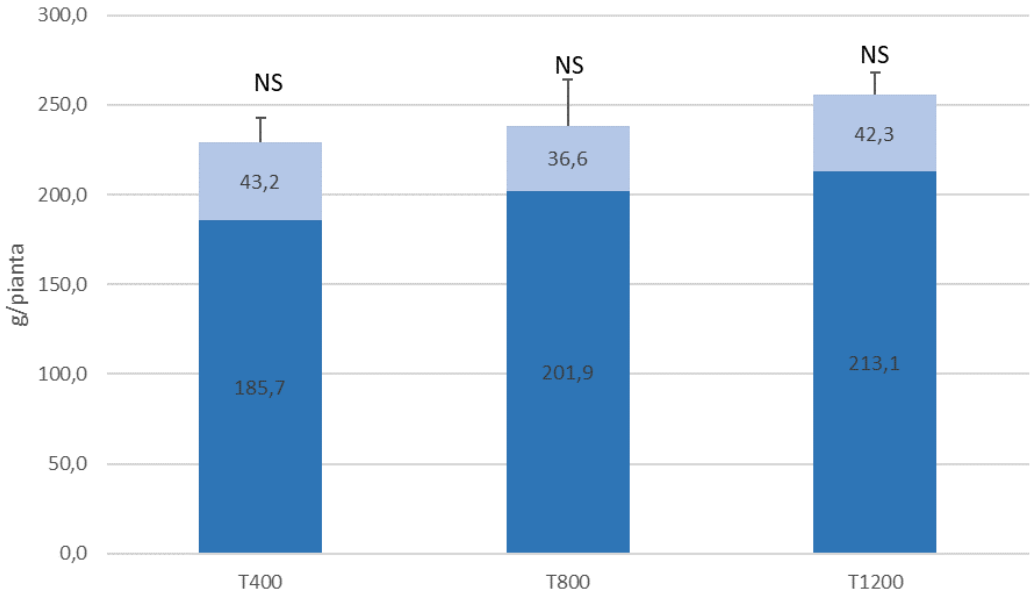

Figura 14. Produzione totale (g/pianta). I dati sono presentati come media di due anni (2021-2022) ± errore standard. (NS =differenza non significativa al test Anova "one way"; azzurro= produzione commerciabile, celeste= non commerciabile).

5.3 Parametri qualitativi

Anche per i parametri qualitativi sono stati analizzati i dati sui frutti campionati nel 2021 e nel 2022. Medie ± errore standard. dei dati qualitativi, analizzati in relazione alla differente soluzione nutritiva usata nella fertirrigazione, sono riassunti nella *Tabella 6.*

Soluzione nutritiva	Solidi solubili (°Brix)	Acidità titolabile (mEq NaOH/100g)	Consistenza (g/cm^2)	Brillantezza (L*)	Indice Chroma
T400	8.37±0.2 ns	11.6±0.3 ns	533± 9.0 b	41.15±0.2 ns	53.85±0.2 ns
T800	7.97±0.2 ns	11.49±0.3 ns	580.9 ±9.0 a	41.63±0.2 ns	54.64±0.2 ns
T1200	8.58±0.1 ns	11.49±0.2 ns	513.7 ±7.5 b	42.01±0.2 ns	55.15± 0.2 ns

Tabella 6. Parametri qualitativi medi delle annate 2021 e 2022 (media ± errore standard; ns=differenza non significativa al test Anova "one way", valori indicati con lettere diverse nella stessa colonna differiscono tra di loro in maniera significativa: p ≤ 0.05 al post hoc test LSD di Fisher,)

Appare evidente che le fragole Cv "Aurea", le cui caratteristiche organolettiche non sono certamente eccelse (Capocasa et al., 2021b), non presentano cambiamenti nel loro contenuto in zuccheri (°Brix) ed acidi (mEq NaOH / 100g) così come nella loro brillantezza (L*) e nella saturazione del colore (Indice Chroma). Risulta invece statisticamente significativo l'incremento della consistenza nei frutti di piante fertirrigate con la soluzione nutritiva T800. Il grafico a barre in *Figura 15* esprime in maniera visivamente immediata quest'ultimo effetto.

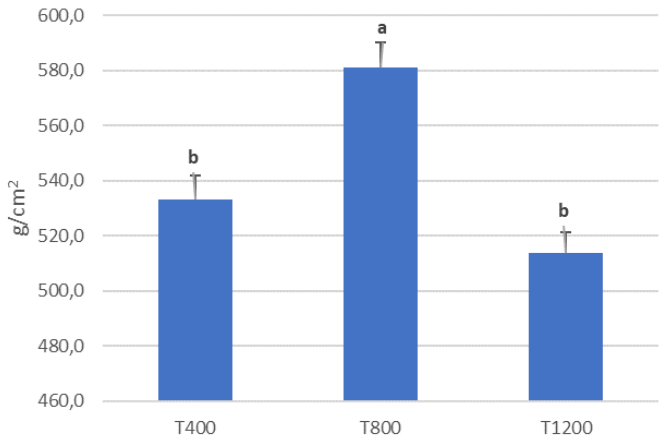

Figura 15. Incremento significativo della consistenza dei frutti da piante fertirrigate con soluzione nutritiva T800. Dati medi degli anni 2021 e 2022 ± errore standard (valori indicati con lettere diverse differiscono in maniera significativa: p ≤ 0.05 al post hoc test LSD di Fisher)

5.4 Parametri nutrizionali

In questa tesi vengono mostrati i risultati relativi ad alcuni parametri nutrizionali in fragole coltivate nell'anno 2021. Gli estratti delle molecole ad attività antiossidante da fragole della produzione 2022 verranno analizzati nell'immediato futuro.

La *Tabella 7* riporta i dati, in forma di medie ed errori standard, dei parametri nutrizionali analizzati in questo studio: polifenoli totali (mg di acido gallico / Kg di frutta), antociani (mg di pelargonidina-3-glucoside / Kg di frutta) e della attività antiossidante totale (mg Trolox equivalenti / Kg di frutta).

Soluzione nutritiva	**Polifenoli totali (mg A. Gallico/Kg frutta)**	**Antociani (mg Pel-3-glu /Kg frutta)**	**Attività antiossidante (mg Trolox eq. / Kg frutta)**
T400	1647.8±35.6 ns	170.9±11.1 ns	2927.± 74,2 b
T800	1694.1±30.4 ns	180.2±11.7 ns	3310.56 ±58.7 a
T1200	1712.62±33.8 ns	181.42±9.1 ns	3242.89 ±80.0 a

Tabella 7. Parametri nutrizionali medi dell'annata 2021 (media ± errore standard; ns=differenza non significativa al test Anova "one way", valori indicati con lettere diverse nella stessa colonna differiscono tra di loro in maniera significativa: $p \leq 0.05$ al post hoc test LSD di Fisher,)

Non si registrano cambiamenti significativi del contenuto in polifenoli totali ed antociani mentre vi è una attività antiossidante significativamente più elevata nelle fragole delle parcelle T800 e T1200 rispetto a quelle T400 *(Figura 16)*.

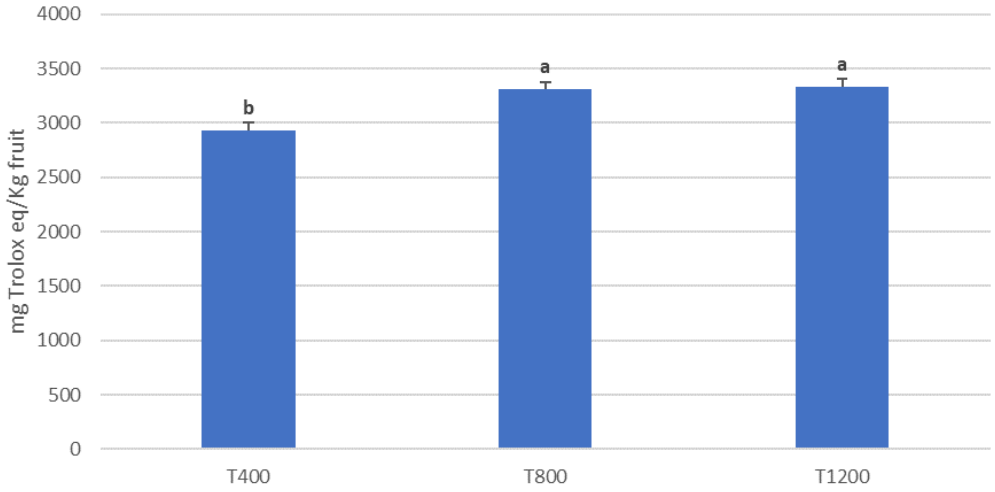

Figura 16. Differenza statisticamente significativa dell'attività antiossidante in estratti di frutti da piante fertirrigate con soluzione nutritiva T800 e T1200 rispetto a quelle con T400 (media ± errore standard; valori indicati con lettere diverse differiscono tra di loro in maniera significativa: $p \leq 0.05$ al post hoc test LSD di Fisher)

6 DISCUSSIONE

La fragola risulta la principale specie di piccoli frutti coltivata nella regione Marche in particolare nella valle dell'Aso e nella valle del Metauro. Il progetto "PiccoliFruttiMarche" (https://piccolifruttimarche.it/) si basa sulla collaborazione tra D3A-UNIVPM, ASSAM e diverse aziende frutticole aderenti agli accordi Agro Ambientali finanziati dalla Regione Marche. Tra gli obiettivi di tale progetto figurano l'introduzione di nuove tecniche produttive (fuori suolo in coltura protetta) che consentano la coltivazione di specie poco adatte ai suoli del nostro territorio, un ampliamento del calendario produttivo e lo sviluppo di precisi sistemi di gestione degli apporti idrici e nutrizionali al fine di ridurre gli input di coltivazione e il rischio di contaminazione ambientale. In questo contesto si inserisce il progetto descritto in questa tesi ed il cui partner, l'azienda agricola Concetti Bruno e Sergio, collabora da diverso tempo con il D3A-UNIVPM ospitando nelle proprie strutture prove sperimentali atte allo studio del miglioramento delle produzioni e della qualità dei frutti.

Le analisi dei dati sperimentali hanno mostrato che dalle piante fertirrigate con la soluzione nutritiva a minor concentrazione di nutrienti (T400) si sono ottenute produzioni sovrapponibili a quelle coltivate con soluzioni più concentrate (T800 e T1200) così come non si sono registrate differenze nel contenuto zuccherino e nell'acidità dei frutti. Nelle fragole T800 è stato riportato un significativo incremento di consistenza, parametro questo tipicamente marcato nella Cv "Aurea" (Capocasa et al., 2021b). Per quanto riguarda i parametri nutrizionali indagati è stato osservata una maggiore attività antiossidante negli estratti di fragole T800 e T1200 rispetto a quelli di fragole T400 benché il contenuto in polifenoli totali e di antociani non variasse in maniera significativa. Va ricordato che tali dati si riferiscono alla sola produzione del 2021 e che i polifenoli non sono le uniche molecole antiossidanti di cui la fragola ha un buon contenuto. Le analisi che verranno effettuate sugli estratti della produzione 2022 e l'eventuale dosaggio di altre molecole quali la vitamina C ed i folati serviranno ad avere un quadro più completo sull'argomento.

Tirando le somme dei dati forniti da questo studio si può affermare che la coltura fuori suolo della Cv "Aurea" può essere condotta con successo usando anche concentrazioni non elevate di macro e microelementi con risparmio in termini economici ma soprattutto con un minore impatto ambientale. La riduzione degli apporti di nutrienti e di acqua, oltre che la selezione di Cultivar particolarmente resilienti, sono tematiche alle quali i ricercatori del D3A-UNIVPM prestano particolare attenzione. In un recente studio (Marcellini et al., 2022), ad esempio, è stato dimostrato

come sia possibile attuare una moderata riduzione dell'apporto idrico, in colture in pieno campo di tre Cv di fragola molto diffuse, mantenendo il regolare sviluppo delle piante, la resa e la qualità dei frutti. Lo sviluppo di nuove strategie di miglioramento genetico per ottenere nuove varietà di fragola e di altri piccoli frutti che siano resilienti e di elevata qualità per il consumatore è anche l'obiettivo del progetto "Breeding Value" (www.bredingvalue.eu), una collaborazione che coinvolge ricercatori di diversi paesi europei e coordinato dal Prof. Bruno Mezzetti del D3A-UNIVPM.

BIBLIOGRAFIA

Abdollahi, M., Eshghi, S. and Tafazoli, E., 2010. Interaction of paclobutrazol, boron and zinc on vegetative growth, yield and fruit quality of strawberry (Fragaria× Ananassa Duch. cv. Selva). *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 4(11).

Adak, N., 2019. Effect of Different K+/Ca2+ Ratios on Yield, Quality and Physiological Disorder in Soilless Strawberry Cultivation. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 18(2), pp.229–236.

Adak, N., Tozlu, I. and Gubbuk, H., 2018. Influence of different soilless substrates to morpho-physiological characteristics and yield relations in strawberries. *Erwerbs-Obstbau*, 60(4), pp.341–348.

Agbor, G.A., Vinson, J.A. and Donnelly, P.E., 2014. Folin-Ciocalteau reagent for polyphenolic assay. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics (IJFS)*, 3(8), pp.147–156.

Angelini, R., 2010. *la fragola*. Bayer crop.

Baldi, E., Nestby, R., Raynal-Lacroix, C., Lieten, P., Salo, T., Pivot, D., Lucchi, P.L., Baruzzi, G., Faedi, W. and Tagliavini, M., 2003. Uptake and partitioning of major nutrients by strawberry plants. In: *Euro Berry Symposium-COST-Action 836 Final Workshop 649*. pp.197–200.

Balliu, A., Zheng, Y., Sallaku, G., Fernández, J.A., Gruda, N.S. and Tuzel, Y., 2021. Environmental and cultivation factors affect the morphology, architecture and performance of root systems in soilless grown plants. *Horticulturae*, 7(8), p.243.

Barroso, M.C.M. and Alvarez, C.E., 1997. Toxicity symptoms and tolerance of strawberry to salinity in the irrigation water. *Scientia Horticulturae*, 71(3), pp.177–188. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00082-4.

Cantliffe, D.J., Castellanos, J.Z. and Paranjpe, A.V., 2007. Yield and quality of greenhouse-grown strawberries as affected by nitrogen level in coco coir and pine bark media. In: *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. pp.157–161.

Capocasa, F., Balducci, F., Di Vittori, L., Mazzoni, L., Stewart, D., Williams, S., Hargreaves, R., Bernardini, D., Danesi, L. and Zhong, C., 2016. Romina and Cristina: Two new strawberry cultivars with high sensorial and nutritional values. *International Journal of Fruit Science*, 16(sup1), pp.207–219.

Capocasa, F., Balducci, F., Mazzoni, L., Marcellini, M., Pergolotti, V. and Mezzetti, B., 2021a. Preliminary results of different strawberry cultivars in multi-cropping soilless cultivation. *Acta Horticulturae*, (1309), pp.579–584. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.83.

Capocasa, F., Balducci, F., Mazzoni, L., Marcellini, M., Qaderi, R. and Mezzetti, B., 2021b. Preliminary results of soilless cultivated strawberry cultivars in the autumn-spring cycle in the mid-Adriatic area. In: *Acta Horticulturae*. [online] International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.pp.591–596. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.85.

De Kreij, C., Voogt, W. and Baas, R., 2003. *Nutrient solutions and water quality for soilless cultures*. Applied Plant Research, Division Glasshouse.

Easterwood, G.W., 2002. Calcium's role in plant nutrition. *Fluid J*, 10(1), pp.16–9p.

Estrada-Ortiz, E., Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C., Núñez-Escobar, R. and Sandoval-Villa, M., 2013. The effects of phosphite on strawberry yield and fruit quality. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(3), pp.612–620.

Fussy, A. and Papenbrock, J., 2022. An Overview of Soil and Soilless Cultivation Techniques—Chances, Challenges and the Neglected Question of Sustainability. *Plants*, 11(9), p.1153. https://doi.org/10.3390/plants11091153.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J.M., Quiles, J.L., Mezzetti, B. and Battino, M., 2012. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), pp.9–19.

Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M., 2013. Role of zinc in plant nutrition-a review. *American journal of experimental Agriculture*, 3(2), p.374.

Halvorsen, B.L., Holte, K., Myhrstad, M.C., Barikmo, I., Hvattum, E., Remberg, S.F., Wold, A.-B., Haffner, K., Baugerød, H. and Andersen, L.F., 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *The Journal of nutrition*, 132(3), pp.461–471.

Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P. and Negi, A.K., 2014. A review on the science of growing crops without soil (soilless culture)-a novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), p.833.

Ilari, A., Capocasa, F., Fabrizi, S., Toscano, G., Foppa Pedretti, E. and Duca, D., 2021. Life cycle assessment of strawberry soilless cultivation and packaging: an Italian case study. *Acta Horticulturae*, (1309), pp.605–612. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.87.

Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. and Saltali, K., 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia horticulturae*, 93(1), pp.65–74.

Lieten, F., 2001. Iron nutrition of strawberries grown in peat bags. *Small Fruits Review*, 1(2), pp.103–112.

Liu, L., Ji, M.-L., Chen, M., Sun, M., Fu, X., Li, L., Gao, D.-S. and Zhu, C.-Y., 2016. The flavor and nutritional characteristic of four strawberry varieties cultured in soilless system. *Food science & nutrition*, 4(6), pp.858–868.

López-Medina, J., Peralbo, A. and Flores, F., 2003. Closed soilless growing system: a sustainable solution for strawberry crop in Huelva (Spain). In: *Euro Berry Symposium-COST-Action 836 Final Workshop 649*. pp.213–216.

Marcellini, M., Mazzoni, L., Raffaelli, D., Pergolotti, V., Balducci, F., Capocasa, F. and Mezzetti, B., 2022. Evaluation of Single-Cropping under Reduced Water Supply in Strawberry Cultivation. *Agronomy*, 12(6), p.1396.

Mazzoni, L., Giampieri, F., Diamanti, J., Capocasa, F., Miguel, J., Alvarez-Suarez, M.G., Balducci, F., Battino, M. and Mezzetti, B., 2013. Il profilo nutrizionale della fragola ed il suo impatto sulla salute dell'uomo. *Italus Hortus*, 20(1), pp.1–14.

Mezzetti, B., Giampieri, F., Zhang, Y. and Zhong, C., 2018. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world. *Journal of Berry Research*, 8(3), pp.205–221. https://doi.org/10.3233/JBR-180314.

Mezzetti, B., Mazzoni, L., Balducci, F., Marcellini, M., Schrey, S., LinnemannstÃ¶ns, L. and Capocasa, F., 2021. 'Francesca', 'Lauretta', 'Silvia' and 'Dina': four new strawberry cultivars for northern and southern European cultivation conditions from the Marche Polytechnic University breeding programme. In: *Acta Horticulturae*. [online] International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.pp.205–208. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.30.

Miller, N.J., Rice-Evans, C., Davies, M.J., Gopinathan, V. and Milner, A., 1993. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical science (London, England: 1979)*, 84(4), pp.407–412.

Motamedi, S., Jafarpour, M. and Shams, J., 2013. Evaluation of nutrition on flower number and yield of strawberry in greenhouse. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(18), pp.2091–2095.

Nestby, R., Lieten, F., Pivot, D., Lacroix, C.R. and Tagliavini, M., 2005. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs: a review. *International journal of fruit science*, 5(1), pp.139–156.

Neuweiler, R., 2001. *Ground cover and nitrogen management in strawberry cultivation under Swiss humid climate conditions*. ETH Zurich.

Palencia, P., Bordonaba, J.G., Martínez, F. and Terry, L.A., 2016. Investigating the effect of different soilless substrates on strawberry productivity and fruit composition. *Scientia Horticulturae*, 203, pp.12–19.

Putra, P.A. and Yuliando, H., 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, pp.283–288.

Rathod, K., Patel, A. and Chakraborty, B., 2021. Strawberry cultivation practices in soilless growing substrates: A review article. *International Journal of Chemical Studies*, 9, pp.1253–1256. https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1r.11394.

Savini, G., Neri, D., Zucconi, F. and Sugiyama, N., 2005. Strawberry growth and flowering: an architectural model. *International Journal of Fruit Science*, 5(1), pp.29–50.

Savvas, D., Gianquinto, G., Tuzel, Y. and Gruda, N., 2013. 12. Soilless culture. *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops*, pp.303–354.

Savvas, D. and Gruda, N., 2018. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *Eur. J. Hortic. Sci*, 83(5), pp.280–293.

Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M., 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: *Methods in enzymology*. Elsevier.pp.152–178.

Stefanelli, D., Goodwin, I. and Jones, R., 2010. Minimal nitrogen and water use in horticulture: Effects on quality and content of selected nutrients. *Food Research International*, 43(7), pp.1833–1843. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.022.

Taiz, L. and Zeiger, E., 2010. Plant physiology 5th Ed. *Sunderland, MA: Sinauer Associates*, 464.

Trejo-Téllez, L.I. and Gómez-Merino, F.C., 2014. Nutrient management in strawberry: Effects on yield, quality and plant health. *Strawberries: Cultivation, Antioxidant Properties and Health Benefits. Nova Science Publishers, Nathan Malone (Ed.)*, pp.239–67.

Tulipani, S., Romandini, S., Suarez, J.M.A., Capocasa, F., Mezzetti, B., Battino, M., Busco, F., Bamonti, F. and Novembrino, C., 2008. Folate content in different strawberry genotypes and folate status in healthy subjects after strawberry consumption. *Biofactors*, 34(1), pp.47–55.

Ulrich, A., Mostafa, M.A.E. and Allen, W.W., 1992. *Strawberry deficiency symptoms: a visual and plant analysis guide to fertilization*. UCANR Publications.

Wrolstad, R.E., Durst, R.W. and Lee, J., 2005. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(9), pp.423–428.

Zucchi, P., Martinatti, P., Bertoldi, D., Ceschini, A. and Pantezzi, T., 2015. Effects of different fertigation-growing medium systems on plant morphometric response during soilless strawberry growth. In: *International Symposium on Growing Media, Composting and Substrate Analysis-SusGro2015 1168*. pp.221–228.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Dott. Davide Raffaelli, il Dott. Gianmarco “Jimmy” Giovanetti e la Dott.ssa Valeria Pergolotti per la loro simpatia, disponibilità e competenza.