



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

VALUTAZIONE DELLE RISPOSTE VEGETO-
PRODUTTIVE E QUALITATIVE DI SELEZIONI
AVANZATE DI FRAGOLA ESPOSTE AD UN RIDOTTO
APPORTO IDRICO NEL SUD DELLA SPAGNA

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:
GIAMPAOLO BARTOLOMEI

Relatore:
PROF. BRUNO MEZZETTI

Correlatore:
DOTT. MICOL MARCELLINI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Alla mia famiglia

SOMMARIO

| | |
|--|----|
| SOMMARIO | 3 |
| ELENCO DELLE TABELLE | 5 |
| ELENCO DELLE FIGURE | 6 |
| PREMESSA | 8 |
| CAPITOLO I: | 9 |
| INTRODUZIONE ALLA PIANTA DI FRAGOLA | 9 |
| 1.1 Storia, origini e diffusione | 9 |
| 1.2 La fragola nel mondo: mercato e andamenti | 12 |
| 1.3 Aspetti botanici: struttura della pianta | 15 |
| 1.4 Classificazione delle cultivar: ciclo di crescita, esigenze ambientali e attitudine vegeto-riproduttiva | 20 |
| 1.4.1 Cultivar a fioritura stagionale | 21 |
| 1.4.2 Cultivar rifiorenti | 24 |
| 1.5 Miglioramento genetico | 25 |
| 1.5.1 Tecniche di miglioramento genetico | 27 |
| 1.5.2 Modello utilizzato dai principali programmi di miglioramento genetico | 30 |
| 1.6 Riduzione dell'apporto idrico | 37 |
| 1.7 Tecniche vivaistiche di propagazione e tipologie di piante | 39 |
| 1.8 Sistemi di coltivazione e programmazione colturale | 46 |
| CAPITOLO II: | 52 |
| SCOPO DELLA TESI | 52 |
| 2.1 Scopo dello studio | 52 |
| CAPITOLO III: | 54 |
| MATERIALI E METODI | 54 |
| 3.1 Descrizione dell'azienda sperimentale | 54 |
| 3.2 Materiale vegetale: la varietà Rociera e le selezioni avanzate di Ancona | 58 |
| 3.3 Impianto e tecnica di coltivazione | 61 |
| 3.4 Trattamenti e schema sperimentale | 64 |
| 3.5 Parametri rilevati | 66 |
| 3.6 Analisi statistica | 70 |
| CAPITOLO IV: | 71 |
| RISULTATI | 71 |
| 4.1 Parametri vegetativi | 71 |
| 4.1.1 Altezza delle piante | 71 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.2 Numero di foglie per pianta..... | 74 |
| 4.1.3 Numero di assi fiorali per pianta | 77 |
| 4.1.4 Mortalità | 79 |
| 4.2 Parametri produttivi..... | 81 |
| 4.2.1 Produzione totale per pianta | 81 |
| 4.2.2 Produzione commerciale..... | 84 |
| 4.2.3 Scarto..... | 85 |
| 4.2.4 Peso medio del frutto..... | 86 |
| 4.3 Parametri qualitativi..... | 88 |
| 4.3.1 Contenuto in solidi solubili | 89 |
| 4.3.2 Acidità titolabile | 91 |
| 4.3.3 Consistenza | 93 |
| 4.3.4 Shelf-life | 96 |
| 4.3.5 Conclusioni..... | 98 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 101 |
| SITOGRAFIA..... | 115 |

ELENCO DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 1: Obiettivi del miglioramento genetico della fragola..... | 31 |
| Tabella 2: Analisi pedologica del campo di Pichardo..... | 56 |
| Tabella 3: Parentali delle selezioni di Ancona..... | 60 |
| Tabella 4: Quantitativo di acqua utilizzata nei diversi trattamenti e tempo di irrigazione..... | 63 |
| Tabella 5: Date di raccolta dei frutti..... | 67 |
| Tabella 6: Produzione totale, commerciale e scarto di tutti i genotipi considerati..... | 82 |

ELENCO DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1: Produzione di fragole nel mondo e superficie totale coltivata..... | 13 |
| Figura 2: Produzione mondiale di fragole ripartita per continenti | 13 |
| Figura 3: Morfologia strutturale e stolonizzazione | 17 |
| Figura 4: Illustrazione del ciclo di crescita annuale di una pianta di fragola | 22 |
| Figura 5: Localizzazione dei tunnel destinati alle prove in Pichardo..... | 54 |
| Figura 6: Tunnel e disposizione dei filari..... | 62 |
| Figura 7: Disposizione interna dei tunnel di prova | 65 |
| Figura 8: Bilancia di precisione PD6 Baxtran..... | 67 |
| Figura 9: Penetrometro manuale Turoni 53203 | 68 |
| Figura 10: Rifrattometro digitale ATAGO PAL-1..... | 69 |
| Figura 11: Andamento delle altezze in centimetri \pm errore standard | 72 |
| Figura 12: Altezza media delle piante \pm errore standard..... | 73 |
| Figura 13: Andamento del numero medio di foglie/pianta \pm errore standard | 75 |
| Figura 14: Numero medio di foglie per pianta \pm errore standard..... | 76 |
| Figura 15: Andamento del numero di assi fiorali/pianta \pm errore standard..... | 77 |
| Figura 16: Numero medio di assi fiorali per pianta \pm errore standard | 78 |
| Figura 17: Perdita percentuale di piante di tutti i genotipi considerati..... | 79 |
| Figura 18: Effetti di <i>Phytophthora cactorum</i> sulla selezione AN17,44,45 | 80 |
| Figura 19: Effetti di <i>Phytophthora cactorum</i> sulla corona della selezione AN17,44,45 | 80 |
| Figura 20: Produzione totale di frutti per pianta \pm errore standard | 82 |
| Figura 21: Andamento della produzione totale mensile/pianta | 83 |
| Figura 22: Andamento del peso medio dei frutti di tutti i genotipi considerati | 86 |
| Figura 23: Rappresentazione grafica del peso medio dei frutti in grammi | 87 |
| Figura 24: Peso medio dei frutti \pm errore standard..... | 88 |
| Figura 25: Andamento del contenuto in zuccheri di tutti i genotipi considerati | 89 |
| Figura 26: Contenuto medio in solidi solubili \pm errore standard | 91 |
| Figura 27: Andamento dell'acidità titolabile di tutti i genotipi considerati | 92 |
| Figura 28: Acidità titolabile media \pm errore standard | 93 |
| Figura 29: Andamento della consistenza in g/cm ² di tutti i genotipi considerati | 94 |
| Figura 30: Consistenza media espressa in g/cm ² \pm errore standard | 95 |
| Figura 31: Numero medio di frutti dopo 7 giorni di conservazione in frigorifero e a temperatura ambiente | 97 |

Figura 32: Peso medio di frutti dopo 7 giorni di conservazione in frigorifero e a temperatura ambiente97

PREMESSA

Quasi il 75% dell'attuale consumo umano di acqua deriva da pratiche agricole connesse con l'irrigazione delle colture, proprio per questo l'uso efficiente della risorsa idrica è uno dei principali temi di ricerca nell'ambito agronomico sia perché limitata sia perché è essenziale per il normale svolgimento delle funzioni metaboliche nel mondo vegetale. Molto spesso, per prevenire il rischio di stress idrico nelle colture, i coltivatori tendono ad irrigare eccessivamente creando un danno ambientale relazionato al drenaggio nelle acque sotterranee. Bisogna però considerare l'entità dello stress in termini di intensità e durata, ma anche il fatto che una lieve riduzione dell'apporto possa evidenziare risposte di tolleranza o resistenza a livelli medio bassi di stress, incrementando la qualità delle produzioni e generando un impatto positivo sull'ambiente.

Questo studio nasce proprio dalla necessità di monitorare la risposta delle piante di fragola all'esposizione a due differenti regimi idrici, ovvero un'irrigazione standard e una ridotta, attraverso l'analisi dei parametri vegetativi, produttivi e qualitativi.

Le prestazioni di una varietà commerciale spagnola di riferimento e di tre selezioni avanzate, provenienti dal programma di breeding del gruppo di ricerca D3A dell'Università Politecnica delle Marche, sono state valutate presso un'azienda agricola privata del sud della Spagna, in modo da comprenderne a pieno le capacità adattative.

Si è visto che i genotipi differiscono nella loro risposta alla riduzione dell'apporto idrico, ma una selezione su tutte rivela dati che non appaiono influenzati dal livello di irrigazione dimostrando uno spiccato adattamento alle condizioni di stress.

Dal punto di vista qualitativo, apportare meno acqua ha messo alla luce ottime caratteristiche fenotipiche, non sempre così evidenti a livello vegeto-produttivo, ed i dati osservati valorizzano non solo la qualità dei frutti ottenuti ma anche la sostenibilità del sistema colturale.

Capitolo I:

INTRODUZIONE ALLA PIANTA DI FRAGOLA

1.1 Storia, origini e diffusione

Nell'antichità il consumo di fragole era rivolto alla fragolina di bosco detta *Fragaria vesca*, una specie che cresce spontaneamente in ambiente boschivo in quasi tutto il mondo, particolarmente in Europa. Il nome deriva dal latino *fragus* traducibile come fragranza, aroma e *vescus* che denota un qualcosa di morbido. Sembra che questo piccolo frutto rosso fosse già apprezzato nell'Antica Roma tanto che Plinio¹ lo cita per le sue proprietà curative e afrodisiache, all'interno di una descrizione finalizzata a sottolineare la ricchezza dei boschi, pur non includendolo tra le specie coltivate. Infatti, risulta essere una specie di interesse ortofrutticolo non da molto tempo, fino alla fine del '500 non aveva ancora una collocazione sistematica né tantomeno una valorizzazione dal punto di vista agronomico, era nota solamente come frutto edule spontaneo del sottobosco.

La fragola che tutti conosciamo ossia quella "a frutto grosso" o anche *Fragaria x ananassa* oggi diffusa in tutto il mondo, non era presente in natura, la sua origine è avvenuta all'incirca 300 anni fa tramite l'incrocio tra una specie selvatica del Nord America e una del Sud America, da quel momento ha decisamente preso il sopravvento sulle specie selvatiche. La sua storia è strettamente legata a due avvenimenti particolari molto importanti: il primo è legato all'introduzione in Europa attorno al 1600 della *Fragaria virginiana*, fragola spontanea della zona occidentale del Nord America; il secondo è relativo al secolo successivo (1714 circa), quando l'ufficiale francese Amédée-François Frézier esperto di botanica ed esploratore, mostrò al Re Sole (Luigi XIV) delle piante di fragola provenienti dal Cile. La *Fragaria chiloensis* o fragola cilena, già coltivata da popolazioni indigene del Sud America come i Mapuche e gli Huilliche, era caratterizzata da soli fiori femminili o "pistilliferi" quindi non in grado di fruttificare

¹ Gaio Plinio Secondo noto come Plinio il Vecchio fu uno scrittore, filosofo naturalista e governatore provinciale romano vissuto nel I secolo dopo Cristo. Nella sua opera di carattere enciclopedico, la *Naturalis Historia* l'autore ricorda come questo frutto fosse considerato al centro della celebrazione in onore di Adone, poiché secondo la mitologia le lacrime versate da Venere sulla sua tomba, arrivate a contatto col terreno si trasformarono in piccoli frutti rossi a forma di cuore, le fragole (Roudeillac et al., 1987).

senza la vicinanza di altre varietà impollinatrici (Andreotti et al., 2010). Abbiamo notizia del fatto che la fragola cilena venne messa a dimora in molti giardini botanici francesi, tuttavia queste piante non fruttificarono fino al momento che entrarono in contatto con piante di *Fragaria virginiana*: così avvenne l'impollinazione e per la prima volta in Europa si ebbero frutti di fragola cilena, questi mostravano una pezzatura decisamente superiore alle fragoline di bosco, ovvero le fragole note fino a quel momento nel nostro continente. Dunque, inizia qui la storia della fragola coltivata, ottenuta dall'incrocio interspecifico (ibridazione) tra le due specie selvatiche del continente americano (*Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana*). Solo poche piante ottenute da questo incrocio si riveleranno poi progenitori di tutte le altre varietà attuali, che consentono la coltivazione della fragola in tutti gli ambienti, dai più freddi ai più caldi.

Tutte le varietà "a frutto grosso" oggi coltivate appartengono alla specie binomiale *Fragaria x ananassa* descritta per la prima volta nel 1766 dal botanico Antoine Nicolas Duchesne considerato il primo ricercatore che si dedicò allo studio di questa pianta, egli fu giardiniere reale alla corte di Luigi XIV e scrisse un'opera intitolata "Storia naturale della Fragola".

All'inizio del XIX secolo la fragola diventa oggetto di un'intensa attività di ricerca genetica, da subito attiva nel continente europeo ma anche in quello americano: tra i progenitori delle moderne varietà bisogna annoverare la "Keens' Seedling" selezionata da Michael Keens nel 1821 in Inghilterra, la "Downtown" e la "Elton" due varietà costituite da colui che fu probabilmente il primo vero breeder riconosciuto di quell'epoca, Andrew Knight. Da qui in poi le attività di breeding² si intensificarono sempre di più portando alla realizzazione di varietà molto diffuse come "Docteur Morère" e "Royal Sovereign" considerata la prima varietà europea di rilevante importanza poiché ampiamente diffusa e coltivata in Francia, Germania, Inghilterra e Olanda tra la fine del '800 e l'inizio del '900. Le basi genetiche di queste varietà vennero studiate a lungo e fu così che Charles Moutôt, utilizzandole come parentali, selezionò la "Madame Moutôt" (1906) con la quale si ottenne per la prima volta un significativo miglioramento della

² Col termine breeding in agronomia si indica l'attività di miglioramento genetico finalizzata alla creazione di nuove varietà di piante con caratteristiche migliori o comunque differenti da quelle già disponibili sul mercato. Il breeder è colui che realizza un programma di miglioramento genetico vegetale, deve conoscere molte discipline, dalla botanica all'informatica affinché possa conseguire risultati rilevanti attraverso la costituzione di nuove varietà.

pezzatura del frutto. Questo carattere contribuì notevolmente all'ampio successo ottenuto nelle coltivazioni di tutta Europa, ma di certo non era l'unico pregio di questa varietà francese che presentava un frutto di colore rosso aranciato, una polpa bianco-rosa e ottime caratteristiche organolettiche. Può anche essere considerata la varietà che diede inizio al processo di specializzazione della fragolicoltura in Italia, continuando ad essere presente nei campi della penisola fino agli anni '60.

Nel corso del '900 numerose furono le varietà selezionate in Europa, molte si diffusero solo localmente, altre arrivarono a rappresentare un patrimonio fondamentale per il germoplasma varietale europeo e non solo, tanto che questo materiale genetico risultò di fondamentale importanza anche nei primi programmi di breeding della fragola attuati nel continente americano, dove tutto cominciò con programmi che prevedevano l'incrocio tra le varietà europee e alcune selezioni di fragola selvatica nord americana. Successivamente, la possibilità di ottenere varietà in grado di adattarsi ad areali diversi fece in modo che la fragolicoltura si estendesse a tutti i paesi degli Stati Uniti, soprattutto in California, qui la ricerca genetica ebbe un grande sviluppo tanto che le varietà californiane si diffusero rapidissimamente, in particolare quelle caratterizzate da un basso fabbisogno in freddo invernale e che ben si adattavano ad aree con inverno mite, come l'Italia.

Fin dall'inizio del 1900 l'obiettivo dei programmi di miglioramento genetico è stato quello di ottenere nuove varietà fragola adatte ai molteplici ambienti di coltivazione che possono ospitare questa coltura. Ad oggi la maggior parte delle varietà diffuse appartengono alla specie ottoploide³ *Fragaria x ananassa*, ma di certo non mancano altri livelli di ploidia: a questo genere appartengono anche specie diploidi $2x=2n=14$ come *Fragaria vesca*, *Fragaria vesca ssp. semperflorens*, *Fragaria vesca semperflorens var alpina e monophylla*, *Fragaria viridis* Duch. e *Fragaria nigerrensis*, sono le classiche fragoline di bosco che presentano quasi tutti i loro fiori ermafroditi e frutti aromatici molto piccoli; le specie tetraploidi $4x=2n=28$ hanno origini orientali e presentano caratteri morfologici di minore importanza commerciale, sia per quanto riguarda la pianta che il frutto, tra queste annoveriamo *Fragaria orientalis* e *Fragaria moupinensis* Cord.;

³ La fragola comune è ottoploide, questo termine indica una condizione di poliploidia in cui ognuna delle sue cellule contiene otto set cromosomici.

Fragaria moschata Duch., di origine europea, appartiene invece alle specie esaploidi $6x=2n=42$ che presentano frutti ben più grandi delle diploidi e rispetto a quest'ultime possono essere dioiche oltre che ermafrodite; tra le specie ottoploidi $8x=2n=56$ bisogna citare anche *Fragaria virginiana* Duch. e *Fragaria virginiana* spp. *glauca*, entrambe sono di origine americana, hanno un colore rosso intenso e buona qualità del frutto, così come la specie cilena *Fragaria chiloensis* che in aggiunta presenta un frutto di dimensioni maggiori; infine abbiamo le decaploidi (*Fragaria x vescana*) ottenute attraverso un incrocio complesso fra *Fragaria x ananassa*, *Fragaria moschata* e *Fragaria vesca* poliploidizzata, esistono inoltre ibridi intergenerici di *Fragaria x Potentilla* caratterizzati da fiori rosa di differente intensità ed attrattività (Macfarlane et al., 1985).

Dunque, come si può facilmente intuire col passare degli anni il numero di varietà diffuse è aumentato sempre di più perché sono aumentati i programmi di miglioramento genetico che devono adattare le piante alle nuove necessità dei coltivatori. Inoltre, bisogna anche considerare l'attività dei costitutori privati che mirano ad attuare programmi che gli consentano di ottenere dei fondi, tramite le royalty⁴ assicurate dai brevetti, necessari per portare avanti le attività di miglioramento genetico stesse.

1.2 La fragola nel mondo: mercato e andamenti

Negli ultimi decenni la coltivazione della fragola ha subito una vera e propria espansione, in particolare verso gli ambienti meridionali dove i climi caldi permettono di produrre anche fuori stagione, verso le zone ad inverno più mite e le aree del mondo in cui la manodopera influisce meno sui costi di produzione. I Paesi con il minor costo unitario della manodopera sono tutti caratterizzati da inverni a clima mite e ciò conferma una tendenza di continua meridionalizzazione della fragolicoltura (Andreotti et al., 2010).

Come si può osservare nella *Figura 1*, nel ventennio 1980-2000 la produzione mondiale di fragole è aumentata dell'83% fino ad oltrepassare i tre milioni di tonnellate, un ulteriore aumento del 24% si è registrato dal 2000 al 2012 fino a raggiungere i cinque milioni di tonnellate. In generale fino al 2018 c'è stata un'evoluzione positiva, ma il tasso di crescita

⁴ Le royalty costituiscono una remunerazione dei diritti derivanti da un brevetto o da una proprietà intellettuale sfruttati per fini commerciali.

più elevato si è registrato nel 2014 con un incremento del 38% rispetto all'anno precedente. Secondo i dati della FAO nel 2018 la produzione mondiale di fragole ha superato le 9,2 milioni di tonnellate e si suppone che nel 2025 potrebbe raggiungere valori che si aggirano attorno 11,5 milioni di tonnellate (FAOSTAT, 2020).

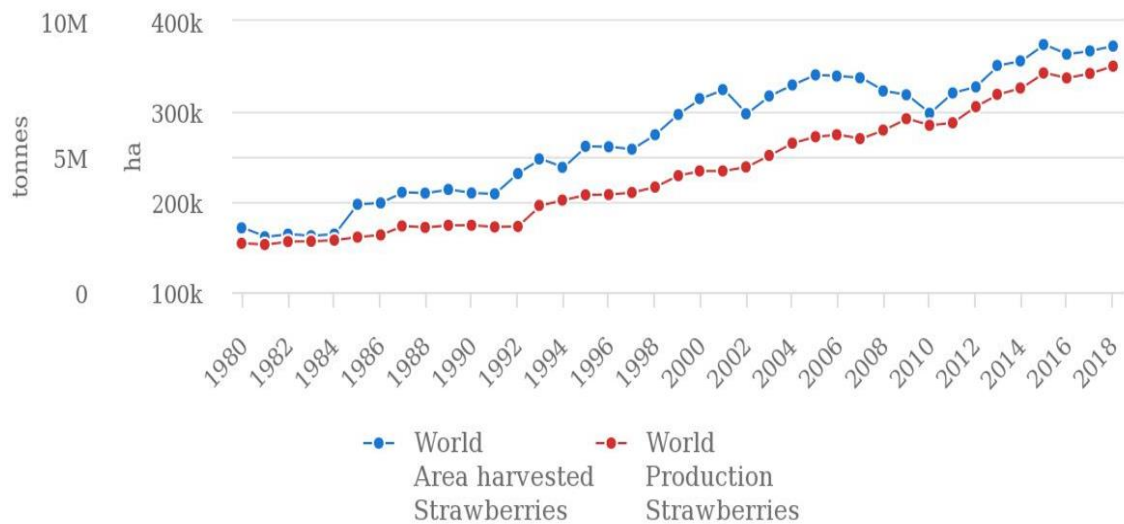


Fig. 1: Produzione di fragole nel mondo a confronto con la superficie totale coltivata nell'intervallo temporale 1980-2018 (FAOSTAT, 2020).

La superficie coltivata a fragola, stimata nel 2010 in circa 297.000 ettari ha subito, d'altronde come anche la produzione, un trend positivo nell'ultimo decennio ma con valori meno significativi, ciò denota un aumento delle rese unitarie dovuto all'innovazione varietale ma anche al miglioramento della tecnica colturale, ad oggi la superficie totale mondiale si attesta attorno a 396.401 ettari (FAOSTAT).

L'aumento produttivo è stato osservato in ogni grande area di produzione nel mondo: in Europa ha subito minori incrementi (+3-4% nell'ultima decade), nonostante ciò, rimane uno dei principali

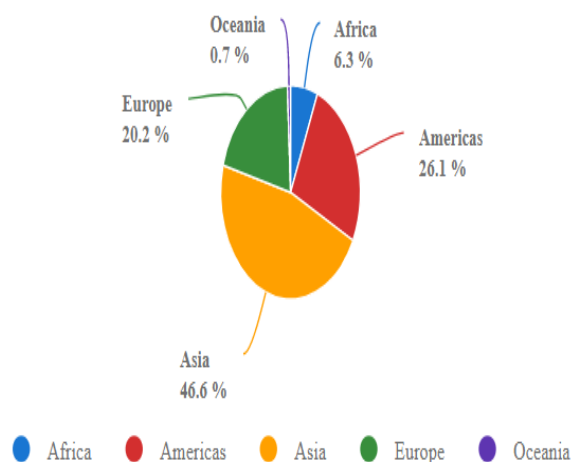


Fig. 2: Produzione mondiale di fragole ripartita per continenti (FAOSTAT, 2020).

bacini produttivi con più di 1,68 milioni di tonnellate di fragole prodotte, equivalenti al 20,2% della produzione mondiale. L'Asia, di cui la Cina rappresenta il più grande produttore, produce quasi 3,9 milioni di tonnellate di fragola e rappresenta il 46,6% della produzione globale, seguita dal continente americano 26,1%, mentre risultano meno significativi i volumi produttivi di Africa e Oceania (FAOSTAT, 2020).

I principali paesi produttori sono Cina, Stati Uniti, Messico, Turchia, Egitto, Spagna, Corea del Sud, Russia, Polonia e Giappone, complessivamente questi paesi hanno realizzato nel 2018 più del 74% della produzione mondiale, ottenuta sul 56% della superficie (FAOSTAT, 2020).

Il consumo di fragole in Europa è stimato intorno a 1,3 milioni di tonnellate e si differenzia a seconda dei diversi paesi. Il più alto consumo pro capite si registra in Italia, Germania e Regno Unito con circa 3 kg in media all'anno.

Il totale delle importazioni e del commercio interno europeo superava le 500.000 tonnellate di fragole nel 2018, ma ben oltre il 90% può essere attribuito alla riesportazione e al commercio interno di prodotti locali. Va anche ricordato che l'Europa importa quasi 36.000 tonnellate di fragole prodotte nei paesi in via di sviluppo per compensare le carenze di approvvigionamento. I maggiori importatori sono la Germania (107.000 tonnellate), la Francia (73.000 tonnellate) ed il Regno unito (54.000 tonnellate). L'Italia importa ben 32.000 tonnellate di fragole all'anno.

Il più grande fornitore di fragole in Europa è la Spagna con 351.000 tonnellate all'anno, di cui l'80% viene prodotto tra marzo e maggio (FAOSTAT, 2020). La provincia di Huelva, nella regione autonoma dell'Andalusia, grazie ai suoi 6843 ettari dedicati alla di produzione di fragole detiene il primato assoluto di tutta la penisola iberica, con oltre 341.000 tonnellate di frutti prodotti nel 2019 ed un incremento del 2% rispetto alla campagna precedente (Junta de Andalucía, 2019). Questa coltura ha inoltre trasformato la provincia di Huelva nella principale area esportatrice di fragole al mondo, combinando l'uso di sistemi produttivi più efficienti e di innovazioni tecnologiche con l'impiego nelle coltivazioni di varietà moderne più resilienti, così facendo la stagione di raccolta risulta molto più estesa (Junta de Andalucía, 2019).

La Spagna è seguita in Europa da Polonia (197.000 tonnellate), Germania (143.000 tonnellate) e Italia, 4° principale produttore che con 4717 ettari totali produce circa 120.000 tonnellate di fragole (FAOSTAT, 2020).

1.3 Aspetti botanici: struttura della pianta

La pianta di fragola appartiene alla famiglia delle *Rosaceae*, sottofamiglia *Rosoideae* e al genere *Fragaria* che include diverse specie sia coltivate che spontanee. Parliamo di una pianta erbacea perenne appartenente alla forma biologica delle emicriptofite reptanti ovvero piante con accrescimento aderente al suolo e carattere strisciante che presentano gemme poste al livello del terreno, sono in grado di riprodursi sia per via gamica (seme) che per via vegetativa o agamica tramite gli stoloni (Ellenberg et al., 1967). È costituita da un sistema radicale fascicolato, da un fusto raccorciato (detto anche corona o rizoma), da un apparato fogliare, da stoloni radicanti, da infiorescenze e frutti.

La corona rappresenta il fusto principale sull'apice del quale le foglie crescono raccolte in rosette, mentre le radici e gli stoloni si sviluppano alla base del rizoma.

L'apparato radicale svolge la fondamentale funzione di assorbimento dell'acqua e dei macro e microelementi presenti nel suolo i quali sono fondamentali per lo sviluppo vegetativo e per la fruttificazione, inoltre rappresenta la sede di immagazzinamento delle sostanze di riserva, principalmente saccaridi e lipidi. Le radici, dall'aspetto fibroso, si suddividono in primarie se originate direttamente dalla corona e secondarie se si diramano da quelle primarie formando l'ammasso radicale, sono presenti in numero variabile a seconda della specie e della cultivar considerata. Le primarie, diversamente dalle secondarie, sono perenni e più spesse quindi l'assorbimento principale di acqua e sostanze nutrienti viene effettuato da queste radici. Lo sviluppo delle radici in profondità dipende dalle caratteristiche fisiche del suolo, nei suoli argillosi ed in quelli sabbiosi la penetrazione radicale risulta più efficiente.

Le primarie raggiungono i 35 cm di profondità nella rizosfera, ma la maggior parte di queste si concentra tra i 15 e i 20 cm di profondità. Le secondarie hanno poche settimane di vita e sono continuamente rimpiazzate da nuove radici.

Le radici della fragola hanno bisogno di ossigeno per effettuare la respirazione, così come anche molti dei microrganismi del suolo e le porzioni più superficiali rappresentano quelle maggiormente ricche di tale componente, in quanto più arieggiate.

La corona sporge dal terreno per una lunghezza di circa 10 cm, è un organo anch'esso di riserva caratterizzato da una forte vascolarizzazione linfatica, che sviluppandosi porta ad un accrescimento in diametro del colletto e alla formazione di nuovi germogli, i quali in

determinate condizioni ambientali formeranno uno stolone, da cui ad ogni nodo, si originerà una piantina; l'emissione di stoloni è caratteristica della maggior parte delle varietà coltivate anche se alcune antiche varietà riflorenti non sono in grado di emetterli e quindi si propagano per divisione dei germogli (Andreotti et al., 2010).

Un picciolo di lunghezza variabile sostiene la struttura fogliare della pianta e funge da collegamento al fusto: la fillostassi è a spirale e le foglie, pinnate o palmate, sono suddivise in tre o più foglioline di forma ovale più o meno allungata, il margine risulta dentato. Le foglie si formano durante tutta la stagione di crescita della pianta, ogni 8-12 giorni e si presentano ricche di stomi permettendo lo svolgimento della traspirazione intensa che la caratterizza, in estate una pianta di fragola con 10 foglie disponibili, quindi 30 o più foglioline, arriva a traspirare fino a mezzo litro di acqua al giorno. A seconda del portamento eretto o prostrato del fogliame definiremo l'habitus vegetativo della pianta come assurgente o espanso, inoltre si potrà anche definire rado o folto in base alla densità fogliare. Inoltre, l'organizzazione gerarchica, ovvero la diversa capacità dei meristemi ascellari di germogliare in base alla posizione relativa, e il loro destino sono diretta conseguenza del diverso habitus delle varietà e dell'interazione di questo con l'ambiente di coltivazione. Considerando che l'ambiente è fortemente modificato dalle tecniche colturali che comprendono controllo nutrizionale e spostamento delle piante dal vivaio al campo anche di migliaia di chilometri, con cambi di latitudine e di altitudine (quindi enormi variazioni del termo-fotoperiodo), l'architettura della pianta può essere fortemente manipolata (Bolda et al., 2015).

La lunghezza peziolare varia da 3 cm a 40 cm e questa dimensione viene generalmente utilizzata come indicatore del vigore della pianta e come parametro di risposta alle condizioni ambientali di crescita. Così come la forma, anche il colore può variare a seconda della cultivar presa in considerazione.

Nel punto di inserzione delle foglie sulla corona si formano delle gemme che in base al numero di ore di luce (fotoperiodo) e ai valori giornalieri di temperatura, potranno differenziare e dare origine ad infiorescenze produttive, a stoloni oppure a germogli (Branzanti, 1985). Lo stolone è un germoglio lungo, sottile e strisciante sul suolo, è costituito da due nodi che portano, il primo, una gemma dormiente o sterile, il secondo è dotato di una gemma pronta con cellule meristematiche pronte a differenziare e dunque a generare una nuova piantina con corredo genetico uguale alla pianta da cui deriva. Questo

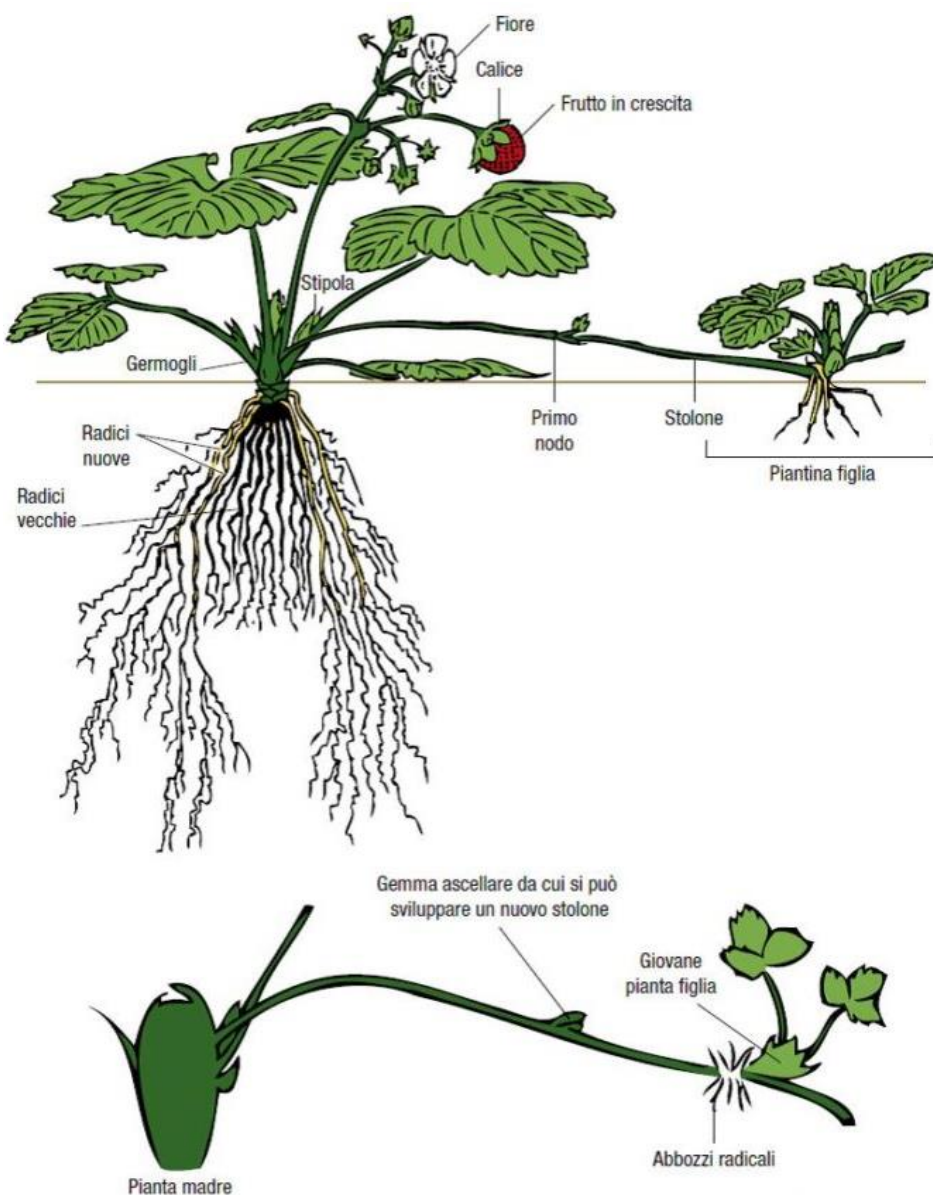


Fig. 3: Morfologia strutturale e stolonizzazione (Hancock, 1999).

succede se la pianta si trova in condizioni ambientali favorevoli, al contrario in condizioni avverse allo sviluppo si formerà un nuovo stolone (catene stolonifere). L'emissione di nuovi stoloni avviene durante la fase vegetativa, successiva a quella di fruttificazione, generalmente in estate: nei casi in cui la pianta non riesca a fruttificare, ad esempio a conseguenza di un diradamento dei fiori, la capacità di emettere stoloni aumenta notevolmente poiché tutte le gemme si orienteranno verso uno sviluppo vegetativo (Roudeillac et al., 1987).

I fiori, inseriti sul fusto o sui germogli all'ascella delle foglie, non sono singoli ma si riuniscono in infiorescenze a grappolo (gruppi fiorali anche detti racemi) e si sviluppano dalla gemma da punti di inserzione differenti formando i racemi, costituiti da un numero di fiori variabile (da 3 a 8) collocati su assi che presentano lunghezze differenti. Le infiorescenze sono ramificate e rappresentano le strutture terminali dello sviluppo dell'asse della corona, sono normalmente formate da un asse primario, due secondari, quattro terziari e otto assi quaternari, tutti terminanti con un fiore (Anderson et al., 1975). Questa suddivisione degli assi è dovuta al loro sviluppo scalare, ciò si riflette in una scalarità di produzione con differenze morfologiche significative nei frutti. La percentuale totale di antesi dei fiori primari e secondari diminuisce del 20% con i terziari e del 50% con i quaternari (Anderson et al., 1975). Il fiore delle cultivar utilizzate comunemente in fragolicoltura è stato definito fiore perfetto o ermafrodita, perché dotato di organi gamici sia maschili che femminili: gli stami corrispondono alla parte maschile del fiore, contengono il polline per fertilizzare i pistilli, ovvero la parte femminile del fiore posta sopra al ricettacolo. Tuttavia, bisogna menzionare varietà antiche, anche di *Fragaria x ananassa* o cloni di altre specie (dioiche), che presentano un fiore imperfetto ossia dotato di soli organi staminiferi o pistilliferi portati da individui di sesso diverso.

Ogni fiore perfetto è costituito da un calice composto da 5 o più sepali con margine intero o frastagliato, da una corolla di dimensione variabile con 5 petali di forma ellittica, ovale o arrotondata e colorazione che va dal bianco al rosato a seconda della varietà; verso l'interno troviamo numerosi stami ciascuno costituito da un filamento portante le antere che contengono il polline, al centro del fiore c'è il ricettacolo dove sono presenti i pistilli. La parte edule dell'infruttescenza deriva dal proprio dal ricettacolo, che porterà sulla sua superficie gli acheni sporgenti, affioranti o immersi a seconda dei fattori ambientali della crescita e della cultivar. Gli acheni si generano dopo che il pistillo viene impollinato e

fecondato, sono comunemente chiamati semi, ma rappresentano il vero frutto, secco e indeiscente. Sono portati dal ricettacolo del fiore che origina la fragola che mangiamo, la quale in realtà è un falso frutto: infatti il frutto edule della fragola è un'infruttescenza e non deriva dalle modificazioni dell'ovario, la fragola che mangiamo non è altro che il ricettacolo ingrossato di un'infiorescenza posizionata su di un apposito stelo. I frutti primari sono portati dagli assi primari e generalmente hanno dimensioni maggiori, forma irregolare, alto contenuto di semi e maturano prima rispetto agli altri. I frutti primari sono seguiti nella maturazione dai secondari, poi i terziari e così via in ordine scalare. Le caratteristiche morfologiche delle infruttescenze variano notevolmente in base al lavoro di selezione delle varietà attuato negli ultimi anni ma anche a seconda del luogo d'impianto della coltura e delle tecniche colturali adottate. Per avere frutti di forma regolare è necessario che tutti i pistilli vengano fecondati, perché se si presenta un'insufficiente impollinazione, ad esempio causata da condizioni climatiche inadeguate, la fecondazione avviene in maniera non uniforme e darà origine a frutti deformati, dunque non commercializzabili (Ariza et al., 2011). La maturazione ha luogo tra i 20 e i 30 giorni dopo la fioritura, ma comunque dipende dall'andamento stagionale. Le caratteristiche del frutto, come dimensione e colore, sono influenzate dai parametri ambientali, dalla varietà e dalla tecnica di coltivazione attuata, tuttavia il range di colori entro il quale orientare la fragola va dall'aranciato chiaro al rosso-aranciato, fino al rosso intenso. La colorazione deve risultare omogenea e quanto più brillante possibile in modo da essere invitante a livello commerciale, proprio per questo è molto importante che tali caratteri si mantengano nel tempo, anche dopo un periodo di frigoconservazione. La forma del frutto è strettamente collegata al genotipo e può essere reniforme, sferoidale, conica, conico-arrotondata, conico-allungata, oblata, quasi cilindrica, cordiforme, cuneiforme, biconica, e ovoidale. Non presenta una vera e propria buccia, ma un'epidermide che risulta più o meno resistente in base alla varietà e alla destinazione commerciale della stessa; può essere però influenzata anche dalla presenza degli acheni sull'epidermide, questi a livello superficiale possono determinare una maggiore resistenza agli urti e alle manipolazioni, al contrario se si trovano troppo immersi nella polpa, l'epidermide sarà esposta e conseguentemente ci sarà una maggiore probabilità di rotture. Il peso medio si aggira tra i 15 ed i 25 grammi in base alla varietà che si considera, attualmente quasi tutte superano i 20 grammi.

1.4 Classificazione delle cultivar: ciclo di crescita, esigenze ambientali e attitudine vegeto-riproduttiva

Il genere *Fragaria* nel suo complesso possiede una rilevante importanza economica che ha generato nel corso degli anni un'espansione del suo stesso mercato e ha condotto i ricercatori verso lo studio e la selezione di cultivar più efficienti sotto il punto di vista produttivo e dell'adattamento ambientale. Si è posta una particolare attenzione sull'induzione a fiore che, oltre a far assumere agli apici un'identità riproduttiva, rappresenta anche il prerequisito fondamentale per lo sviluppo dei frutti. Progressi significativi sono stati raggiunti nel chiarire i fattori genetici e i meccanismi molecolari alla base delle complesse risposte di induzione alla fioritura nelle piante di fragola: un importante passo in avanti è relazionato all'identificazione del "gene SFL" (seasonal flowering locus) in *Fragaria vesca* e la recente dimostrazione della sua funzione di interruttore genetico che controlla le risposte fotoperiodiche opposte dei differenti genotipi (Albani et al., 2004; Brown e Wareing, 1965). Alla luce di questo, i genotipi di fragola sono suddivisi in genotipi a fioritura stagionale, ovvero le cultivar brevidiurne o "short day", e in genotipi rifiorenti tra cui troviamo le neutrodiurne o "day neutral" e le longidiurne o "long day" (Koskela e Hytönen, 2018; Durner et al., 1984). Le piante a fioritura stagionale presentano l'allele dominante del gene SFL e sono caratterizzate da un periodo di fioritura limitato che generalmente si estende da fine aprile a inizio giugno, con relativa induzione florale che avviene nell'estate-autunno precedente, mentre quelle rifiorenti, che sono omozigoti per l'allele recessivo, fioriscono e fruttificano in modo più o meno continuo durante tutta la stagione di crescita (Albani et al., 2001). In entrambi i casi l'induzione e la differenziazione a fiore⁵ sono strettamente connesse al fotoperiodo e alla temperatura, avvengono nelle cellule apicali della corona e nelle rosette di foglie ascellari poste sui nodi più alti (Kurokura et al., 2013).

⁵ La formazione degli organi floreali all'interno delle gemme riproduttive avviene gradualmente attraverso diversi stadi di sviluppo che si susseguono con cambiamenti morfologici dell'apice ancora vegetativo al fiore completamente formato e pronto per la fioritura. A questi stadi di sviluppo sono attribuiti valori convenzionali che permettono di indicare l'avanzamento del processo di differenziazione all'interno delle piante quando se ne analizza l'architettura. Lo stadio di sviluppo viene stabilito in riferimento al fiore primario dell'infiorescenza, che risulta sempre più avanzato rispetto ai fiori laterali che si formano successivamente.

Entrambe le tipologie, la brevidiurna e la rifiorente, sono presenti sia tra le varietà selvatiche diploidi di *Fragaria vesca*, che tra le cultivar coltivate ottoploidi di *Fragaria x ananassa* (Albani et al., 2001).

1.4.1 Cultivar a fioritura stagionale

Quando si parla di cultivar a fioritura stagionale ci si riferisce a piante di fragola che avviano lo sviluppo vegetativo durante la stagione estiva generando germogli che poi produrranno fiori nella primavera successiva. La fase vegetativa è caratterizzata dalla formazione di organi riproduttivi asessuali costituiti da due internodi, cioè gli stoloni: originano in tarda primavera e se le condizioni ambientali di crescita sono favorevoli continuano a svilupparsi per tutta l'estate; in autunno le piante interrompono la produzione di stoloni, entrano in dormienza, le gemme ascellari si differenziano in rosette di foglie e, in conseguenza di tutto ciò, rallenta l'attività vegetativa. Inizia un periodo di vera e propria stasi e solo dopo il riposo invernale, ovvero in primavera, avverrà la ripresa vegetativa, con la fioritura, la crescita delle infiorescenze e la fruttificazione (Kurokura et al., 2013). Se consideriamo cultivar brevidiurne, l'inizio della dormienza può essere accelerato dalla riduzione del fotoperiodo combinato con esposizione a rigide temperature (Kurokura et al., 2013). Sarà poi il superamento della dormienza, con le basse temperature invernali, a permettere un vigoroso sviluppo vegetativo in primavera, ma affinché avvenga il passaggio di fase, è necessario che sia soddisfatto un preciso fabbisogno in freddo, questa esposizione a basse temperature, che poi determina l'induzione fiorale, è detta vernalizzazione.

In letteratura si possono trovare numerosi riferimenti che identificano la dormienza in fragola come una “semi-dormienza”, poiché la crescita della pianta non si arresta del tutto, ma viene solamente limitata, per poi ripartire non appena le condizioni tornino favorevoli (Sønsteby e Heide, 2006; Kurokura et al., 2013).

Il riposo vegetativo è un processo fisiologico strettamente connesso con la dormienza e con il successivo sviluppo vegetativo. Il raggiungimento del fabbisogno richiesto durante il periodo di

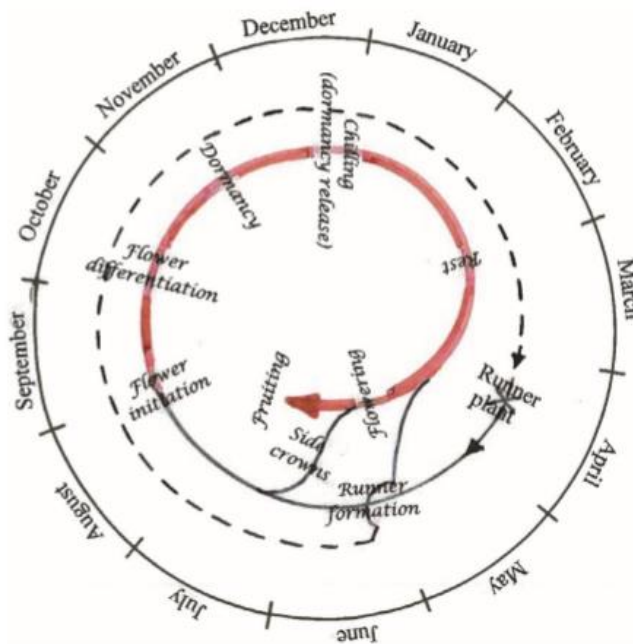


Fig. 4: Illustrazione del ciclo di crescita annuale di una pianta di fragola unifera cresciuta all’aperto in condizioni naturali nell’emisfero nord. La linea rossa denota la fase riproduttiva dello sviluppo della pianta, mentre quella tratteggiata mostra lo sviluppo di una nuova pianta formata a partire da stoloni (Heide et al., 2013).

riposo e le calde temperature primaverili permettono l’uscita dalla dormienza, promuovendo così la crescita delle gemme a fiore, l’allungamento dei piccioli, la formazione di nuovi stoloni e delle foglie (Guttridge, 1958, Heide et al., 2013). Chiaramente la cultivar considerata e le condizioni ambientali giocano un ruolo fondamentale sui tempi di inizio della fioritura, che nelle zone temperate avviene verso settembre-ottobre. È scientificamente dimostrato che la crescita vegetativa e la fioritura delle fragole siano strettamente controllate dall’interazione col termo-fotoperiodo. Il ciclo di vita annuale delle cultivar a crescita stagionale contestualizzato nella tipologia di clima temperato dell’emisfero boreale⁶, come illustrato nella Figura 4, contribuisce in modo determinante a identificarle come piante che per avviare l’induzione a fiore richiedono un fotoperiodo inferiore alle 14 ore di luce e temperature attorno ai 15°C. Tuttavia, il

⁶ L’emisfero boreale anche detto emisfero nord o settentrionale rappresenta la calotta emisferica del globo terrestre posta a nord dell’equatore, quindi con latitudine N. In questo emisfero l’inverno va dal 21 dicembre al 20 o 21 marzo, l’estate dal 21 giugno al 22 o 23 settembre. Il solstizio d’estate avviene il 21 giugno, quello d’inverno il 21 dicembre; l’equinozio d’autunno avviene il 23 settembre, quello di primavera il 21 marzo.

fotoperiodo critico varia notevolmente tra le cultivar e risulta fortemente modificato dalla temperatura: spesso si afferma, erroneamente, che l'induzione fiorale nelle fragole non rifioranti sia indotta da giornate brevi e basse temperature, ma è stato più volte dimostrato che temperature fino ai 18°C, in condizioni brevidiurne (circa 12 ore di luce), risultassero ottimali per l'induzione a fiore, mentre lo stesso effetto appare notevolmente ridotto con temperature $\leq 12^{\circ}\text{C}$ e $\geq 22^{\circ}\text{C}$ (Heide et al., 2013; Sønsteby e Heide, 2006); così temperature superiori ai 20°C diventano realmente critiche per l'induzione fiorale delle unifere e la fioritura risulterà quasi del tutto soppressa. Bisogna dunque considerare il fatto che le cultivar si differenzino per loro sensibilità alla temperatura, tanto che ogni cultivar di fragola a fioritura stagionale presenta una sua specifica curva di risposta al termo-fotoperiodo che ne determina la sua adattabilità ambientale specifica.

Le condizioni induttive devono persistere per un certo numero di cicli (compreso tra le 7 e le 14 settimane) variabile in base al genotipo, ma una volta percepito lo stimolo il meristema viene "determinato" e le piante potranno iniziare la fase di fioritura. Il meccanismo attraverso il quale le piante misurano il tempo fotoperiodico è molto complesso e non è tuttora completamente chiaro, le teorie più accreditate ipotizzano una serie unidirezionale di reazioni biochimiche, attivata dall'inizio del periodo di buio (ipotesi della clessidra), oppure il coinvolgimento di un ritmo circadiano dettato dalla durata della fase oscura (ipotesi dell'orologio endogeno). In ogni caso, è stato dimostrato che nelle piante foto-inducibili lo stimolo a fiorire viene elaborato nelle foglie, quindi trasferito al meristema apicale e, sia in brevidiurne che in longidiurne, coinvolge il fitocromo (fotorecettore del rosso e del rosso lontano) e, nelle longidiurne anche il criptocromo (fotorecettore del blu) (Kumakura e Shishido, 1995).

Per la produzione commerciale in serra si raccomanda normalmente un periodo di almeno 3-4 settimane. Secondo gli studi condotti da Guttridge (1985), il numero critico di cicli per l'induzione risulta essere simile, sia che lo stimolo induttivo avvenga con fotoperiodi brevi sia con basse temperature. In generale, le cultivar precoci rispondono più rapidamente avendo bisogno di meno cicli rispetto a quelle più tardive, mentre le basse temperature (attorno ai 9°C) ritardano significativamente l'induzione fiorale in entrambi i casi. Quando il periodo di esposizione necessario viene esteso oltre la durata limite considerata di 14 settimane, l'induzione fiorale aumenta linearmente con l'aumentare dei cicli, questo aumento è dovuto principalmente all'incrementarsi del numero di

infiorescenze, però in realtà il numero di fiori per infiorescenza diminuisce costantemente con tali periodi di prolungata esposizione (Konsin et al., 2001).

Oltre alla luce e alla temperatura, anche altri fattori come l'approvvigionamento idrico e la nutrizione minerale possono influenzare il processo di entrata in fioritura della fragola. Sottoporre la pianta a stress nutrizionali temporanei causa senza alcun dubbio inibizione della crescita, tuttavia è stato dimostrato che tali condizioni, tutt'altro che induttive, possano innescare l'induzione a fiore. La letteratura riguardante la nutrizione della fragola è ampia, ma l'interpretazione delle risposte risulta molto complessa, perché dosi di nutrienti stimolanti la crescita possono da un lato inibire la formazione di fiori, ma allo stesso tempo il numero di infiorescenze potrebbe aumentare qualora la risposta alla fertilizzazione fosse la produzione di una pianta più grande con una fioritura potenzialmente maggiore. Aumentare l'apporto di nutrienti partendo da un basso livello solitamente incrementa la fruttificazione, ma un eccesso soprattutto nelle somministrazioni azotate può inibire la formazione di fiori (Opstad et al., 2011).

1.4.2 Cultivar rifioventi

A differenza delle cultivar a fioritura stagionale, i genotipi rifioventi producono molte volte durante tutto il ciclo colturale della fragola, possono differenziare in qualsiasi momento dell'anno e di conseguenza continuare a indurre la fioritura fino in autunno. In passato si consideravano le cultivar rifioventi esclusivamente come piante longidiurne, formanti frutti con le lunghe giornate estive, tuttavia con l'introduzione di nuove cultivar, principalmente provenienti da incroci di cloni selezionati di *Fragaria virginiana ssp. glauca* con cultivar unifere brevidiurne, è scaturita la concezione che queste fossero neutrodiurne (Stewart e Folta, 2010). Da quel momento in poi nella letteratura diviene consuetudine distinguere le rifioventi in longidiurne e neutrodiurne (Durner et al., 1984). La rifiovenza è un carattere a controllo poligenico che risulta particolarmente visibile con temperature moderate e giornate dalla durata superiore alle 12 ore di luce, infatti la differenziazione delle gemme e l'induzione florale vengono favorite da giornate lunghe combinate con temperature comprese tra i 15 e i 21°C (Sønsteby e Heide, 2007). Queste condizioni stimolanti dipendono molto dalla diversa sensibilità delle piante alle condizioni ambientali e vengono percepite dagli apici meristemati dei germogli in attiva

crescita. È stato però dimostrato che con temperature crescenti fino a circa 27°C e condizioni di lunga durata del giorno, la fioritura venga stimolata. Pertanto, è possibile attivare la fioritura con alte temperature passando da condizioni brevidiurne a longidiurne. Al contrario, con basse temperature, ad esempio attorno a 9°C, il fotoperiodo non influenza la fioritura che risulta molto ritardata. Dunque, le piante con fioritura perpetua possono definirsi come piante qualitativamente longidiurne ad alte temperature e piante quantitativamente longidiurne a temperature intermedie; vengono dette piante neutrodiurne quelle che, indipendentemente dal fotoperiodo, inducono le gemme a fiore a temperature anche inferiori ai 10°C (Sønsteby e Heide, 2007).

Condizioni di temperatura elevata e fotoperiodo breve determinano una diminuzione della fioritura per le neutrodiurne: queste cultivar esposte a poche ore di luce al giorno con 20-25°C di temperatura media rispondono a questo stimolo con una scarsa produttività; il range di temperature tra i 13°C e i 18°C è stato individuato come intervallo ottimale per garantire un discreto numero di infiorescenze, una buona allegagione e un ideale peso dei frutti (Manakasem e Goodwin, 2001).

1.5 Miglioramento genetico

La costituzione genetica è considerata ciò che più influenza le prestazioni di una pianta, le sue proprietà nutrizionali ed i livelli produttivi, infatti è proprio lavorando sul genotipo si possono ottenere miglioramenti qualitativi importanti con la possibilità di costituire varietà economicamente valide.

L'arte del miglioramento genetico risiede nelle capacità del miglioratore, o breeder, di osservare ed individuare piante con caratteristiche interessanti, di adattamento ambientale, di valore nutrizionale ed anche estetico, col fine di selezionare del materiale migliorato sotto vari punti di vista come la resilienza, l'incremento delle dimensioni del frutto e della sua dolcezza, della concentrazione di molecole bioattive, unito ad una resa produttiva ottimale. Tuttavia, è necessario chiarire che tali obiettivi, strettamente dipendenti dal genotipo, dipendono anche da fattori agronomico-ambientali che interagiscono tra loro, ovvero da aspetti che interessano, direttamente o indirettamente, la crescita e lo sviluppo della pianta in questione: fattori climatici, gestionali, edafici e le

loro influenze reciproche possono essere determinanti nella comprensione della risposta quali-quantitativa della coltura che si vuole migliorare (Pardossi et al., 2018).

Solo all'inizio dell'800 si compresero le reali potenzialità di questa pianta e le prime attività di breeding condotte in Europa risalgono proprio a quel periodo (Andreotti et al., 2010).

Prima che si possedessero le conoscenze scientifiche attuali, il lavoro di miglioramento genetico si basava solamente sull'ibridazione⁷ e sulla selezione, mentre ad oggi si sono aggiunti ulteriori soluzioni tecniche come l'uso dei marcatori molecolari e l'ingegneria genetica. Inoltre, le acquisizioni della genetica di base hanno permesso di non dover più fare affidamento esclusivamente sulla propria capacità di individuare delle varianti con le quali costituire nuove varietà, ma di poter anche pianificare un programma con degli obiettivi ben precisi da raggiungere (Barcaccia e Falcinelli, 2012). Migliorare una specie di fragola coltivata implica l'adozione di metodi e schemi di lavoro che sono fortemente influenzati dall'elevato livello di ploidia e dalla sua accentuata interazione con l'ambiente. L'obiettivo principale è quello di modificare il patrimonio genetico al fine di migliorarne molteplici caratteristiche: incrementi qualitativi o quantitativi di prodotto, resistenza a stress biotici (insetti, virus, batteri, funghi) e abiotici (freddo, siccità, salinità) rappresentano i principali obiettivi del breeding (Barcaccia e Falcinelli, 2012).

Attualmente il breeding della fragola si caratterizza per lo sviluppo di un elevato numero di programmi di miglioramento che hanno avuto un grande successo e hanno consentito l'affermazione di varietà dotate di ampia adattabilità a diversi ambienti, pienamente soddisfacenti per produttori e consumatori. La selezione interessa le piante figlie che combinano i migliori caratteri di ciascuno dei due genitori; nelle generazioni successive, si useranno come parentali le migliori selezioni della precedente generazione di incroci, geneticamente distanti per evitare fenomeni di inbreeding⁸.

⁷ L'ibridazione rappresenta l'incrocio interspecifico, quindi tra due individui appartenenti a specie o generi diversi. Si ricorre all'ibridazione quando si vuole accrescere il livello di variabilità genetica, oltre a quella già naturalmente presente entro una data specie. Lo scopo si può raggiungere ricorrendo ad altre specie (anche selvatiche) nell'ambito dello stesso genere o ad altro genere, purché intercompatibile dal punto di vista florale. L'ibridazione però può comportare alcuni inconvenienti come l'aumento dei tempi di selezione e la sterilità degli ibridi che impedisce la continuazione di un piano di selezione.

⁸ L'inbreeding, o inincrocio, è l'unione sessuale tra gameti di uno stesso individuo (autofecondazione) o di individui strettamente imparentati (consanguinei). L'utilizzo ripetuto degli stessi genitori in successivi incroci causa depressione di vigore e della fertilità florale (depressione da inbreeding) nelle popolazioni

Un'altra strategia, adottata per migliorare caratteri a controllo poligenico additivo, consiste nella tipologia di incroci tra parentali “simile x simile”, già caratterizzati da un buon livello del carattere in esame. Il successivo lavoro di selezione sarà rivolto all'individuazione di genotipi superiori per il carattere ricercato.

Tutti i piani di breeding genetico hanno in comune obiettivi generali quali fiore perfetto, produzione elevata e costante, buon equilibrio vegeto-produttivo e scarsa suscettibilità (o resistenza) a stress biotici e abiotici. Inoltre, ogni programma ha scopi specifici che dipendono dalle condizioni climatiche o da obiettivi particolari (Kruger et al., 2012).

1.5.1 Tecniche di miglioramento genetico

Le tecniche di miglioramento delle genetiche di fragola si basano sulle diverse tipologie di incrocio che vengono adottate. L'incrocio permette di riunire i caratteri presenti nei due genitori, infatti si presume che i genotipi scelti come parentali presentino complessivamente i caratteri dell'ideotipo⁹ che si vuole produrre e dovrebbero essere precedentemente valutati per la loro attitudine combinativa.

- a) *Auto-incrocio* (autofecondazione): generalmente non viene utilizzata per la costituzione di nuove varietà poiché genera una notevole depressione da inbreeding con relativa perdita di vigore, che si manifesta in maniera tanto più intensa quanto più numerosi sono i cicli di autofecondazione subiti dalle piante, e che rende più difficile, nonché più casuale, il lavoro di selezione. Solo in alcuni casi, si usa per reincrociare le generazioni F1 con i suoi parentali più interessanti, per trarre vantaggio dalla variabilità additiva di alleli implicati nel controllo di determinati caratteri poligenici e quindi selezionare gli individui con fenotipi segreganti più estremi rispetto ai parentali (Spangelo et al., 1971);
- b) *Ibridazione Intra-Specifica*: rappresenta un incrocio tra piante di cultivar o selezioni appartenenti alla stessa specie. È il metodo maggiormente utilizzato poiché sfrutta la capacità combinativa e allo stesso tempo impedisce l'accumulo

risultanti, dovuta alla presenza di varianti genetiche negative che si accumulano (Barcaccia e Falcinelli, 2007).

⁹ Pianta coltivata che riassume in sé tutte le caratteristiche morfologiche, fisiologiche, chimiche e qualitative necessarie a dare il massimo rendimento nelle condizioni di crescita.

di fenomeni di consanguineità. Ha lo scopo di apportare variabilità genetica sulla quale selezionare nuovi individui con caratteristiche qualitative interessanti, è divenuta la migliore metodologia per ottenere un gran numero di varietà. Nella fragola, la poliploidia e l'eterozigosi delle popolazioni generano una buona variabilità, sfruttata per combinare in un unico genotipo i caratteri genetici presenti in due o più genotipi differenti. In questo tipo di programma di incrocio si usa uno schema di ricombinazione complementare di alcuni cloni interessanti e di cui si conosce il genotipo, successivamente viene effettuata un'attività di selezione sulla progenie ottenuta dai semenzali, svolta in varie prove per avere informazioni statisticamente valide sulle performances dell'ibrido ottenuto. Gli ibridi che superano le prime fasi di valutazione si indicano come selezioni, vengono moltiplicate e poi valutate ogni anno, se risultano interessanti verranno impiegate in nuovi programmi di incrocio, usando come parentali le selezioni migliori della generazione precedente, di particolare interesse per la loro dimostrata attitudine a trasmettere specifici caratteri che vengono ricercati (Faedi et al., 2002). Successivamente, le selezioni verranno confrontate con le varietà di riferimento e, quelle che presenteranno caratteri di pregio, saranno indirizzate verso la diffusione come nuove cultivar, solo nel caso in cui diano risultati positivi per almeno tre anni consecutivi anche in ambienti diversi per valutare la capacità adattativa;

- c) *Ibridazione Inter-Specifica*: è l'incrocio tra piante appartenenti a specie diverse, utilizzato per la ricerca di caratteri non presenti nella specie *Fragaria x ananassa* ma presenti nel genotipo di altre. Le specie ottoploidi appartenenti al genere *Fragaria* sono interfertili e alcune varietà antiche talvolta posseggono caratteri che i breeder tentano di introdurre nelle specie coltivate, proprio per questo, tale tipo di ibridazione è da sempre uno strumento interessante finalizzato al miglioramento genetico della fragola. Il trasferimento di caratteri è spesso complicato dalla presenza di più alleli che controllano lo stesso carattere e possono portare a risultati quantitativamente o qualitativamente diversi, quali dimensioni ridotte dei frutti, bassa fertilità, suscettibilità ad alcuni patogeni; per questo motivo occorrono diversi cicli di reincrocio e selezione ricorrente prima di ottenere ibridi che presenteranno i caratteri genici di interesse nel loro fenotipo.

Inoltre, sono necessarie popolazioni ampie di semenzali per comprendere la segregazione dei numerosi caratteri coinvolti in un programma di incrocio. L'ibridazione di specie con differente ploidia presenta difficoltà relative alla sterilità delle generazioni F1, tuttavia, il numero cromosomico delle specie che hanno un livello di ploidia più basso è facilmente raddoppiabile tramite l'uso della colchicina¹⁰, che aggiunta in una coltura di cellule vegetali, inibisce la formazione del fuso con conseguente blocco della mitosi. In questo modo l'assenza di migrazione dei cromosomi ai poli determina la formazione di un nucleo con un numero di serie omologhe di cromosomi raddoppiato; ripetendo tale procedimento più volte si generano nuclei poliploidi. Così diviene possibile muovere artificialmente i geni tra i livelli di ploidia ed esistono alcuni metodi per il trasferimento dei geni da molte specie alle ottoploidi. Con queste tecniche risulta possibile trasferire in *Fragaria x ananassa* caratteri utili quali l'aroma della diploide *Fragaria vesca* o l'intenso sapore moscato dell'esaploide *Fragaria moschata* (Bringhurst e Voth, 1984).

- d) *Ibridazione Inter-Generica*: presenta notevoli difficoltà dovute ad una serie di barriere, pre e post-zigotiche, che si oppongono all'incrocio tra generi diversi. Sono state effettuate molte prove finalizzate ad ottenere ibridi di piante del genere *Fragaria* e di individui del genere *Potentilla*, ma gran parte di esse si sono concluse con dei fallimenti, perché gli ibridi ottenuti in genere sopravvivono per poco tempo oppure presentano sterilità (Macfarlane et al., 1985). Sebbene l'ibridazione intergenerica tra *Fragaria* e *Potentilla* sia senza dubbio una fonte addizionale di caratteri utilizzabili, soprattutto per la resistenza ai patogeni, la notevole variabilità già reperibile nelle specie ottoploidi selvatiche rende per ora non necessari i tentativi di incorporare in *Fragaria x ananassa* materiale proveniente da altre specie o altri generi.

¹⁰ La colchicina (C₂₂H₂₅NO₆) è un alcaloide estratto dalle piante del genere *Colchicum*, in particolare *Colchicum autumnale*, presente anche in piante del genere *Gloriosa* e *Androcymbium*. Legandosi alla subunità fondamentale dei microtubuli, la tubulina, ne causa la depolimerizzazione e ciò determina un effetto antimitotico per la mancata genesi del fuso mitotico (Capasso et al., 2011).

1.5.2 Modello utilizzato dai principali programmi di miglioramento genetico

Gli obiettivi del miglioramento genetico della fragola fanno riferimento a specifiche caratteristiche che corrispondano alle esigenze dei coltivatori, alle richieste dei consumatori e al rispetto dell'ambiente, ottenendo così anche una valorizzazione sotto il punto di vista economico.

La prima prova da affrontare è quella che riguarda la scelta dei parentali che possiedono caratteri fenotipici interessanti: rilevare tali caratteri in due genitori non è così semplice come sembra, è il risultato di studi approfonditi, sia a livello genotipico che fenotipico, i quali consentono di evidenziare caratteristiche notevoli e di conoscere la capacità di trasmissione dei caratteri osservati nella generazione successiva. Prima di procedere con l'incrocio, i genotipi dei parentali selezionati, che possiedono le qualità dell'ideotipo da ottenere, devono essere valutati anche per ciò che riguarda la loro attitudine combinatoria generale o specifica. Una buona attitudine combinatoria generale indica la capacità di quel genitore di produrre una progenie che porterà quel determinato carattere fortemente espresso. Quella specifica è invece la predisposizione di un determinato genotipo a dare una buona progenie quando viene incrociato con un particolare genitore. Oltre all'attitudine alla combinazione, i piani di incrocio sono utili anche per valutare l'ereditabilità dei caratteri quantitativi¹¹, calcolata come regressione tra la media della famiglia e la media dei due parentali (Sansavini et al., 2012).

¹¹ Il parametro assume valori compresi tra 0 e 1, più è elevato maggiore sarà la corrispondenza tra il fenotipo ed il genotipo. Una ereditabilità superiore a 0,3 permette di fare selezione sugli individui singoli sulla base del loro fenotipo, mentre valori più bassi richiedono una selezione tra famiglie ed entro famiglie per avere maggiori probabilità di vedere migliorato il carattere oggetto di selezione.

I requisiti considerati fondamentali nel processo di selezione dei parentali, sono caratteri evidenziati che interverranno nel processo di definizione degli obiettivi del miglioramento genetico. A livello generale ci si riferisce a produttività elevata, qualità sensoriale, qualità nutrizionale e resilienza; requisiti più specifici sono quelli legati all'impiego diretto di una particolare selezione e sono rappresentati da caratteri come la resistenza a stress abiotici e biotici, il fabbisogno di ore in freddo, la resistenza del frutto

| Obiettivi del miglioramento genetico | |
|--------------------------------------|--|
| ✓ Elevata produttività | ✓ Resistenza e/o tolleranza alle principali malattie |
| ✓ Aumento pezzatura del frutto | ✓ Aumento della qualità: |
| ✓ Forma del frutto | 1. Consistenza |
| ✓ Elevato vigore delle piante | 2. Colore |
| ✓ Fiore perfetto | 3. Sapore |
| | 4. Valore nutrizionale |

Tab. 1: Obiettivi del miglioramento genetico della fragola.

alle manipolazioni. I principali obiettivi del miglioramento genetico applicato alle piante di fragola si possono riassumere come illustrato nella Tabella 1.

Generalmente, il primo obiettivo dei piani di miglioramento genetico delle piante di interesse orticolo è stato, fin dalla loro domesticazione, l'ottenimento di produzioni unitarie sempre più elevate (Pardossi et al., 2018).

Chiaramente, tale incremento diventa determinante nell'ottica di abbattere i costi di gestione della coltura e di renderla più economicamente vantaggiosa. Il rapporto tra la biomassa utile raccolta e quella totale, che corrisponde all'indice di raccolta (*harvest index*, HI), è considerato uno dei parametri principali che ha permesso di elevare la percentuale di biomassa utile rispetto a quella prodotta dalla pianta. Oltre all'incremento dell'efficienza produttiva, altre caratteristiche agronomiche perseguite dai breeder, riguardano ad esempio il portamento dell'infiorescenza o del frutto, l'habitus della pianta, l'efficienza d'uso dell'acqua o dell'azoto (*Water Use Efficiency*, *Nitrogen Use Efficiency*) e la sensibilità al termo-fotoperiodo ai fini dell'avvio della fase riproduttiva della pianta per ampliare i calendari di produzione ed infine il distacco agevolato del frutto.

Un altro fattore che permette non solo di incrementare le produzioni ma anche di stabilizzarle nel tempo è l'individuazione di resistenze e/o tolleranze alle fitopatie. Proprio il controllo genetico e lo studio dei processi molecolari alla base delle diverse

patologie vegetali, ha permesso di migliorare la gestione del carico produttivo e la qualità del prodotto stesso: come riportano Mezzetti e Gentile (2005), in cultivar di fragola quali “Firework” e “Selekta” è stato ottenuto l’aumento della tolleranza a *Botrytis cinerea* grazie all’espressione del gene *thaul* che ha determinato l’accumulo di *thaumatin II*¹²; in natura, la sintesi di questa proteina viene indotta all’interno di piante originarie dell’Africa occidentale come risposta ad un attacco da parte di patogeni viroidi e solo studiando questi meccanismi biochimici si è capito come la classe di molecole definite “taumatine” mostrino una significativa inibizione in vitro della crescita ifale e della sporulazione da parte di vari funghi. A tal proposito, fragole cloni *thaul* si sono distinte per l’aumento della produttività ma soprattutto per l’aumento notevole del contenuto zuccherino dei frutti (Mezzetti e Gentile, 2005).

Tale obiettivo di controllo genetico, finalizzato allo studio di resistenze e tolleranze, ha permesso di costituire nuove varietà di fragola che ben si adattano ai metodi biologici di produzione, consentendo anche di ridurre l’impiego di agrofarmaci (Mezzetti et al., 2004).

Quando parliamo di resistenze e tolleranze si devono considerare anche gli stress abiotici che influenzano non poco la fragolicoltura: il cambiamento climatico in atto ha concentrato ulteriormente l’attenzione, oltre che sulla resistenza alle basse e alle alte temperature, anche agli stress osmotici, determinati sia dalle limitate risorse irrigue, sia dalla salinità dell’acqua e del terreno agrario, alle eccessive precipitazioni pluviometriche che possono generare condizioni di asfissia radicale. Inoltre, l’attenzione è stata rivolta anche alla capacità di adattamento della pianta di fragola alle caratteristiche subottimali del suolo in termini di pH, di contenuto in calcare attivo, di tessitura del terreno (Pardossi et al., 2018).

Tra gli obiettivi dei piani di miglioramento genetico, negli ultimi decenni, si è posta una particolare attenzione alla qualità del prodotto, dal punto di vista nutrizionale, organolettico, tecnologico e commerciale. La richiesta del mercato di frutti caratterizzati da tratti salutistici di pregio ha consentito di migliorare il contenuto in composti bioattivi,

¹² La taumatina, anche nota come talina, è una molecola proteino-simile contenuta nel frutto africano del Katemfe, *Thaumatococcus daniellii*. È considerata un prototipo per via di un dominio proteico di risposta ai patogeni. È circa tremila volte più dolce del comune zucchero ed è composta da due proteine la thaumatin I e la thaumatin II (FAO, 1999).

in particolare quelli antiossidanti, arrivando a produrre fragole con standard qualitativi elevati (Mezzetti et al., 2005).

Inoltre, l'interesse dei ricercatori è stato posto sul controllo dei processi di degradazione che si iniziano ad attivare con la raccolta, concentrandosi sul mantenimento della turgidità cellulare nel tempo si è potuta migliorare nettamente la *shelf life*¹³ del prodotto (Pardossi et al., 2018).

La maggior parte dei programmi di miglioramento genetico sono impostati seguendo un modello ben preciso che si sviluppa partendo dalla definizione dell'area alla quale si deve rivolgere il programma (areali nord e areali sud) e le sue esigenze in fatto di cultivar di fragola, così si potranno predisporre i campi di valutazione agronomica del materiale vegetale esistente per individuare quello che presenta la maggiore adattabilità pedoclimatica. Una volta ottenuto, si effettuano gli incroci fra questo materiale usando uno schema di ricombinazione complementare, per sfruttare la varianza non additiva¹⁴ e la capacità combinatoria specifica dei parentali, così si usa la complementarità dei parentali per due caratteri e incrociandoli si potranno selezionare piante migliorate per quanto riguarda caratteri come la produttività e la qualità dei frutti (Baruzzi et al., 2009). La scelta dei parentali viene effettuata sulla base delle performance di numerosi genotipi già osservati e caratterizzati per la loro efficienza relazionata all'areale di coltivazione, ciò si fa col fine di individuare i migliori parentali in grado di apportare uno o più caratteri marcatamente espressi in quell'ambiente specifico (Baruzzi et al., 2009).

La selezione interessa le piante F1 che combinano i migliori caratteri di ciascun genitore. Nelle generazioni successive si usano come parentali le migliori selezioni F1 della precedente generazione di incroci, geneticamente distanti per evitare il fenomeno di inbreeding; a questo punto, le progenie ottenute vanno coltivate e selezionate nella stessa area a cui è rivolto il programma. I semenzali vengono allevati in serra dove per alcuni caratteri si effettua una selezione precoce, ad esempio con l'inoculo di patogeni interessanti per un obiettivo di miglioramento genetico specifico, mentre invece per altri

¹³ La *shelf life* di un prodotto corrisponde al periodo di tempo (dalla produzione alla vendita) in cui tale prodotto può essere tenuto in negozio prima di diventare inadatto alla vendita o al consumo.

¹⁴ Con varianza non additiva si intende la possibilità di ottenere combinazioni genetiche che permettano di esprimere caratteri non additivi, simili ai due parentali.

caratteri si opererà in maniera indiretta tramite l'utilizzo di una selezione assistita da marcatori molecolari MAS (marker assisted selection) (Sansavini et al., 2012).

Una strategia alternativa consiste nell'incrociare parentali con metodologia "simile x simile", ossia dotati di un buon livello del carattere in esame, per trarre vantaggio dalla variabilità additiva e selezionare segreganti trasgressivi migliori dei due genitori.

In entrambi i casi, l'attività di breeding si basa su quella che viene definita la *cross pollination*, ovvero il metodo più adatto a sfruttare la capacità combinatoria che regola la trasmissione dei caratteri quantitativi, consiste nel prelievo del polline da un genotipo per fecondare l'ovocellula di un altro (Pattemore, 2017). La raccolta del polline viene effettuata raccogliendo i fiori qualche giorno prima della piena antesi e poi si procede ad esporre le antere all'aria, in ambiente controllato, per favorire la loro disidratazione che avviene in 24-48 ore. Bisogna fare molta attenzione a non provocare commistioni tra pollini diversi e ad evitare un eccessivo compattamento, proprio per tale ragione è bene che non venga setacciato dai residui delle antere. Si può conservare in frigorifero durante il periodo delle impollinazioni e successivamente in azoto liquido o a -80°C per consentire una prolungata conservazione. Per effettuare l'incrocio, può rivelarsi utile rimuovere la corolla e le antere prima della loro deiscenza, lasciando solamente il pistillo, così da evitare eventuali visite da parte dei pronubi sulle piante madre. Successivamente, il polline viene depositato sullo stigma mediante un pennello, o anche con i polpastrelli, e si procede all'isolamento dei fiori tramite sacchetti di carta o di tessuto sintetico. I fiori demascolati invece non necessitano di protezione, in quanto non vengono visitati dai pronubi (Lata et al., 2018).

Successivamente allo sviluppo vegetativo dei semenzali pre-selezionati, la selezione si evolve in maniera differente a seconda che sia messo in atto un processo naturale o artificiale: la selezione naturale consiste nell'osservare la manifestazione dei caratteri durante il normale sviluppo della pianta ed eventuali reazioni al presentarsi di stress biotici o abiotici; la selezione artificiale ricorre all'imposizione di stress artificiali nei casi in cui non sia conveniente attendere la manifestazione naturale dello stress, o quando si voglia effettuare lo stress sul materiale da saggiare in condizioni di maggiore omogeneità e uniformità rispetto a quanto si verifichi in natura. Consiste nel porre il materiale vegetale sotto condizioni indotte artificialmente, volte a produrre selezioni adatte alla coltivazione in distinti areali pedoclimatici, con differenti fattori di stress. La selezione precoce si

utilizza principalmente per valutare i caratteri legati alla resistenza ad avversità biotiche (virus, funghi, batteri e insetti) e abiotiche (salinità, asfissia, clorosi ed eccessi termici). Vengono utilizzati test di resistenza e vengono trapiantati in pieno campo solamente quei semenzali che hanno superato i test di resistenza. La selezione artificiale può avvenire anche in maniera indiretta, ovvero assistita da marcatori molecolari, in pratica, il breeder anziché operare la selezione sul carattere che interessa, opera la selezione su un marcatore strettamente associato¹⁵ a quel carattere (Bolda et al., 2015).

La selezione delle progenie di semenzali ottenuti dagli incroci viene eseguita direttamente nei campi sperimentali e la successiva valutazione del materiale ottenuto avviene tenendo conto di rilievi oggettivi eseguiti secondo la metodologia ben collaudata nell'ambito dei progetti MiPAAF "Frutticoltura" e Liste di Orientamento Varietale. Il materiale selezionato, ovvero i semenzali selezionati, viene generalmente moltiplicato e trasferito nel campo sperimentale di I livello, per poi seguire col II ed infine il III, infatti il processo selettivo prevede tre stadi corrispondenti ad altrettante fasi di valutazione. Questa procedura graduale tiene conto della necessità di combinare le caratteristiche di efficienza produttiva e vigore vegetativo unite al miglioramento della qualità, compresi i concetti di qualità sensoriale e nutrizionale.

- 1) Campo di I livello: è il primo stadio che affrontano le piante nelle procedure di selezione, infatti passiamo dal considerare un'unica pianta ad una parcella singola, costituita dalla selezione effettuata sui semenzali. I rilievi effettuati in campo riguardano pochi ma fondamentali caratteri morfologici (vigore e portamento) e fenologici (epoche di germogliamento, fioritura e maturazione dei frutti), oltre alla produttività. Occasionalmente può essere utile raccogliere dati che riguardano la sensibilità ad avversità abiotiche (danni da freddo invernali e primaverili) e biotiche (sensibilità o resistenza a patogeni e fitofagi). Nel I livello si eseguono dei rilievi di tipo oggettivo sulle piante che presentano caratteri interessanti, mentre su tutte le altre si fanno valutazioni di tipo soggettivo;
- 2) Campo di II livello: prima del passaggio al secondo stadio di selezione, bisogna effettuare i test diagnostici (visivi, immunologici) sul materiale selezionato per

¹⁵ Per "strettamente associato" si intende che quel marcatore e quel carattere non danno ricombinazione o la danno con frequenza trascurabile dal punto di vista pratico, perché le loro sequenze sono sullo stesso cromosoma e molto vicine l'una all'altra.

ricercare l'eventuale presenza di patogeni, un'attenzione particolare va posta sulle batteriosi e sugli endofiti (virus, fitoplasmi), che potrebbero compromettere la diffusione commerciale della nuova cultivar. Solo quelle che vengono giudicate come le selezioni migliori del campo di I livello passano al II livello, qui il processo selettivo inizia a valutare le piante non più in una parcella singola bensì in parcelle ripetute in cui è prevista l'inclusione di cultivar commerciali per poter effettuare dei confronti a parità di condizioni agronomiche. Anche qui si eseguono valutazioni oggettive e rilievi sui frutti dopo la raccolta al fine di accertare le caratteristiche qualitative e sensoriali, i risultati permettono di scegliere due selezioni migliori che entrano nel campo di III livello per la valutazione delle selezioni di valore pre-commerciale;

- 3) Campo di III livello (Test pre-commerciale): solamente le selezioni che risultano decisamente superiori allo standard varietale di mercato possono transitare al terzo stadio, che si basa sulla partecipazione di soggetti esterni al costituente come singole aziende agricole private. Il campo di III livello rappresenta la fase di valutazione finale precedente al licenziamento, e quindi all'introduzione sul mercato, in cui si vogliono accertare i comportamenti delle selezioni in almeno due località diverse per condizioni pedo-climatiche, in modo da far emergere le interazioni genotipo-ambiente e da poter verificare l'adattabilità, oltre a procedere a testare la stabilità dei caratteri di interesse.

Operando all'interno di aziende, in condizioni di coltivazione ordinaria, si sottopongono le selezioni alle stesse cure delle cultivar commerciali, valutando le esigenze nutrizionali e idriche, i piani di difesa sanitaria, l'individuazione delle finestre di raccolta e le tecniche di conservazione fino alla determinazione della *shelf life* dei frutti (Jalali et al., 2020). Con tale metodologia è possibile accertare anche le opinioni degli agricoltori e le reazioni del mercato tramite i "consumer tests" ovvero valutazioni fatte dagli acquirenti. Infatti, il giudizio finale sull'eventuale diffusione commerciale delle selezioni di III livello non può essere espresso solo dal breeder, ma si rendono necessarie diverse figure operative capaci di valutare tutti gli aspetti in questione (Ulrich e Olbricht, 2016). Il collaudo finale delle migliori selezioni, prima dell'eventuale loro licenziamento, viene effettuato per uno o due anni direttamente dagli organi produttivi coinvolti nelle azioni, estendendo le valutazioni fino agli aspetti commerciali e alla risposta del mercato all'innovazione. Le stime che si

effettuano sulle selezioni all'interno dei campi sperimentali sono finalizzate ad individuare le piante migliori sia dal punto di vista agronomico che commerciale. Come già anticipato, i parametri rilevati con le valutazioni possono essere di tipo soggettivo o oggettivo. Le valutazioni soggettive si basano per lo più sull'esperienza di chi osserva e riguardano il vigore vegetativo delle piante, la produzione, l'epoca di maturazione e la fioritura, intesa come epoca, entità e rifioritura. Si valutano anche caratteristiche qualitative (colore, sapore, consistenza) e la presenza delle principali malattie. Invece i parametri rilevati dalle valutazioni oggettive sono dati più precisi che riguardano valutazioni fenologiche, produttive e qualitative.

1.6 Riduzione dell'apporto idrico

L'uso efficiente dell'acqua è uno dei principali temi di ricerca attuale nell'ambito dell'agricoltura sia perché parliamo di una risorsa limitata sia perché è essenziale per il normale svolgimento delle funzioni metaboliche nel mondo vegetale.

Quando ci riferiamo ad un ridotto apporto irriguo normalmente si pensa ad un fattore che in qualche modo entri in conflitto con la crescita influenzando negativamente lo sviluppo e gli effetti di tale stress abiotico possono manifestarsi sottoforma di disfunzioni metaboliche, chiusura stomatica e danni diretti all'apparato fotosintetico. Lo stress idrico, da deficit d'acqua o disidratazione, si manifesta quando l'acqua a disposizione della pianta è insufficiente per compiere le funzioni di termoregolazione, idratazione dei tessuti e trasporto di elementi nutritivi per crescita e sviluppo ottimali della pianta (Klamkowski e Treder, 2008).

Bisogna però considerare l'entità dello stress in termini di intensità e durata, cosa che può verosimilmente evidenziare risposte di tolleranza o resistenza a livelli medio bassi di stress e suscettibilità a livelli alti. Questi processi sono associati e regolati da un complesso network di segnali, che integra quelli interni alla pianta (*developmental*) con quelli esterni (*environmental*), fortemente regolato dagli ormoni vegetali (Pardossi et al., 2018).

L'acqua è essenziale per il normale svolgimento delle funzioni metaboliche e dei processi cellulari, per cui una carenza idrica si manifesterà a diversi livelli e in forme diverse.

In genere, in seguito a deficit idrico la pianta risponde riducendo la superficie fogliare per minimizzare la traspirazione ed espandendo il volume radicale per esplorare un volume di suolo maggiore; invece, con una disidratazione spinta, le membrane cellulari possono essere irreversibilmente danneggiate così come le funzioni di enzimi e proteine di membrana. Una delle prime risposte allo stress idrico, necessaria anche a superare fenomeni transitori di stress, è la chiusura stomatica che limita lo scambio gassoso tra foglie ed atmosfera, così facendo la pianta si protegge da un'eccessiva perdita di acqua, ma allo stesso tempo limita la diffusione di CO₂ nel parenchima fotosintetico (Klamkowski e Treder, 2008). Gli stomi, non possedendo uno strato protettivo di cuticola, rispondono più prontamente rispetto ad altre cellule della foglia al gradiente di pressione di vapore tra superficie fogliare e atmosfera. L'acido abscissico (ABA) gioca un ruolo fondamentale proprio nella regolazione della chiusura stomatica per controllare lo stato di idratazione dei tessuti. L'ABA, infatti, attraverso il controllo della pompa protonica localizzata sulla membrana plasmatica, gestisce i flussi in uscita ed in entrata degli ioni K⁺ nelle cellule di guardia, determinando variazioni di turgore che causano la chiusura e apertura degli stomi (Mittler e Blumwald, 2015). Tuttavia, l'ABA si comporta anche da attivatore/disattivatore di molteplici risposte di adattamento allo stress tra cui: la sintesi di molecole organiche (prolina) che abbassando il potenziale idrico cellulare, ristabiliscono il gradiente di potenziale tale da facilitare l'ingresso di acqua nella pianta; controlla i processi di espansione e divisione cellulare; regola la funzione delle acquaporine ovvero proteine di membrana responsabili del trasporto idrico (Rejeb et al., 2014). Studiando l'effetto indotto da condizioni di lieve stress idrico sui processi molecolari e fisiologici di *Fragaria x ananassa*, Perin et al (2019) hanno dimostrato che, con tali condizioni colturali, la resa produttiva della coltura non viene influenzata negativamente, anzi i risultati ottenuti suggeriscono che un ridotto apporto irriguo migliori la qualità dei frutti attraverso un meccanismo ABA-dipendente. Nel momento in cui la pianta percepisce una situazione di stress, si genera una cascata di segnali intracellulari che portano a loro volta all'attivazione di complessi meccanismi di difesa, i quali variano a seconda dell'intensità e del tipo di stress coinvolto. Questa risposta difensiva include la produzione di specie reattive dell'ossigeno, la sintesi di ABA (e derivati come l'acido faseico), etilene, acido jasmonico e salicilico e tutto ciò si traduce nell'induzione a produrre metaboliti secondari con il fine di mitigare lo stress ossidativo

della cellula (Mittler e Blumwald, 2015). Proprio l'induzione del metabolismo secondario che si registra con livelli di stress idrici non esagerati, sembra stimolare l'adattamento delle piante ad una condizione di difficoltà, però senza influenzare la resa (Cogo et al., 2011). L'induzione della sintesi e l'accumulo di metaboliti secondari con attività antiossidante è importante anche dal punto di vista qualitativo, in quanto ciò può definire nuove strategie volte al miglioramento della qualità nutrizionale e della composizione chimica del frutto (Sun et al., 2015).

La fragola è considerata una coltura particolarmente sensibile a forti stress idrici e salini, tuttavia gli effetti di lievi sollecitazioni sulle variabili agronomiche e sulla qualità dei frutti, nonché i meccanismi coinvolti nella relazione tra ABA e stress, sono attualmente oggetto di ricerca, ed in letteratura si incontrano vari riferimenti che dimostrano che l'applicazione di ABA su piante di fragola porta a un maggiore contenuto di antociani nel frutto e all'espressione di geni correlati all'accumulo di acido L-ascorbico e acido folico durante la maturazione dei frutti (Galli et al., 2016; Li et al., 2015; Jia et al., 2011).

Appare evidente che considerando gli effetti di un lieve stress idrico, e studiando i metabolismi di ABA e dei suoi derivati, si potranno avere maggiori conoscenze molecolari e la possibilità dell'utilizzo di tali stress come approccio alternativo per migliorare la qualità delle fragole (Vishwakarma et al., 2017).

Nel secondo capitolo di questa tesi verranno approfonditi gli aspetti che riguardano tutta la sperimentazione effettuata e lo studio di valutazione di alcune varietà sottoposte a regimi idrici ridotti con lo scopo di migliorarne la resilienza, la qualità e allo stesso tempo trarre vantaggio dal risparmio in termini irrigui.

1.7 Tecniche vivaistiche di propagazione e tipologie di piante

Il processo vivaistico della propagazione consente di perpetuare una pianta nello spazio e nel tempo, permettendo l'ottenimento di nuovi individui con caratteristiche genetiche simili o uguali alla madre selezionata dalla quale derivano. Con la propagazione gamica, o riproduzione, le piante vengono riprodotte sessualmente (via seme) e ne deriva una generazione F1 con corredo cromosomico ibrido tra i due parentali, mentre con la propagazione agamica, o moltiplicazione, avremo una generazione di cloni, ovvero una

popolazione di individui geneticamente omogenei tra di loro e identici alla pianta madre (Neri et al., 2012).

L'attività vivaistica si è evoluta molto nell'ultimo ventennio passando da sistemi produttivi di tipo tradizionale a modelli organizzativi tipicamente industriali: ad oggi, il mercato della fragola considera esclusivamente modelli di organizzazione vivaistica in grado di associare ad una buona flessibilità produttiva un elevato grado di sicurezza sanitaria e genetica, infatti col recepimento della direttiva 2008/90/CE il settore si è dotato di regole per certificare il materiale vegetale ("certificazione vivaistica") e può ora fornire servizi avanzati all'agricoltura (Sansavini et al., 2012; Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali). Le norme attuali sono necessarie a garantire la sicurezza del materiale di propagazione, come definito nei protocolli di certificazione, per questo è consigliato l'uso di piante certificate, esenti dalle avversità più diffuse e geneticamente corrispondenti alla varietà dichiarata al momento dell'acquisto.

La fragola è una pianta di elevato interesse ortofrutticolo, proprio per questo le tecniche di propagazione mettono a disposizione molteplici tipologie di piante con differenti attitudini produttivo-qualitative e di adattamento alla maggior parte degli areali pedoclimatici. Nei vivai le piante commercializzabili si distinguono in base alle dimensioni, alla modalità di confezionamento e conservazione, alla presenza di infiorescenze differenziate ed infine in base al materiale di propagazione che può essere fresco, frigo-conservato o derivante dalla micropropagazione (Pardossi et al., 2018).

Tra le piante fresche si annoverano quelle a *radice nuda* e quelle con il pane di terra dette *cime radicate*, mentre tra le piante frigo la classificazione viene effettuata in funzione del diametro del colletto (*piante tipo A*, A^+ , A^-) o di specifiche tecniche colturali adottate, come ad esempio le *Waiting bed* e le *Tray plant* (Musacchi et al., 2014):

- a) Le *piante A* rappresentano la tipologia di piante frigo-conservate più diffusa nelle colture tradizionali, vengono prodotte in vivai costituiti nel periodo primaverile, in terreni sabbiosi ben drenati e livellati, per poi essere estirpate meccanicamente in inverno durante la fase di riposo vegetativo. Una volta giunte alla sala di lavorazione, vengono asportate le foglie lasciandone solo un paio centrali più giovani e poi si selezionano le piante in base al diametro del colletto che deve essere compreso fra 8 mm e 12 mm per questa categoria, colletti di 6-8 mm vengono considerati di seconda scelta (*piante A⁻*) e destinati alla coltivazione

hobbistica. Successivamente le piante vengono poste in casse di legno, confezionate in sacchi di polietilene trasparente e sottoposte ad un trattamento fungicida che unisce la funzione di prevenzione dallo sviluppo di funghi a quella di inumidirle col fine di ottenere un rapido congelamento e una corretta frigoconservazione a circa -2°C (Musacchi et al., 2014). L'impianto si effettua tra la fine di luglio e l'inizio di agosto nelle aree del nord Italia, a fine agosto negli ambienti meridionali.

Se il diametro del colletto risulta maggiore di 14 mm la tipologia sarà quella di una *pianta A⁺*, si preparano come le *piante A* in appositi vivai nei quali però viene eseguita una distribuzione uniforme della catena stolonifera evitando fenomeni di eccessiva fittezza e, in alcuni casi, a partire dal mese di luglio si asportano le madri e le piante più giovani non radicate. Tali operazioni favoriscono l'ingrossamento delle piantine evitando l'eccessiva densità in vivaio. Questa tipologia viene frigoconservata con una rosetta di foglie giovani centrali e si utilizza per produzioni in estate-autunno soprattutto nel meridione in quanto garantiscono elevate rese in tempi brevi (Musacchi et al., 2014);

- b) Le *Waiting bed (WB)* sono piante di grosso calibro che prendono tale denominazione dal fatto che vengono prodotte in appositi letti di attesa (prode baulate larghe circa 1 m) e sottoposte ad un ulteriore ciclo vegetativo soltanto per favorire l'ingrossamento, sono originate da una pianta frigo-conservata di piccole dimensioni (tipo *A⁻*) o da una pianta fresca (*a radice nuda* o *cima radicata*). Vengono messe a dimora in un periodo compreso tra la fine di giugno e i primi di agosto, con densità di 120.000 piante/ha che possono arrivare fino a 180.000 piante/ha e distanze di 30 cm x 30 cm circa. Qualora questa fosse frigo-conservata, le piante ingrossate subiscono una seconda frigoconservazione prima della loro messa a dimora in campo, presentando così una parte di tessuti con età di due anni. Più giovani di un anno risultano invece le *WB* che si ottengono da piante fresche. Le piante vengono selezionate in funzione del numero di germogli che presentano al momento dell'estirpazione (da 1 a 3 generalmente) e frigo-conservate con le giovani foglie. Generalmente, i frutti iniziano a maturare tra le 5 e le 8 settimane dopo l'impianto. L'utilizzo di queste è finalizzato principalmente alle colture programmate in cui devono garantire, in brevi periodi, produzioni elevate (500-

- 800 g di frutti per pianta), frutti di ottima qualità e pezzatura uniforme (Kirschbaum et al., 2000);
- c) Le *Tray plant (TP)* sono piante ingrossate non in suolo ma in contenitori (*tray*) riempiti con torba. I contenitori sono vassoi con otto fori su due file con alveoli di 8 cm di diametro e profondi 9 cm (volume circa 300 cc). Si può procedere all'ingrossamento impiegando *cime radicate* o piante fresche *a radice nuda*. Le piantine, trapiantate nei contenitori in autunno, vengono fertirrigate con la soluzione nutritiva generalmente utilizzata per la coltivazione della fragola in fuori suolo (pH 5,8; EC 1,2 mS/cm). Nell'inverno successivo, in fase di riposo vegetativo le piante vengono parzialmente defogliate, lasciando le foglie centrali più giovani, e frigo-conservate con il pane di terra. I vantaggi sono diversi, le radici sono intatte e si elimina lo stress da trapianto, l'ingrossamento in fuori suolo svincola da posizione geografica e tipo di terreno del vivaio, si effettua un completo controllo della nutrizione della pianta (Husaini e Neri, 2015). Ma la tecnica presenta anche qualche criticità legata per lo più alla difficoltà di ottenere piante omogenee e ai costi notevoli per la complessità della tecnica di ingrossamento (Kamperidou e Vasilakakis, 2006) L'utilizzo di queste piante ha avuto un iniziale successo presso alcune stazioni sperimentali del nord Europa per far fronte ai problemi sanitari e ai lunghi periodi di frigo-conservazione che si riscontravano con le *WB*;
- d) Le piante fresche *a radice nuda* si ottengono da stoloni, emessi durante il periodo estivo da piante madri, sottoposte alla continua rimozione dei fiori, e lasciati a radicare nell'interfila. Vengono preparate in primavera in vivai principalmente spagnoli, anche se negli ultimi anni la produzione si è diffusa nell'Est Europa (Polonia, Bielorussia) in quanto queste zone sono caratterizzate da freddi autunnali molto precoci, determinanti per le piante prima del loro trapianto in campo ad ottobre. In generale vengono prodotte su terreni fertili, sabbiosi, con buone disponibilità idriche e poi, subito dopo i primi freddi autunnali, estirpate meccanicamente e defogliate per ridurre la superficie traspirante lasciando preferibilmente 1-2 foglie/pianta per garantire la ripresa vegetativa al momento dell'attecchimento. Il periodo che intercorre tra il momento in cui vengono estirpate e la messa a dimora nei fragoletti deve essere il più breve possibile (2-3

giorni) ed il trasporto deve essere effettuato a temperature di 4-6 °C. Le piantine vengono sistemate in cassette di legno in posizione eretta dentro sacchi di film plastico per mantenere l'apparato radicale ad un buon livello di umidità, che evita i fenomeni di disidratazione dei tessuti, e immediatamente spedite nelle aree meridionali di tutto il bacino del Mediterraneo per essere messe a dimora (Baruzzi et al., 2007).

In generale, le piante fresche *a radice nuda* sono caratterizzate da una maggiore precocità di maturazione e qualità di produzione nonché dalla possibilità di ritardare la piantagione, con maggior risparmio e razionalizzazione dell'utilizzo di acqua irrigua;

- e) Le *cime radicate* si ottengono da cime di stoloni non radicati ma provvisti di abbozzi radicali, posti a radicare in contenitori alveolari di polietilene riempiti con torba o fibra di cocco, posti in ambiente ombreggiato e irrorati con sistema di nebulizzazione. Recentemente si sono diffusi sistemi di propagazione in fuori suolo, ponendo circa 6 piante/m², in cui la raccolta delle cime risulta particolarmente facile, poiché queste pendono verticalmente. È necessario che durante i primi tre giorni l'umidità dell'aria che circonda le piantine sia del 100%, solo dopo una settimana si può ridurre del 40-50% (Baruzzi et al., 2007). La radicazione avviene in 25-30 giorni e successivamente saranno pronte per essere messe a dimora con ottime percentuali di attecchimento. La cima con pane di terra così ottenuta, trapiantate durante la seconda decade di settembre, nelle aree mediterranee, non subisce crisi da trapianto, manifesta ottime percentuali di attecchimento e migliore resistenza agli stress biotici e abiotici. Si sviluppano rapidamente e forniscono una produzione precoce (con anticipo dell'epoca di raccolta dai 20 ai 40 giorni rispettivamente nella coltivazione con piante a radice nuda e frigo) con frutti di pezzatura omogenea durante tutto il periodo di raccolta (Baruzzi et al., 2007).

Questa tipologia ha sostituito la pianta fresca *a radice nuda*, mantenendo però i suoi caratteri positivi (precocità di maturazione e qualità dei frutti) e presentando minori problemi di attecchimento, uniti ad una migliore uniformità di sviluppo vegetativo dopo il trapianto.

La diffusione delle piante fresche *cime radicate* sta aumentando anche negli ambienti settentrionali dove sono preferite alle piante frigo-conservate non tanto per ottenere un anticipo di maturazione (2-3 giorni), quanto per la possibilità di posticipare l'epoca di piantagione, con notevoli risparmi idrici, per la ridotta mortalità all'impianto e per l'equilibrato sviluppo vegeto-produttivo. La pianta fresca anche detta vegetante, in quanto non ancora entrata in riposo vegetativo, rispetto a quella frigo-conservata presenta diversi vantaggi quali una maggiore tolleranza agli stress abiotici e alle malattie dell'apparato radicale, perché essendo pronte per essere trapiantate, in soli 20-25 giorni, sono meno esposte ai patogeni del terreno, che invece possono colpire le piante frigo già nei vivai di moltiplicazione; va anche sottolineato che una maggiore precocità di maturazione delle piante fresche e il loro lungo periodo produttivo, consentono una migliore efficienza complessiva della pianta. D'altro canto, il ricorso alle piante fresche non è di certo privo di inconvenienti, tra i fattori limitanti c'è l'elevata percentuale di fallanze post-trapianto dovuta a piante poco sviluppate, ottenute in vivai con elevata densità di piantagione e con ritardo nella differenziazione delle gemme a fiore. Inoltre, repentini abbassamenti di temperatura in inverno possono causare l'arresto dell'attività vegeto-produttiva, per questo si attua la forzatura anticipata della coltura fin dalla prima metà di ottobre; piantagioni ritardate (oltre la prima decade di ottobre), dovute troppo spesso alla tardiva disponibilità del materiale vivaistico di origine estera, causano un ridotto sviluppo della pianta e conseguenti limitati livelli produttivi (Pardossi et al., 2018).

La tecnica vivaistica sta perfezionando sempre di più i metodi per la produzione di piantine di fragola col fine di soddisfare la crescente domanda, di conseguenza, grazie anche all'aiuto apportato dal miglioramento genetico, avremo a disposizione varietà adatte ad un ampio ventaglio di condizioni climatiche e in grado di entrare rapidamente in produzione, dopo il trapianto in campo, con frutti di qualità e conservabilità ottimali per la commercializzazione (Neri et al., 2009). Le soluzioni per garantire produzioni nei periodi fuori stagione, anticipate o ritardate, sono molteplici ad esempio si possono predisporre in vivaio piante programmate in vaso (alveolati o tray) per i diversi sistemi di produzione di varietà brevidiurne, da sottoporre a lunghi periodi di conservazione frigorifera. Oppure si possono preparare piante in vaso da stoloni (*cime radicate*) in

ambientati caratterizzati da un andamento climatico che induce a fiore in anticipo le piante e fornisce un quantitativo di freddo adeguato a una rapida ed efficiente ripresa di crescita autunnale, ciò risulta facile soprattutto con cultivar che richiedono un basso fabbisogno in freddo invernale quindi adatte agli ambienti meridionali (Takeda, 2007). Ad esempio, nel Sud della Spagna ma anche in aree dell'Italia meridionale, l'utilizzo di piante fresche che differenziano a fiore agli inizi di settembre consente di ottenere produzioni molto precoci particolarmente apprezzate dal mercato; questo anticipo si realizza impiantando i fragoletti subito dopo la differenziazione, tra la fine di settembre e gli inizi di ottobre, proteggendo la coltura durante il periodo invernale con appositi tunnel ricoperti con film plastico. Se non si verificano pericolosi abbassamenti termici, dopo 40 giorni dal trapianto, le piante entrano in fioritura e dopo ulteriori 40 giorni i primi frutti saranno maturi. L'uso di piante fresche comporta la necessità di organizzare l'estirpazione delle piante dai vivai, compreso trasporto e trapianto, in modo preciso perché se non si riesce ad avere una filiera ottimale dal vivaio al campo il rischio è quello di avere uno scarso attecchimento e un ritardo nell'entrata in produzione.

In alcune zone produttive dell'Italia centro-settentrionale rimane importante la tradizionale produzione primaverile con piantagione in estate di piante conservate in frigorifero dall'inverno precedente e raccolta a partire da maggio in pieno campo.

La produzione al Nord è stata ampliata includendo un primo raccolto in autunno e un secondo nella primavera-estate successiva.

Questa diversificazione produttiva ha portato alla propagazione di piante con caratteristiche fisiologiche e differenziazione fiorale molto diverse, specifiche per ciascun sistema produttivo, dunque si può affermare che la qualità delle piante può raggiungere il massimo delle sue potenzialità solo se coltivata con tecniche appropriate, però è vero anche che senza una pianta appositamente preparata sarà difficile ottenere una produzione di frutti economicamente interessante (Musacchi et al., 2014).

In aggiunta alle tradizionali tecniche di propagazione descritte in precedenza bisogna citare anche la micropropagazione che consiste nel coltivare *in vitro*¹⁶ un espianto,

¹⁶ La coltura *in vitro* di specie vegetali si basa sulla capacità delle cellule somatiche vegetali di dividersi, svilupparsi e dare origine a piante complete. Nonostante Schleiden già nel 1838 sostenesse che: "le cellule di un organismo sono tutte simili, sono capaci di esistenza autonoma e possono dare luogo a un nuovo organismo completo", solo la messa a punto nel 1962 da parte di Murashige e Skoog di una soluzione nutritiva contenente sali minerali, auxine, citochinine, vitamine e saccarosio che permetteva la rapida

precedentemente sterilizzato, in condizioni ambientali controllate e su substrati di crescita artificiali. Dall'espianto si formeranno nuovi germogli i quali, dopo essere stati separati e trasferiti su un nuovo substrato, produrranno altri germogli (fase di proliferazione), e via di seguito con una capacità di moltiplicazione pressoché illimitata. Solo quando i germogli avranno raggiunto il numero prestabilito verranno indotti a radicare (fase di radicazione): successivamente le nuove piantine dovranno affrontare una fase di acclimatazione per riacquisire la capacità ad accrescersi in condizioni naturali (fase di ambientamento) (Anuradha et al., 2016). Questo metodo permette di ottenere in poco tempo un elevato numero di piantine tutte con lo stesso corredo genetico (Sansavini et al., 2012). In Italia è vietata la messa a dimora di piantine di fragola derivanti dalla micropropagazione, per la produzione. È concesso l'uso di questa tecnica solo per produrre materiale di base virus esente e deve essere seguita da almeno tre cicli di produzione vivaistica in campo prima di vendere le piante agli agricoltori (Andreotti et al., 2010).

1.8 Sistemi di coltivazione e programmazione culturale

La fragola è una coltura che presenta una forte capacità di adattamento alla maggior parte degli ambienti pedoclimatici mondiali grazie ai diversi genotipi disponibili tra le varie cultivar del panorama varietale fragolicolo. Parliamo di una specie microterma che attualmente viene ancora spesso considerata come un prodotto stagionale, ma in realtà la programmazione culturale in fragolicoltura permette al produttore di diversificare la propria produzione commerciale attraverso una destagionalizzazione di essa, oltre che diversificarla sulla base di parametri produttivi e qualitativi (Faedi et al., 2009). Con la destagionalizzazione della produzione è possibile distribuire l'offerta in tutto l'arco dell'anno evitando concentrazioni in epoche ristrette, ciò si realizza utilizzando cultivar in grado di adattarsi all'ambiente pedoclimatico della regione produttiva considerata e anche tramite l'impiego di tecniche di coltivazione caratteristiche per quell'areale (Della Casa, 2009).

crescita (organogenesi) di gemme da foglie di tabacco, ha permesso l'inizio della moderna micropropagazione *in vitro*.

Distinguiamo tre tipi di sistemi di coltivazione della fragola, quella in pieno campo, quella fuori suolo e quella protetta.

- a) In pieno campo la coltura della fragola risente negativamente del reimpianto del fragoleto sullo stesso terreno, in quanto spesso si possono presentare problemi fitosanitari che determinano uno stentato sviluppo o addirittura la morte delle piante. L'annata agraria per la fragola in pieno campo comincia l'anno solare precedente la semina o il trapianto ed è costituita da una lavorazione del terreno profonda 40-50 cm. A questa aratura segue una lavorazione superficiale (erpicoltura/fresatura) nella quale sono distribuiti i concimi organici e chimici (Pardossi et al., 2018). Il terreno va perfettamente livellato per evitare pericolosi ristagni d'acqua e provvisto di un'efficiente rete di fossi di scolo o di drenaggio ed è così pronto. Il sistema colturale prevede la baulatura, una tecnica di predisposizione del suolo che consente di sopraelevare, tramite l'aiuto di macchine operatrici, delle strisce di terreno creando dei filari che rappresentano un vero e proprio letto rialzato (25-30 cm), definito *proda*¹⁷, sulla quale viene steso un film plastico di polietilene nero che impedisce la crescita delle infestanti ed evita il contatto tra frutti e terreno (Baruzzi et al., 2007). Questo sistema prevede per le varietà rifioranti il trapianto a luglio-agosto, con una prima raccolta a fine estate, poi dopo il riposo invernale e la ripresa in fine inverno-primavera, inizia la produzione più importante da aprile a settembre, mentre invece le non rifioranti si trapiantano da luglio a settembre e la raccolta è primaverile. Un concetto importante quando parliamo di coltura in pieno campo riguarda l'irrigazione, infatti la sensibilità della coltura a stress idrici è assai elevata durante tutto il ciclo colturale, in conseguenza della scarsa profondità ed efficienza dell'apparato radicale che limita l'assorbimento dell'acqua dal suolo (Pardossi et al., 2018). Diverse prove sperimentali hanno evidenziato incrementi produttivi ottenibili con l'irrigazione sia per numero di frutti per pianta che per la pezzatura più elevata. Irrigazioni eccessive determinano, però, un netto peggioramento delle qualità

¹⁷ Nella sistemazione a *prode*, anche detta "a rivale" o "alla toscana", gli appezzamenti hanno forma rettangolare e presentano baulatura longitudinale. I lati lunghi che confinano con i bordi sono chiamati *prode* e lungo una di esse (o tutte e due) può essere sistemato un filare di piante. Tale schema sistematorio viene comunemente impiegato nei terreni di medio impasto tendenti all'argilloso o al limoso (Baisi et al., 2012).

organolettiche dei frutti. Le modalità di somministrazione adottate sono svariate e legate alle disponibilità aziendali, anche se prevalgono i metodi del tipo “a pioggia” ed a “microportata di irrigazione”¹⁸ (Morris et al., 2017).

- b) Nel corso degli anni la fragola ha conosciuto una rapida evoluzione passando dalla coltivazione classica in terra alla coltivazione fuori suolo (Santamaria et al., 2005). Consiste nel coltivare non nel terreno agrario bensì in un mezzo artificiale costituito di tre elementi fondamentali, il substrato, la soluzione nutritiva e l'impianto di distribuzione. La tecnica del fuori suolo rappresenta un'importante innovazione di coltivazione introdotta nel settore delle colture specializzate, ed un'alternativa alla disinfestazione chimica effettuata con bromuro di metile. È una tecnica che consente di isolare la coltura dal suolo infetto ed utilizzare, con ottimi risultati, aree che viceversa difficilmente sarebbero in grado di ospitare la stessa specie per ulteriori cicli di coltivazione. I suoi vantaggi sono sicuramente relativi ad una importante precocità di maturazione ottenibile, ad un più adeguato apporto di nutrienti, migliori condizioni di sviluppo delle piante e migliore controllo di malattie e parassiti. Inoltre, la tecnica citata permette di superare i problemi legati alla stanchezza del terreno, presenta maggiori rese unitarie, la possibilità di programmare le produzioni fuori stagione e maggiore controllo delle fertirrigazioni (Santamaria et al., 2005). In generale la coltivazione fuori suolo prevede l'uso di sacchi in plastica che contengono una miscela di torba bionda, torba nera e perlite, la quale permette di avere una buona aerazione ed una forte capacità di ritenzione di acqua, misurano 25 x 30 cm di lunghezza con una altezza di 8/10 cm e con un volume unitario pari a 10/12 litri (Alarcón Vera, 2000). Su ogni sacchetto vengono trapiantate da 4 a 6 piante secondo il tipo ed ovviamente secondo il loro diametro. In generale si avranno 6 piante per le frigoconservate mentre solo 4 per le piante fresche.

¹⁸ Nel caso dell'impianto a pioggia, le tipologie più diffuse sono costituite da tubazioni in polietilene a bassa densità, flessibili. Al loro interno sono posizionati ad una distanza prestabilita dei gocciolatori che durante l'irrigazione creano una turbolenza che ne impedisce l'otturazione. Mentre nel caso degli impianti a microportata di irrigazione, nello stesso momento in cui si stende il film plastico con funzione pacciamante, si lascia cadere la tubazione sul terreno (manichette forate, prevalentemente), sotto la plastica, quindi esattamente nella fila di piantine che si vuole irrigare.

c) La coltura protetta consente una maggiore protezione di fiori e frutti dalle avversità ambientali quali gelate tardive o pioggia, riducendo notevolmente la quota di prodotto di scarto rispetto alle colture di pieno campo. La protezione della coltura è realizzata con tunnel di diverse tipologie, singoli o multipli, coperti con film plastici allo scopo di anticipare il risveglio vegetativo delle piante dopo il riposo invernale (Neri et al., 2012). Oltre alla tecnica tradizionale, che prevede la copertura del tunnel nel mese di gennaio, si sta diffondendo sempre più una protezione messa in opera quando le piante iniziano a fiorire, con 4 strutture più semplificate, dotate di archi semplici o multipli, senza porte né spondine laterali, e coperte con film plastico. Questa tecnica ha solo l'obiettivo di proteggere le piante dalle piogge primaverili ed evitare l'insorgenza di marciumi dei frutti durante la raccolta; la precocità di maturazione risulta leggermente anticipata (circa 5-10 giorni) rispetto al pieno campo. I tunnel singoli sono strutture realizzate con archi di ferro lunghi fino a 100 m e larghi da 4,5 a 5,5 m, per la protezione di 4 o 5 file binate, alti al colmo poco più di 2 m. Sono dotati di spondine laterali fisse, alte fino a circa 40 cm da terra. Il film plastico di copertura è apribile ai lati del tunnel, tramite un dispositivo di avvolgimento manuale, da 40 cm fino a circa 1,5 m da terra (Castilla, 2007). Un buon arieggiamento fin dalle primissime ore del mattino consente un ricambio d'aria che riduce l'umidità accumulata durante la notte e consente una rapida asciugatura delle piante a vantaggio del contenimento dei marciumi dei frutti (Pérez Parra et al., 2002). Soprattutto durante la fioritura, la temperatura non deve mai superare i 25- 27°C e l'umidità scendere sotto il 50%, per consentire una perfetta fecondazione dei fiori e limitare al massimo le malformazioni dei frutti allegati. I tunnel singoli risultano vantaggiosi rispetto ai tunnel multipli in caso di nevicata, ma hanno un basso effetto serra per la limitata massa d'aria contenuta all'interno e l'elevata superficie esposta. I tunnel multipli, diffusi nelle zone meridionali o ambienti sud, sono costituiti da strutture contigue, unite da pali centrali sui quali sono inseriti gli archi. La lunghezza non supera i 30-40 m per favorire l'arieggiamento del tunnel, effettuato solo per innalzamento del film plastico, creando una fessura lungo la congiunzione dei tunnel (Castilla, 2007). Questo tipo di struttura è adottato per la copertura di grandi superfici, in quanto consente un certo risparmio

di film plastico. Esistono film in polietilene (PE), polivinilcloruro (PVC) e polietilene addizionato con metilvinilacetato (EVA). I materiali più trasparenti (PVC, EVA, MultiEVA) consentono un maggiore anticipo di maturazione dei frutti grazie all'alto effetto serra (Serrano, 2005). Inoltre, limitano l'umidità relativa all'interno del tunnel grazie alla maggiore permeabilità al vapore acqueo. La loro elevata trasparenza determina, però, pericolosi innalzamenti della temperatura rendendo quindi necessarie tempestive aperture dei tunnel (Diaz et al., 2001).

Negli ambienti sud viene utilizzata la coltura protetta con tunnel multipli, impiantando a settembre piante con basso fabbisogno in freddo, fresche *a radice nuda* o *cime radicate*, e si ottengono produzioni che iniziano a fine dicembre-primi di gennaio permettendo un anticipo che consente di poter raccogliere i primi frutti già a Natale, diventano sempre più costanti a marzo per poi sovrapporsi in aprile-maggio alle produzioni settentrionali di pianura ottenute in coltura protetta e, dopo circa 20 giorni, quelle ottenute in pieno campo (Faedi et al., 2009). Dalla seconda metà di giugno e per tutti i mesi estivi la produzione diminuisce fortemente e le uniche aree in grado di fornire produzioni di qualità risultano quelle più fresche di montagna, con coltivazioni di varietà unifere ma soprattutto con le colture programmate attraverso l'impiego di piante ingrossate, come le frigo-conservate A+, WB e TP, messe a dimora in suolo o fuori suolo unite all'uso di varietà rifioranti. Le produzioni di montagna terminano coi primi freddi autunnali, ma il flusso produttivo di fragole prosegue fino a novembre (Faedi et al., 2009)

La fragola è dunque disponibile dalle diverse aree di produzione per quasi dodici mesi all'anno, però la sensazione di avere la disponibilità di mercato di un prodotto stagionale troppo a lungo, condiziona negativamente la percezione della qualità dello stesso, indipendentemente dalla reale situazione. È quasi un luogo comune, infatti, che le fragole siano prive di sapore perché coltivate in serra o siano troppo grosse, come emerge costantemente dalle ricerche realizzate sui consumatori (Della Casa, 2009). Sul fronte commerciale poi, malgrado i progressi, il nostro paese ha perso di importanza nello scenario europeo dell'ultimo decennio, sopraffatto dalle produzioni spagnole, tuttavia appare significativo che, indipendentemente dalla vocazionalità o meno dell'area, i

consumatori tendano a preferire e a considerare di maggior qualità le fragole locali rispetto a quelle che provengano da altre zone. La nuova concezione di prodotto fragolicolo dovrebbe superare la logica della vecchia stagionalità, per portare la fragola italiana ad essere un prodotto consumabile almeno 9 mesi l'anno, valorizzando le diverse provenienze nei loro rispettivi calendari ed accomunando il prodotto nazionale nella garanzia delle tecniche di produzione e nella qualità intrinseca delle diverse varietà adattate ai differenti ambiti territoriali: in questo senso si potrebbe tramutare una debolezza, ovvero la nostra frammentazione della produzione in molteplici varietà, in un vero e proprio valore dato dall'ampio calendario di commercializzazione (Della Casa, 2009).

Capitolo II:

SCOPO DELLA TESI

2.1 Scopo dello studio

L'obiettivo della sperimentazione è stato quello di analizzare le performance di alcuni genotipi di fragola sottoposti ad una riduzione dell'apporto irriguo. In questo contesto bisogna ricordare che attualmente una delle sfide più importanti dell'agricoltura è proprio quella di ridurre l'uso delle risorse limitanti (ad esempio: acqua, sostanze nutritive) indirizzando il sistema produttivo agricolo verso un minore impatto ambientale mantenendo al contempo un buon livello produttivo e qualitativo della pianta. Nel caso della Spagna, circa il 70% dell'acqua consumata a livello nazionale viene utilizzata per l'irrigazione a fini agricoli, va però sottolineato che nella provincia di Huelva, grazie allo sviluppo di nuovi piani di gestione sostenibile delle risorse idriche e al processo di ammodernamento dei sistemi di irrigazione, il consumo d'acqua per ettaro si è ridotto del 15% nell'ultimo decennio (Agronegocios, 2019). L'acqua rappresenta una risorsa essenziale per l'umanità, genera e sostiene l'economia oltre a rappresentare un elemento centrale degli ecosistemi naturali e della regolazione del clima. Essendo un bene pubblico, prezioso ed esauribile, è fondamentale farne un consumo ragionevole, a questo scopo la direttiva quadro sulle acque dell'Unione Europea, adottata nel 2000, introduce un approccio alla tutela delle risorse idriche e un piano per la salvaguardia delle suddette risorse finalizzato a migliorarne la gestione, offrendo obiettivi e soluzioni concrete (Commissione Europea, 2000). L'accurata gestione dell'irrigazione unita a strategie agricole che trovino un compromesso tra qualità, produzione e sostenibilità ambientale, è un obiettivo primario per gli agricoltori di tali zone climatiche in cui la disponibilità di acqua risulta spesso limitata e non sufficiente a coprirne la domanda. Per tale motivo, è necessario conoscere le reali esigenze delle cultivar di fragola al fine di determinare la loro efficienza nell'uso della risorsa idrica, portando così, quando necessario, ad una riduzione di apporto idrico (Martínez-Ferri et al., 2016). In questo contesto, bisogna inoltre sottolineare che sono sempre di più i mercati che richiedono certificazioni di conformità alle buone pratiche agricole "GAP" (FAO, 2016). Proprio per questo, tentare

di ridurre il consumo annuale di acqua e stabilire nuove metodologie e referenze di approvvigionamento idrico che lo permettano, è uno degli scopi principali di questa tesi. Lo studio si è svolto presso l'azienda Bionest (Provincia di Huelva), leader nella produzione ed esportazione di fragole biologiche in Spagna (Bionest, 2020), ed è consistito nel valutare le risposte vegetative, produttive, qualitative di tre selezioni di fragola provenienti dal programma di miglioramento genetico dell'Università Politecnica delle Marche (D3A) e di una varietà commerciale denominata Rociera, sottoposte a due diversi quantitativi idrici.

L'applicazione dei due diversi regimi di restituzione idrica è avvenuta tramite l'uso di valvole di irrigazione, con un approvvigionamento standard di un volume irriguo di 5 L/h, ovvero del 100%, definito W100, ed una erogazione ridotta al 28% del totale, corrispondente a 3,6 L/h, W72. Il lavoro ha così permesso di valutare i genotipi più adatti a vivere in condizioni di riduzione idrica, identificandone la resa produttiva e gli aspetti qualitativi del frutto.

Capitolo III:

MATERIALI E METODI

3.1 Descrizione dell'azienda sperimentale

Il sito in cui è stata realizzata la parte sperimentale di questa tesi si trova nel sud-ovest della Spagna, nella provincia di Huelva, più precisamente nella finca "Pichardo" (El Rocío, Municipio de Almonte, Comarca de El Condado).

Grazie alla sua vicinanza all'Oceano Atlantico, questa località presenta un clima caldo e soleggiato, con lunghe giornate caratterizzate da alta intensità luminosa per quasi tutto l'anno. Inoltre, è da



Fig. 5: Localizzazione dei tunnel destinati alle prove in Pichardo (37°09'25.8"N 6°28'31.5"W).

sottolineare la sua vicinanza al Parco Nazionale di Doñana¹⁹, una riserva naturale protetta con una biodiversità unica in Europa e che contiene una grande varietà di ecosistemi e di specie animali e vegetali.

A tal proposito, bisogna sottolineare che sebbene Bionest generi un grande livello di affari, la tutela dell'ambiente non viene messa in secondo piano: mediante l'utilizzo di insetti predatori per il controllo dei parassiti ed evitando l'uso di sostanze agrotossiche l'azienda genera un impatto positivo a livello di biodiversità del sistema e dell'ambiente che lo circonda.

¹⁹ Il Parco Nazionale di Doñana (Parque Nacional de Doñana), noto anche come Coto de Doñana, è una riserva naturale della Spagna sud-occidentale, si trova in Andalusia, tra le provincie di Huelva, Cadice e Siviglia, coprendo 540 km², di cui 135 km² costituiscono l'area protetta. Rappresenta un mosaico di ecosistemi che ospitano una biodiversità unica in Europa. Spiccano soprattutto le paludi, di straordinaria importanza come luogo di passaggio e nidificazione per migliaia di specie di uccelli europei e africani. Nel Parco vivono specie uniche e in grave pericolo di estinzione, come l'aquila imperiale iberica e la lince iberica (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020)

Inoltre, l'azienda, grazie al dipartimento interno di ricerca e sviluppo (I+D), effettua annualmente prove di irrigazione dimostrando che è possibile ridurre il quantitativo irriguo favorendo allo stesso tempo sia uno sviluppo vegetativo ideale della pianta che la sua produttività. Precedentemente veniva preso in considerazione anche un terzo trattamento, non utilizzato nella prova in questione, corrispondente ad un volume irriguo di 2,5 L/h (restituzione idrica del 50%) ma nonostante si sia visto che questa riduzione del 50% dava ottimi risultati nei primi mesi di produzione, con l'aumentare delle temperature già nel mese di marzo, la resa si riduceva drasticamente.

Pertanto, l'ottimizzazione e la precisa gestione dell'irrigazione attraverso varie strategie, ha permesso di escludere il terzo trattamento, trovando però un compromesso tra produzione, qualità e rispetto dell'ambiente.

Applicando tecniche agricole certificate basate sui concetti di rispetto, responsabilità e sostenibilità, Bionest inquadra la sua produzione ecologica come una garanzia di futuro: tali pratiche agronomiche rispettano gli standard di produzione biologica certificata, infatti l'azienda rinnova costantemente le sue certificazioni e l'intero sistema produttivo, oltre ad essere perfettamente in linea con le indicazioni fornite dal Regolamento (CE) n° 834/2007 del Consiglio relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici (EUR-Lex, 2007), è anche controllato dal Global G.A.P. (<https://www.globalgap.org/>), dal CAAE "Comité Andaluz de Agricultura Ecológica" (<https://www.caae.es/>) e da molti altri sistemi di certificazione di produzione biologica (Bionest, 2020).

Le analisi dei campioni di suolo di Pichardo, sito della prova, effettuate dal laboratorio AGQ Labs in data 27/01/2021 descrivono un terreno con un basso rischio di compattazione, prevalentemente sabbioso (93%), con un 5,3% di argilla e meno del 2% di limo. Il rapporto C/N, ovvero il rapporto percentuale tra il contenuto di carbonio e il contenuto di azoto presente all'interno della sostanza organica del terreno, si aggira attorno al valore di 10.9, mentre per quanto riguarda la concentrazione di microelementi nel suolo e i dati relativi alla fertilità si può consultare la *Tabella 2*.



Tab. 2: Analisi pedologica del campo di Pichardo.

Il sistema di irrigazione utilizzato è quello dell'impianto "a goccia", anche detto microirrigazione o irrigazione localizzata, che contribuisce a valutare precisamente i volumi d'acqua necessari e che, associato alla fertirrigazione, diventa fondamentale al fine di ottenere una elevata superficie fotosintetizzante (Fernández et al., 2012). Ad oggi costituisce la soluzione tecnicamente più avanzata per uniformare la distribuzione dell'acqua nel modo più omogeneo possibile. I gocciolatori sono distanziati tra loro di 20-30 cm e possono essere riutilizzati per diversi cicli colturali (Faedi e Baruzzi, 2002). L'irrigazione localizzata della fragola è fondamentale non solo per la gestione precisa della quantità di acqua apportata ma anche per la qualità della stessa, in particolare per

quanto riguarda i possibili problemi causati da alti livelli di salinità riscontrabili maggiormente con il ristagno idrico.

In questa azienda, l'acqua utilizzata per irrigare i campi sperimentali proviene dalla Comunidad de Regantes²⁰ "Sector II-10" soggetta alla Confederazione Idrografica del Guadalquivir: secondo l'esperienza dei produttori locali, le esigenze idriche della coltura si stimano in media attorno ai 6000-7000 m³/ha, sebbene questo volume possa variare in funzione delle condizioni climatiche delle diverse stagioni di coltivazione (Gavilán et al., 2014). Tali quantità generano un problema dal momento che è stato riscontrato un eccessivo sfruttamento del bacino idrico numero 27 che approvvigiona tanto suoli agricoli quanto suoli forestali della zona di Doñana, coprendo un'area totale di 2300 km² (Istituto Geológico y Minero de España, 2020). Per questo motivo e per rendere le opportunità di questo territorio, soprattutto in materia di agricoltura e turismo, compatibili con la protezione degli eccezionali valori naturali di Doñana e con l'uso razionale dell'acqua, è stato realizzato un Piano di Gestione del Territorio (*Plan Especial para la ordenación de las zonas con cultivos en regadío localizadas al norte de la corona forestal de Doñana*) che considera una dotazione di 4500 m³/ha sufficiente ad ottenere una produzione sostenibile di fragole (Junta de Andalucía, 2014).

D'altro canto, lo sviluppo di nuove politiche e di piani ambientali che indirizzano verso una gestione razionale genera interesse sul concetto di produzione sostenibile, ciò fa in modo che i mercati esigano certificazioni che attestino un uso coerente e responsabile di tali risorse, in particolare quella idrica. La necessità di un uso intelligente dell'acqua, soprattutto in regioni come l'Andalusia, è diventata una assoluta priorità per questo, ormai da qualche anno, si stanno sempre più indirizzando sulla realizzazione di studi finalizzati a rendere più efficiente l'irrigazione e a studiare metodologie utili a ridurre i consumi idrici.

A tal proposito, secondo la normativa vigente e le indicazioni riportate sul Bollettino Ufficiale della Junta de Andalusia n°132 del 2013, con lo scopo di minimizzare le perdite di acqua in condizione di irrigazione localizzata, si consiglia di determinare ogni tre anni

²⁰ Le Comunidades de Regantes (Comunità di Irrigatori) rappresentano enti pubblici che hanno il compito di organizzare, all'interno di una stessa località, l'uso collettivo delle acque pubbliche, superficiali e sotterranee. Si tratta di organizzazioni spagnole che raggruppano gli agricoltori di una determinata zona favorendo l'autogestione nella distribuzione della risorsa idrica con il fine di gestirla nel modo più efficiente ed equo possibile tra i suoi membri (FENACORE, 2020).

il coefficiente di uniformità del sistema di irrigazione CU seguendo il metodo di Merriam-Keller che assicura anche un funzionamento ottimale delle installazioni: $CU = (Q_{25\%} / Q_n) \times 100$ dove $Q_{25\%}$ rappresenta la portata media di scarico del 25% degli erogatori mentre Q_n è il flusso medio di tutti gli erogatori (Junta de Andalucía, 2013).

Il periodo di irrigazione stimato dall'azienda è di 66,65 ore, nell'intervallo di tempo novembre 2020 – aprile 2021, questo valore è stato ottenuto mediante un sistema chiamato *Infocultivo* di cui si tratterà in seguito.

3.2 Materiale vegetale: la varietà Rociera e le selezioni avanzate di Ancona

Il materiale vegetale preso in considerazione per le prove di riduzione dell'apporto idrico è rappresentato da tre selezioni avanzate di fragola provenienti dal programma di breeding dell'Università Politecnica delle Marche e da Rociera impiegata come varietà di controllo.




Quest'ultima, proveniente dall'attività di miglioramento genetico di FNM “Fresas Nuevos Materiales”, è una varietà commerciale molto diffusa e coltivata in tutto il Sud della Spagna, in particolare nella provincia di Huelva dove il suo areale si è rapidamente raddoppiato, passando da 50 milioni a 100 milioni di piante: dopo solo due anni dalla commercializzazione è diventata la seconda varietà più coltivata in questa parte dell'Andalusia (FreshPlaza, 2018). Il suo gusto e sapore molto dolce accompagnano un'ottima pezzatura e un elevato livello di omogeneità in termini di colorazione, forma e calibro, fattori caratterizzanti che si riscontrano come tali durante l'intera campagna. Oltre all'elevata resa produttiva, fino a 1000 kg per pianta (Agrodiario Huelva, 2020), Rociera possiede anche una buona conservabilità, infatti proprio la sua shelf life le consente di competere con le migliori varietà di fragola attualmente in commercio.

Le tre selezioni avanzate di fragola valutate in questo studio sono identificate rispettivamente dai seguenti codici *AN17,44,45*, *AN17,45,39* e *AN17,45,112*, tutte provenienti dal programma di miglioramento genetico fragola attivo presso il D3A dell'Università Politecnica delle Marche (Ancona, Italia), selezionate da tre progenie create con le combinazioni di parentali riportate in *Tabella 3* e di seguito descritti. I parentali di queste selezioni rappresentano genotipi scelti per essere idonei alla coltivazione negli ambienti del sud.

La cultivar Francesca, identificata come *AN10,42,51* e registrata (CPVO: 2019 2656 31/10/2019) rappresenta una varietà di fragola unifera con epoca di maturazione molto precoce e particolarmente interessante per gli ambienti di coltivazione temperati.

È una pianta rustica, di medio vigore e produzione medio-elevata, selezionata in suolo non fumigato. Il suo frutto si presenta in forma conico-allungata, regolare, con media pezzatura e consistenza. I suoi frutti dal colore rosso brillante hanno un'elevata qualità organolettica, un buon contenuto in zuccheri, un'acidità medio-elevata e buona shelf life. Le selezioni *AN17,45,39* e *AN17,45,112* hanno parentali comuni, uno dei quali è *AN12,20,51* anch'essa proveniente dal programma di miglioramento genetico dell'Università Politecnica delle Marche, è una pianta mediamente vigorosa con habitus espanso, particolarmente interessante per i buoni risultati produttivi e qualitativi riscontrati. I suoi frutti hanno una forma conico-regolare o biconica, una buona pezzatura ed elevata consistenza. Il colore rosso intenso e il buon sapore caratterizzano la qualità dei frutti di questa selezione.

Grazie alla collaborazione intrapresa con Bionest, le tre selezioni *AN17,44,45*, *AN17,45,39* e *AN17,45,112* sono state selezionate nei loro campi prova nella stagione produttiva del 2019, da popolazioni di semenzali ottenute da combinazioni d'incrocio (*Tabella 3*) realizzate presso la serra del D3A dell'Università Politecnica delle Marche durante l'autunno del 2017, germinati nella tarda primavera del 2018 e inviati in Spagna all'azienda Bionest a fine settembre 2018 per la piantagione, entro la metà di ottobre 2018, nel loro campo sperimentale. Le tre nuove selezioni, una volta individuate, sono state propagate per stoloni dal responsabile dell'azienda e il materiale clonale è stato valutato per due cicli produttivi consecutivi (2020-2021) sempre presso i campi sperimentali di Bionest ad Almonte.

| Selezioni: | Parentali: | |
|---|--------------------|---|
|  | <p>AN17,44,45</p> | <p>ROCIERA x FRANCESCA</p> |
|  | <p>AN17,45,39</p> | <p>ROCIERA x AN12,20,51</p> |
|  | <p>AN17,45,112</p> | <p>ROCIERA x AN12,20,51</p> |

Tab. 3: Parentali delle selezioni di Ancona.

3.3 Impianto e tecnica di coltivazione

L'impianto della prova sperimentale è stato realizzato nei campi di Pichardo (El Rocío - Almonte) il 22/10/2020.

La sperimentazione è stata gestita utilizzando piante fresche a radice nuda, per la cultivar Rociera, mentre le selezioni del D3A sono state propagate come cime radicate presso il vivaio Viveros California a Segovia (Spagna).

Le serre "tunnel" destinate alle prove di riduzione idrica sono tre: sono "macrotunnel" di 50 metri di lunghezza che non possiedono pareti laterali dritte in quanto la struttura si presenta totalmente ricurva dal suo punto di fissaggio nel suolo fino all'apice. La struttura portante, larga 10 metri, è costituita da moduli ripetuti di tubi metallici a forma di arco, distanti 3 metri l'uno dall'altro. La sua altezza massima si aggira attorno ai 3 metri nel punto più alto, ma essendo un arco chiaramente diminuisce spostandosi verso i bordi laterali. Questo tipo di struttura a tunnel è particolarmente indicata per colture di piccole dimensioni, in particolare per le orticole che non raggiungono altezze elevate, e risulta essere abbastanza economica, semplice da installare e resistente allo stesso tempo. Tra i vantaggi che si ottengono utilizzando questo tipo di serre bisogna annoverare anche la leggerezza della struttura, che consente di supportare facilmente gli archi, e l'assenza di ostacoli interni come pali portanti o sostegni che renderebbero più difficile lo svolgimento delle operazioni colturali e il passaggio delle trattrici (Serrano, 2005). La struttura è completamente ricoperta da un film plastico opaco di polietilene a bassa densità (LDPE) che si colloca sopra una rete di cavi estesa per tutta la lunghezza del tunnel, ed è fissato agli archi per mezzo di corde che, passando al di sopra dello stesso strato di polietilene, si ancorano alla parte più bassa dei tubi metallici.

All'interno di ogni tunnel ci sono sei filari di piante con sistemazione a prode come si può ben osservare nella *Figura 6*.

Ogni baulatura presenta una doppia fila di piante che si estendono per tutta la lunghezza del tunnel e si trovano a 40 cm di altezza rispetto al suolo, la larghezza di questo tipo di sistemazione è di circa 60 cm.



Fig. 6: Tunnel e disposizione dei filari.

Le prode sono pacciamate con un film nero biodegradabile che assicura condizioni ideali per lo sviluppo radicale delle piante, inoltre la pacciamatura con questo materiale impedisce lo sviluppo di erbe infestanti e riduce la percentuale di marciumi dei frutti garantendone un migliore stato di salute in quanto non vengono a contatto con il suolo.

Il sistema a goccia con due manichette forate per ogni proda si trova proprio al di sotto del film biodegradabile così come i sensori del software *Infocultivo*. Quest'ultimo è utilizzato per gestire l'irrigazione di precisione tramite l'impiego di rilevatori nel suolo. Tale software elabora grafici per molti parametri relativi al terreno, tra cui l'umidità, la conducibilità elettrica e le varie concentrazioni di micro e macronutrienti del suolo. Il sistema attiva automaticamente l'irrigazione, e la fertirrigazione, in base al consumo e alle esigenze delle piante, in modo da ottenere un'adeguata umidità e conducibilità durante tutto

il ciclo colturale, così facendo gli erogatori iniziano a lavorare solo quando i sensori registrano valori che raggiungono i limiti soglia preinseriti nel sistema ad inizio campagna, generando un risparmio idrico oltre che un approvvigionamento preciso e puntuale. I sensori di *Infocultivo*, attivi dal giorno 29/10/2021, sono anche in grado di registrare il quantitativo di acqua erogata durante il ciclo e i rispettivi tempi di irrigazione.

| | Flusso d'acqua W100 (m ³ /ha) | Flusso d'acqua W72 (m ³ /ha) | Tempo di irrigazione (min) |
|---------------|---|--|-------------------------------|
| Novembre | 390,6 | 281,23 | 501,35 |
| Dicembre | 423,72 | 305,08 | 508,56 |
| Gennaio | 322,56 | 232,24 | 402,87 |
| Febbraio | 324,36 | 233,54 | 432,5 |
| Marzo | 858,6 | 618,19 | 1058,5 |
| Aprile | 827,64 | 595,90 | 1095,5 |
| TOTALE | 3147,48 | 2266,19 | 3999,28 |

Tab. 4: Quantitativo di acqua utilizzata nei diversi trattamenti e tempo di irrigazione.

Come si può notare nella *Tabella 4* il flusso d'acqua totale registrato per il trattamento di 5 L/h ammonta a 3147,48 m³/ha, mentre per il trattamento di 3,6 L/h corrisponde a 2266,19 m³/ha, valori che rientrano nei limiti definiti dalla Junta de Andalucía con il "*Plan Especial para la ordenación de las zonas con cultivos en regadío localizadas al norte de la corona forestal de Doñana*". Il tempo totale di irrigazione necessario alla coltura, uguale per entrambi i trattamenti considerati, si riscontra attorno a 3999,28 minuti che corrispondono a 66,65 ore totali.

Il sesto d'impianto adottato è anche quello più diffuso localmente, detto "a tresbolillo" che sarebbe la disposizione in file binate con distanze di 30 centimetri tra le file della bina e 35 centimetri lungo la fila, con una densità di 60000 piante per ettaro.

La gestione delle concimazioni e dei trattamenti fitosanitari è stata predisposta in modo da attenersi sia al disciplinare di produzione in biologico della regione andalusa (Junta de Andalucía, 2013) che al Regolamento (CE) n° 834/2007 del Consiglio relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici (EUR-Lex, 2007).

3.4 Trattamenti e schema sperimentale

I tre tunnel destinati alle prove di riduzione idrica hanno in comune tra loro la stessa struttura portante ma diversa gestione interna, dovuta all'impostazione di due differenti trattamenti irrigui sulle selezioni e varietà oggetto in esame. Un tunnel è stato interamente destinato al trattamento con 3,6 L/h (W72) che corrisponde al 72% del trattamento standard, mentre gli altri due, con 5 L/h (W100), che coincide con il volume di acqua impiegato per irrigare tutti i tunnel del campo di Pichardo. Al contrario del tunnel con il trattamento irriguo ridotto che è idraulicamente indipendente, gli altri due sono connessi agli erogatori principali e al sistema che irriga l'intero campo con la stessa portata e frequenza. Invece il tunnel con il trattamento di 3,6 L/h è connesso ad una cinta particolare che consente di erogare un flusso ridotto.

La disposizione dei differenti tubi di irrigazione determina chiaramente anche la disposizione delle varie selezioni all'interno dei tunnel: uno dei tre tunnel è stato dedicato interamente alla selezione AN17,44,45 con il trattamento standard, poiché nella valutazione dell'anno precedente aveva dato ottimi risultati e suscitato particolare interesse nel produttore; nell'altro tunnel con trattamento di 5 L/h la superficie è stata divisa tra la selezione AN17,45,39 che occupa la prima metà del tunnel e AN17,45,112 che occupa la seconda metà, questa ripartizione ha fatto in modo di avere quasi lo stesso numero di piante per entrambe le selezioni presenti nello stesso tunnel; all'interno del tunnel con ridotto apporto idrico troviamo tutte e tre le selezioni, più Rociera, disposte su tutte e sei le prode baulate, diversamente dagli altri due tunnel in cui l'azienda ha deciso di utilizzare solo le quattro file centrali, lasciandone una libera per ogni estremità come si può osservare nella *Figura 7*.

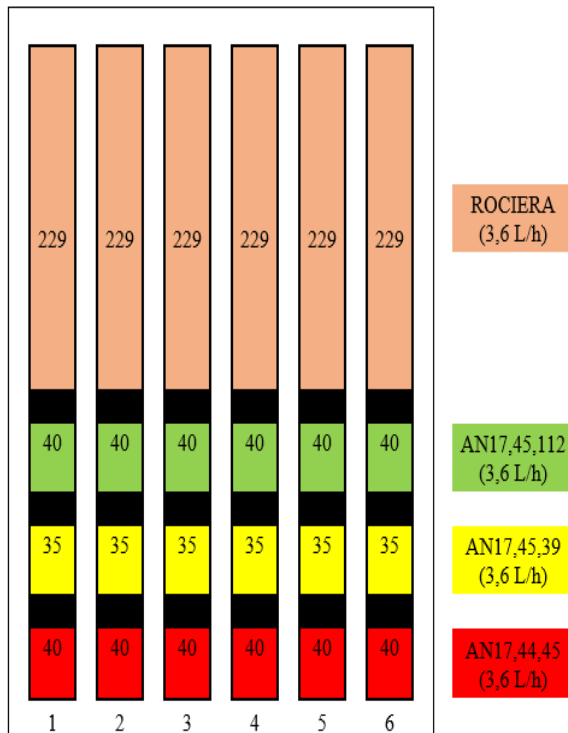
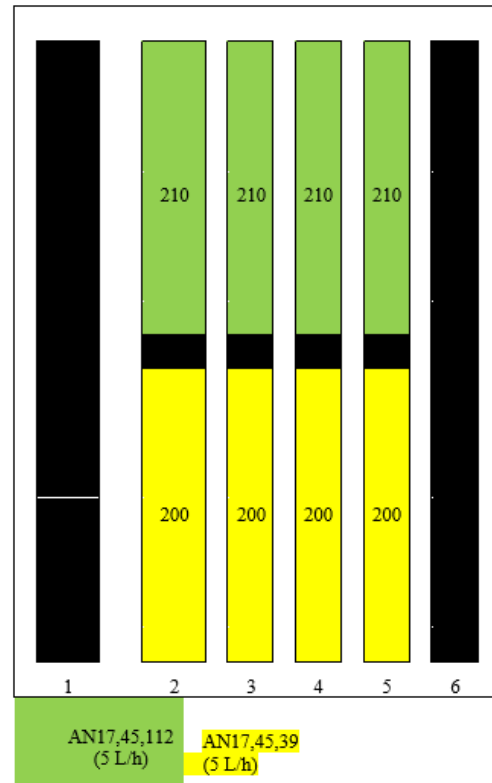
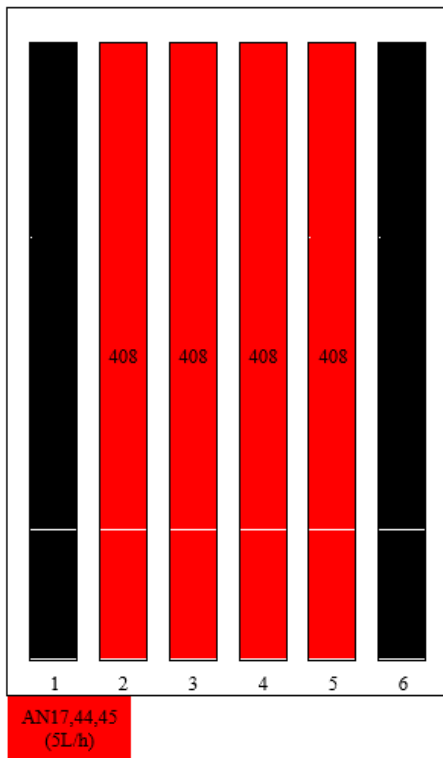


Fig. 7: Disposizione interna dei tunnel di prova.

È importante sottolineare che nei tre tunnel indicati non è presente la varietà di riferimento con il trattamento standard (W100), questo l'intero campo di Pichardo è coltivato con Rociera (5 L/h), dunque i suoi dati produttivi sono stati rilevati da parcelle identificate nei tunnel destinati alla produzione dove sono stati anche campionati i frutti per la valutazione qualitativa.

All'interno dei singoli tunnel, sono state scelte 18 piante di ogni selezione e della varietà Rociera, per entrambi i trattamenti, con lo scopo di valutarne i parametri vegetativi e valutarne l'adattamento a condizioni di minore approvvigionamento idrico.

3.5 Parametri rilevati

Con lo scopo di valutare l'effetto di un ridotto apporto idrico sulla coltura della fragola è fondamentale avere una visione completa della risposta delle piante ai differenti trattamenti. Questo è stato possibile grazie ai rilievi eseguiti in campo che permettono di definire da un punto di vista quali-quantitativo il livello di adattamento delle selezioni in oggetto, alle condizioni pedoclimatiche spagnole e ai differenti apporti idrici impiegati.

Le informazioni riguardanti la crescita vegetativa e il vigore delle piante in funzione della quantità di acqua apportata con l'irrigazione sono state registrate misurando con un metro i seguenti parametri:

- altezza delle piante (cm);
- numero di foglie;
- la lunghezza e la larghezza delle foglie (cm);
- numero di infiorescenze (assi fiorali/pianta).

I rilievi sono stati effettuati una volta al mese per tutta la durata della prova sperimentale, dal 15/1/2021, 4/2/2021, 9/3/2021, 9/4/2021 al 3/5/2021, prendendo in considerazione per ogni selezione e ogni genotipo, 18 piante contrassegnate. Questo numero è dato da tre ripetizioni, ciascuna di 6 piante, scelte ad inizio campagna in base alla loro omogeneità di vigore iniziale e all'aspetto generale dei singoli individui.

Il controllo della produzione è stato effettuato su frutti maturi che mostravano colorazione rossa uniforme, e il peso rilevato con una bilancia di precisione (*Figura 8*).

La produzione totale è stata valutata su tutte le piante di ogni genotipo durante tutta la stagione di raccolta. La differenza nelle date di raccolta che si osserva nei differenti mesi di produzione nella *Tabella 5* è dovuta alle condizioni climatiche e alla risposta delle piante all'aumento delle temperature.



Fig. 8: Bilancia di precisione PD6 Baxtran

| Mese | Giorno |
|----------|---|
| Gennaio | 13-20-27 |
| Febbraio | 2-8-12-16-18-22-24-26 |
| Marzo | 2-5-8-10-12-15-17-19-22-24-25-26-29-30-31 |
| Aprile | 2-3-5-6-8-9-12-13-15-16-19-20-22-23-26-28-29-30 |
| Maggio | 3 |

Tab. 5: Date di raccolta dei frutti.

La produzione totale è stata calcolata come somma del peso di frutti di prima e seconda categoria. La prima categoria include i frutti maturi sani, integri, di forma regolare e con colorazione uniforme, la seconda comprende i frutti deformati, sottomisura, quelli colpiti

da marciumi e con cracking²¹. Infine, dividendo il peso dei frutti di prima categoria per il numero di frutti raccolti nella stessa data, si è ottenuto il peso medio di un singolo frutto. Nelle stesse date in cui sono stati raccolti i frutti per registrare il peso della produzione, si è proceduto al campionamento di 10 frutti per ogni genotipo coltivato per entrambi i trattamenti, con lo scopo di rilevare i parametri qualitativi; la consistenza della polpa, il residuo secco rifrattometrico e l'acidità titolabile. I dati ottenuti sono la media dei valori delle raccolte effettuate.



Fig. 9: Penetrometro manuale Turoni 53203

La consistenza della fragola è un carattere importante poiché ne determina la commercializzazione, infatti una selezione che presenta buona consistenza della polpa garantirà accesso alla vendita anche su mercati lontani dal luogo di produzione. L'analisi della consistenza dei frutti risulta importante

perché determina anche la loro resistenza allo schiacciamento e alle manipolazioni, quindi la conservabilità del prodotto nel periodo post-raccolta. Il controllo di tale caratteristica del frutto risulta prevalentemente genetico ma dipende anche dalla temperatura, in particolare gli eccessi termici sono connessi a scarse consistenze (Rosli et al., 2004). La valutazione prevede una metodologia caratterizzata dall'utilizzo di un penetrometro manuale, uno strumento che si presenta con varie tipologie dimensionali del puntale, anche detto sonda di penetrazione (Figura 9). Il penetrometro permette di forare l'epidermide e parte della polpa nella zona equatoriale su entrambe le facce del frutto, misurando la resistenza alla perforazione su una scala che va da 0 a 1000 g/cm². I valori di questa analisi dipendono ovviamente da molti fattori ma quello principale è la manipolazione eccessiva del frutto che indebolisce la superficie falsando il risultato, per questo le misurazioni sono state effettuate subito dopo la raccolta.

²¹ Il cracking è considerato una fisiopatia che può essere causata da carenze o eccessi nutritivi ma anche da squilibri fisiologici. È un fenomeno determinato da una condizione di forte stress evapotraspirativo che si rivela come mancanza di elasticità della superficie del frutto fino a portare allo spaccamento.

Il residuo secco rifrattometrico indica la quantità di solidi solubili contenuti nel frutto di fragola, che per la maggior parte sono rappresentati da zuccheri, questa è stata misurata con un rifrattometro digitale ATAGO PAL-1 (Figura 10), strumento che basa la misurazione sul principio fisico della rifrazione di un fascio di luce attraverso una soluzione, secondo cui all'aumentare della densità della soluzione cresce proporzionalmente l'indice di rifrazione (Urruty et al., 2002). La soluzione in questione non è altro che un campione di 4-5 gocce di succo di fragola che si versa sul prisma e così lo strumento restituisce la misurazione in gradi Brix (da 0 a 54 gradi) con un errore relativo di ± 0.2 ° Brix. Il Brix viene utilizzato per la misurazione del rapporto di peso tra zuccheri e acqua nella quale è stata disciolta la quantità di zucchero ricercata. Un grado Brix ($^{\circ}$ Brix o $^{\circ}$ Bx) corrisponde a 1 parte di sostanza solida (peso secco) in 99 parti di soluzione, maggiore è il contenuto in zuccheri della fragola e maggiore sarà il valore.



Fig. 10: Rifrattometro digitale ATAGO PAL-1.

L'acidità dei frutti è stata misurata con l'ATAGO PAL-BX | ACID4, uno strumento che consente di misurare i livelli di zuccheri e anche l'acidità di una soluzione con un unico dispositivo. Il livello di acidità è un altro elemento importante che caratterizza il gusto di una fragola. Per misurare questo valore si diluisce il campione, precedentemente posizionato sul prisma porta campioni, con poche gocce d'acqua, e si ottengono sul display i valori di contenuto solido solubile e acidità. L'acidità è misurata attraverso la conduttività elettrica del campione ed il risultato viene restituito in concentrazione percentuale di acido citrico (range da 0,1 a 3,5%), con una precisione di $\pm 0,1\%$. Tale misurazione è stata eseguita una volta al mese da gennaio ad aprile nelle seguenti date 18/01/2021, 19/02/2021, 09/03/2021 e 19/04/2021.

L'ultimo parametro analizzato riguarda la determinazione della **shel-life** dei frutti che insieme alla consistenza ci rivela la risposta dei frutti al periodo di post-raccolta, ottenuta monitorando la differenza di peso in grammi dopo un periodo di 7 giorni, a partire dal momento in cui i campioni venivano stoccati in magazzino. Tale parametro è stato rilevato su 10 fragole per ciascuna selezione e varietà di entrambi i trattamenti di irrigazione. La valutazione della shelf life è stata effettuata una volta al mese da gennaio a maggio.

3.6 Analisi statistica

I valori riscontrati per i parametri vegetativi, produttivi e qualitativi vengono presentati come somma di valori o come valore medio \pm l'errore standard (ES) per ogni genotipo studiato e ogni trattamento. I risultati ottenuti sono stati sottoposti ad un'analisi della varianza con il metodo ANOVA a due vie per sapere se esistono differenze significative tra i trattamenti. Le medie sono analizzate statisticamente con il test LSD "Least Significant Difference" ($p \leq 0,05$) e l'elaborazione statistica viene eseguita utilizzando il software STATISTICA (Stasoft, Tulsa, OK).

Capitolo IV:

RISULTATI

4.1 Parametri vegetativi

Le considerazioni sui parametri vegetativi sono rese possibili dal fatto che le misurazioni sono state effettuate sempre sulle stesse piante per evitare una distorsione dei dati, infatti i valori sono stati rilevati su 144 piante, ovvero 18 per selezione più 18 piante di Rociera, il tutto moltiplicato per i due trattamenti irrigui.

Il rilevamento di tali parametri, a cadenza mensile, è stato utile al fine di poter valutare il vigore vegetativo delle selezioni a seconda del volume di acqua apportato, ma soprattutto al fine di confrontare l'evoluzione stagionale delle selezioni con quello di Rociera che rappresenta la condizione di crescita standard. A fine raccolta è stato così possibile stabilire l'entità delle differenze di crescita vegetativa in funzione della riduzione dell'apporto idrico.

4.1.1 Altezza delle piante

L'altezza è un parametro strettamente connesso alla capacità fotosintetica delle piante ed è particolarmente influenzata dalle condizioni ambientali (Yuan, 2004). Questo carattere vegetativo, che insieme al numero di foglie rappresenta un indicatore di vigore, normalmente risulta inferiore in condizioni di ridotto apporto idrico (Grant et al., 2012). Ciò è effettivamente riscontrabile se paragoniamo il trattamento di 5 L/h (W100) con quello di 3,6 L/h (W72): complessivamente le selezioni di Ancona e Rociera hanno mostrato un vigore più elevato con un maggiore volume di irrigazione, questo è ciò che si può osservare in generale, se però ci concentriamo sull'andamento mensile riscontriamo risposte differenti in base al genotipo. Le prime due misurazioni (*Figura 11*), eseguite rispettivamente il 15 gennaio ed il 4 febbraio non hanno evidenziato differenze significative nello sviluppo vegetativo delle tre selezioni coltivate con i due regimi idrici (W72 e W100). Rociera si è distinta per una maggiore altezza della pianta al trattamento idrico ridotto piuttosto che per il regime di riferimento. Questo differente

comportamento di Rociera si è mantenuto sia a febbraio che a marzo, pur mostrando una minore differenza tra i due trattamenti. Nel rilievo di marzo la selezione AN17,44,45 e AN17,45,39 si sono distinte per un maggiore sviluppo in altezza della pianta al trattamento W100, mentre la selezione AN17,45,112 presenta lo stesso comportamento della varietà di riferimento, differenziandosi entrambe per una maggiore altezza delle piante allevate con il trattamento idrico W72. Nei rilievi di aprile e maggio tutti i genotipi hanno presentato un maggiore sviluppo in altezza delle piante delle parcelle irrigate con 5 L/h, ciò è probabilmente dovuto alla maggiore esigenza idrica delle piante in questo periodo a causa dell'innalzamento delle temperature.

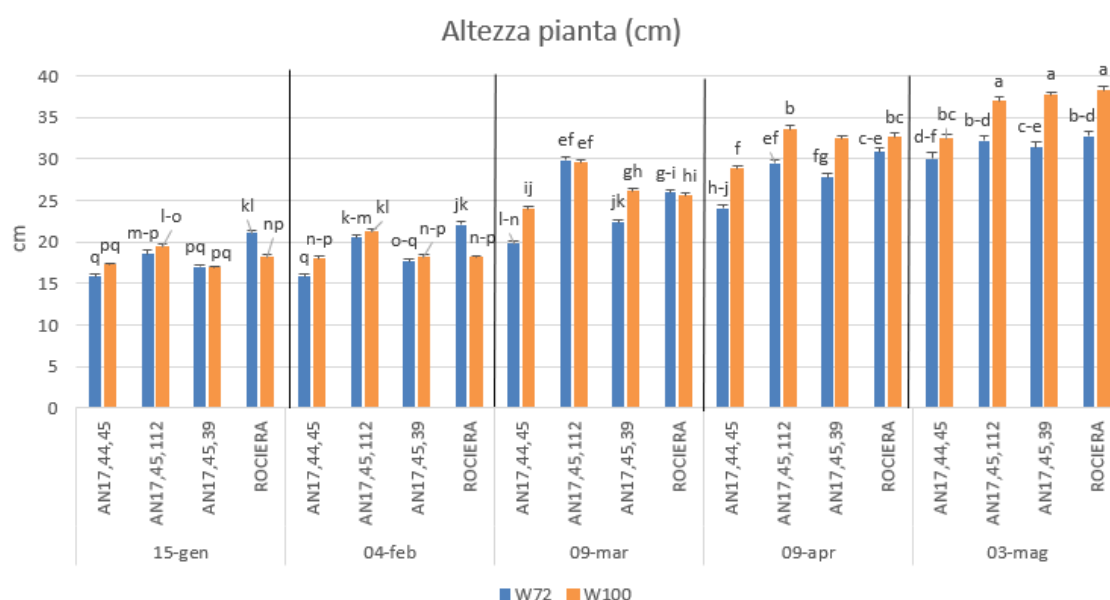


Fig. 11: Andamento delle altezze in centimetri \pm errore standard (ES) dei genotipi valutati con due diversi regimi idrici (W100, W72) nel periodo gennaio – maggio. Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

Da questi risultati, si può affermare che nel mese di gennaio il trattamento W72 ha promosso un maggiore sviluppo vegetativo della pianta rispetto a W100 solamente per Rociera. Nel mese successivo Rociera ha mantenuto questo comportamento al contrario di tutti gli altri genotipi, mentre ad aprile tutte le piante sottoposte ad un flusso idrico di 5 L/h risultano più sviluppate di quelle irrigate con 3,6 L/h, Rociera inclusa. Questa tendenza si conferma anche nell'ultima misurazione di maggio.

La AN17,45,112 è tra le selezioni, quella che mostra un vigore vegetativo più marcato, indipendentemente dal trattamento impiegato, infatti i valori di altezza pianta sono simili a quelli di Rociera, addirittura superano quest'ultima a marzo per entrambi i trattamenti e ad aprile per W100.

A gennaio il valore di altezza pianta più elevato è quello di Rociera (W72) con 21,08 cm \pm 0,36, così anche a febbraio con 22,03 cm \pm 0,36, ma non a marzo, in cui il picco è raggiunto da AN17,45,112 (W72) con 29,83 cm \pm 0,34. In questa data, tra i due trattamenti non vi sono differenze significative sul valore dell'altezza pianta di AN17,45,112. Questa selezione continua ad emergere per il suo vigore ad aprile con i suoi 33,56 cm \pm 0,5 (W100), per poi lasciare a maggio di nuovo il primato in altezza a Rociera. Bisogna sottolineare che a maggio i valori rilevati con W100 in Rociera (38,22 cm \pm 0,54), AN17,45,112 (37 cm \pm 0,48) e AN17,45,39 (37,7 cm \pm 0,37) rivelano performance vegetative simili e non statisticamente differenti.

La selezione AN17,44,45 mantiene un habitus vegetativo compatto nelle date considerate.

Per l'analisi statistica è stato preso mensilmente in considerazione il valore medio dell'altezza pianta per ogni trattamento idrico (Figura 12), è interessante notare che i due

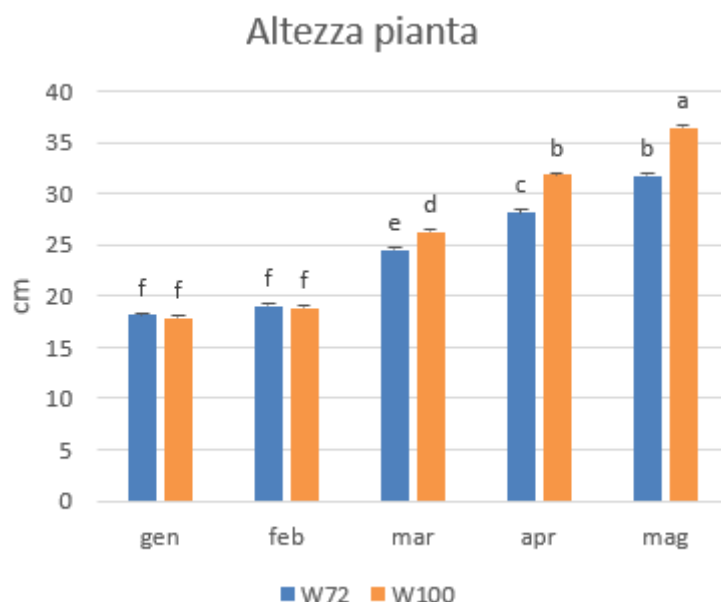


Fig. 12: Altezza media delle piante \pm errore standard (ES) cresciute con diversi trattamenti (W100, W72). Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD

diversi apporti idrici generano gli stessi livelli medi di altezza pianta sia a gennaio che a febbraio, per poi cambiare da marzo con l'inizio dell'incremento delle temperature.

Questi risultati forniscono informazioni concrete sull'utilizzo dell'acqua fino a marzo e mostrano la possibilità di ottenere le stesse performance vegetative del trattamento standard ma con un risparmio idrico del 28%.

Tale risposta è stata osservata in particolare per Rociera, una cultivar che probabilmente soffre di problemi di tolleranza ad eccessi idrici in periodi di minor fabbisogno come durante il periodo invernale. Situazione differente si verifica da marzo ai mesi successivi poiché il trattamento W100 genera un maggiore sviluppo vegetativo, mentre una disponibilità idrica limitata causa una minore altezza delle piante, in linea con lo studio di Cattivelli et al. (2014).

Il regime idrico di 5 L/h (W100) è quello maggiormente utilizzato in tutta la provincia di Huelva nella coltivazione della fragola, i risultati però mostrano come questo possa essere considerato eccessivo per il primo periodo di coltivazione. Infatti, lo sviluppo in termini di altezza, osservato nei primi mesi con i due regimi a confronto mostra risultati di non rilevanza statistica significativa, dunque con W100 l'applicazione potrebbe risultare eccessiva e oltre a rappresentare uno spreco d'acqua, generare anche un ristagno idrico nel suolo.

4.1.2 Numero di foglie per pianta

Come precedentemente affermato, gli effetti della riduzione idrica influenzano direttamente lo sviluppo in termini di altezza della pianta e così anche il numero di foglie. I primi sintomi di deficit idrico si registrano proprio a livello fogliare, con riduzione delle dimensioni, del tasso di traspirazione e del potenziale idrico, se poi lo stress persiste gli effetti possono portare ad una riduzione della capacità fotosintetica (Razavi et al., 2008). Il numero di foglie è un parametro importante per la valutazione dello sviluppo vegetativo della pianta, per tale ragione questo valore è stato monitorato per tutto il ciclo di coltivazione.

In generale, tutte le selezioni e Rociera hanno sviluppato poche foglie con entrambi i trattamenti durante il primo mese di valutazione (periodo invernale), successivamente si rileva un trend di crescita nel periodo successivo del ciclo di coltivazione. A febbraio,

solo la selezione AN17,45,112 si differenzia statisticamente per maggiore numero di foglie, mentre al termine del ciclo di coltivazione AN17,45,39 e Rociera mostrano valori più elevati e statisticamente simili per entrambi i trattamenti.

Analizzando l'andamento del parametro sui genotipi durante l'intero periodo di coltivazione, si può rilevare che nel primo mese, AN17,45,112 trattata con 5 L/h ha sviluppato il maggior numero di foglie (W100: $12,88 \pm 0,49$), seguita da AN17,45,39 e da Rociera. Bisogna però evidenziare che AN17,45,112 con il trattamento idrico ridotto (W72: $11,94 \pm 0,37$) risulta avere apparato aereo leggermente meno espanso rispetto a W100. Nel mese successivo possiamo osservare una crescita positiva per la selezione AN17,45,112 ($20,61 \pm 0,5$ con 5 L/h e $17,88 \pm 0,5$ con 3,6 L/h) che continua a primeggiare, dando i risultati migliori in entrambi i trattamenti rispetto alle altre selezioni e a Rociera. È interessante il fatto che, Rociera è l'unico genotipo che mostra un maggior numero di foglie nella prova con minore quantità di acqua (W72: $15,83 \pm 0,38$) rispetto al trattamento standard (W100: $13,55 \pm 0,38$) e tale caratteristica, si manterrà a marzo con una riduzione di differenze tra trattamenti. Nel mese di marzo la selezione AN17,45,112 continua a differenziarsi per un buon numero di foglie (W100: $26,16 \pm 0,55$; W72: $21,77$

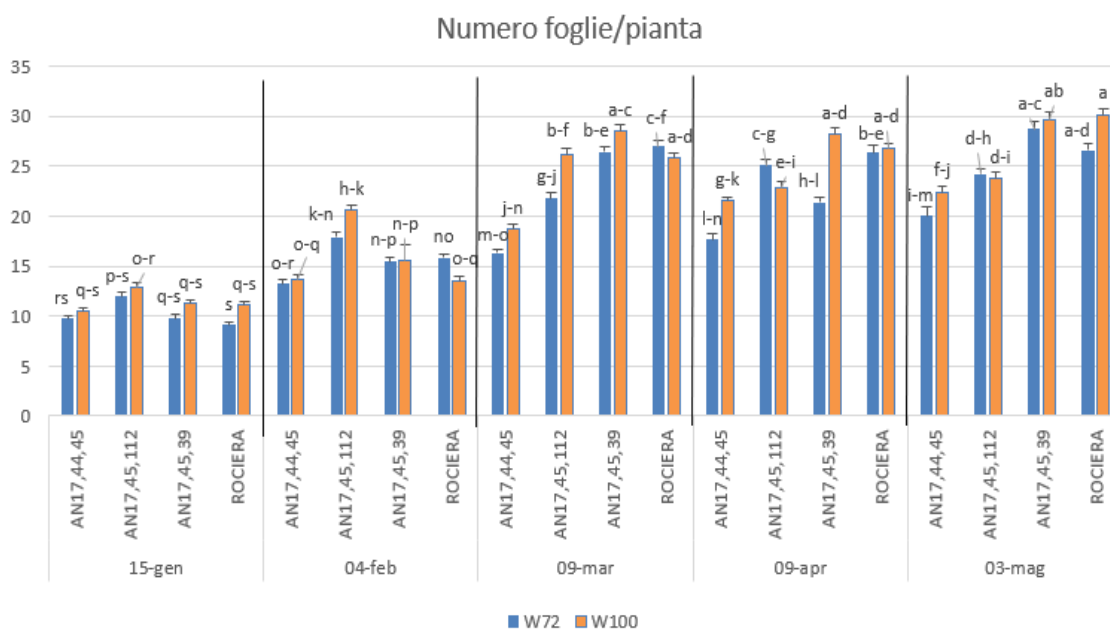


Fig. 13: Andamento del numero medio di foglie/pianta \pm errore standard (ES) dei genotipi valutati con due diversi regimi idrici (W100, W72) nel periodo gennaio – maggio. Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

$\pm 0,58$) ma viene superata nei mesi seguenti da AN17,45,39 (W100: $28,5 \pm 0,62$; W72: $26,38 \pm 0,53$) assieme a Rociera.

Nell'ultimo rilievo, è Rociera che genera il maggior numero di foglie/pianta, $30,17 \pm 0,57$ (W100), a maggio con le elevate temperature andaluse la differenza tra i due trattamenti aumenta rispetto alle precedenti misurazioni (W72: $26,62 \pm 0,57$). Si ricorda che a maggio tra i due genotipi (Rociera e AN17, 45,39) per entrambi trattamenti non vi è differenza statistica.

La selezione AN17,44,45 durante il periodo di misurazioni, sembra mostrare un habitus più compatto e un numero di foglie minore rispetto agli altri genotipi ma questo potrebbe semplicemente ricondursi ad un vigore non troppo eccessivo della selezione, supportato dal fatto che ad aprile non vi è una differenza statisticamente significativa tra i trattamenti. Tale sviluppo meno marcato si può associare ad una minore capacità della pianta di supportare allo stesso tempo una crescita vegetativa importante e una produzione di frutta di qualità, così non avendo energie e risorse per entrambe, si focalizza su una sola di esse a discapito dell'altra.

Per l'analisi in *Figura 14* è stato esaminato in generale come incide statisticamente il trattamento idrico sul parametro numero di foglie per tutta la durata della campagna. I

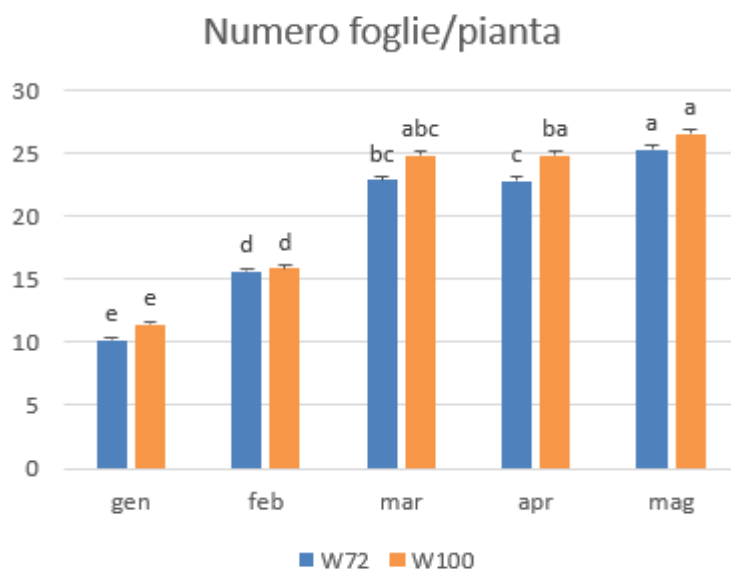


Fig. 14: Numero medio di foglie per pianta \pm errore standard (ES) di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72) durante cinque mesi di studio. Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

risultati mostrano che a gennaio, a febbraio e a maggio i due diversi approvvigionamenti generano gli stessi livelli di numero di foglie per pianta. Questa valutazione risulta molto interessante, perché dimostra che durante tre mesi di campagna, con un minore apporto idrico non si riduce il numero di foglie per pianta, garantendo un'attività fotosintetica sufficiente a sostenere produzioni di frutti di qualità.

Si può inoltre notare che l'approvvigionamento ridotto (W72), da gennaio a maggio, non ha mai determinato un numero medio di foglie/pianta significativamente più elevato rispetto al trattamento standard (W100).

4.1.3 Numero di assi fiorali per pianta

I fiori della pianta di fragola sono raccolti in infiorescenze che presentano un asse primario e molti assi di ordine superiore (Kurokura et al., 2005). Il conteggio degli assi fiorali per pianta è dunque fondamentale insieme agli altri parametri valutati per definire lo stato vegetativo e di vigore generale della pianta stessa che inciderà sulla resa.

Nel periodo analizzato si nota facilmente che l'emissione di assi fiorali/pianta è strettamente connessa con l'incremento delle temperature, infatti se consideriamo i valori

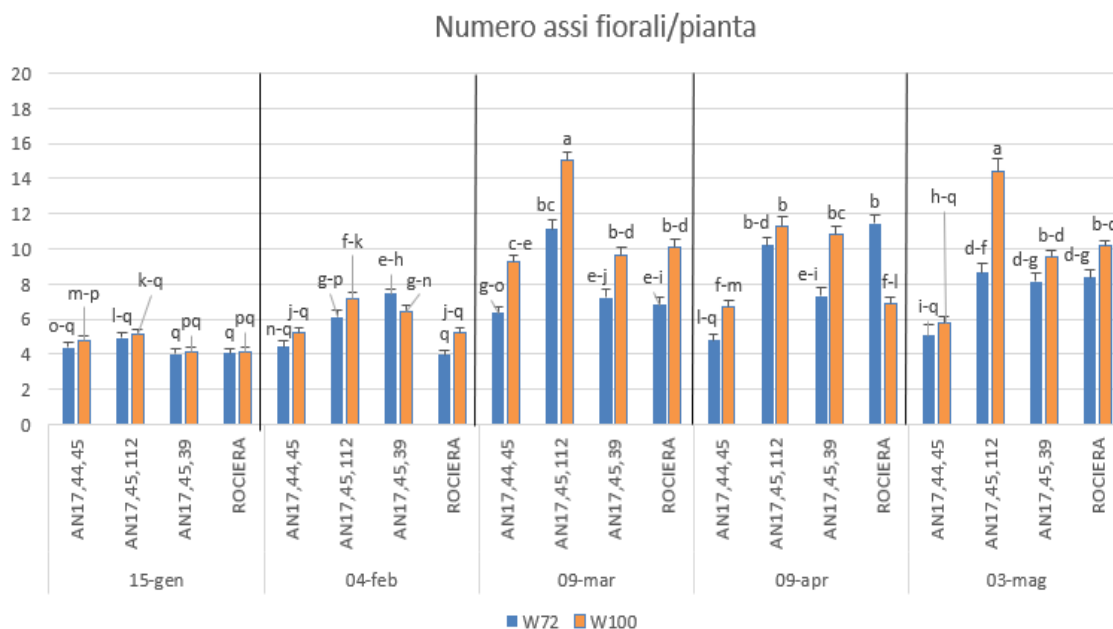


Fig. 15: Andamento del numero di assi fiorali/pianta \pm errore standard (ES) dei genotipi valutati con due diversi regimi idrici (W100, W72) nel periodo gennaio – maggio. Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

massimi raggiunti vediamo come da marzo in poi c'è un netto miglioramento di questo carattere.

Nei primi due mesi di valutazione, il parametro analizzato sembra non essere influenzato dall'utilizzo di due trattamenti, ma principalmente dal genotipo. A gennaio la selezione AN17,45,112 raggiunge il valore di $5,17 \pm 0,25$ assi fiorali/pianta con il trattamento W100, mentre nel mese successivo è AN17,45,39 con trattamento ridotto (W72) a spiccare con $7,44 \pm 0,29$. Successivamente, a marzo e ad aprile, la selezione AN17,45,112 posta a W100 emerge statisticamente rispetto alle altre e tale dato viene confermato da una produzione elevata. A marzo, in generale, per le altre selezioni e Rociera, vi è un numero di assi fiorali statisticamente più elevato in W100 rispetto W72, confermato anche ad aprile ma non statisticamente.

Per quanto riguarda l'andamento del numero medio di assi fiorali per pianta rilevato durante l'intero ciclo di coltivazione (*Figura 16*), si è osservato che a gennaio e febbraio le piante di tutti i genotipi presentano lo stesso numero di infiorescenze ad entrambi i trattamenti idrici (*Figura 16*).

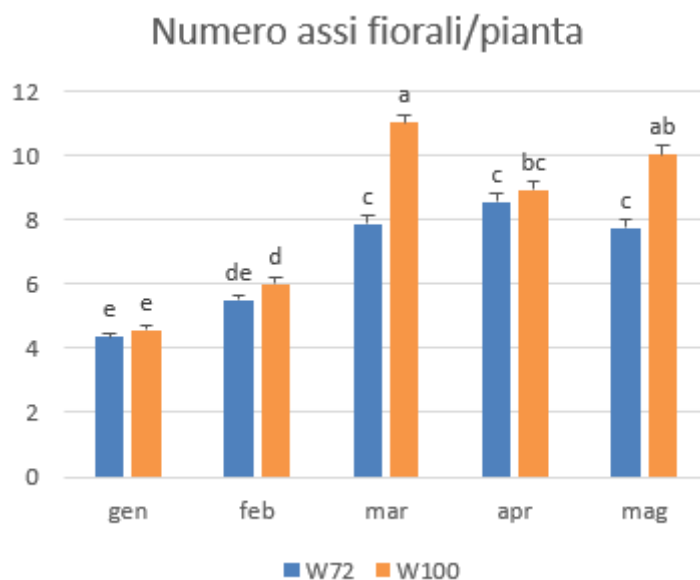


Fig. 16: Numero medio di assi fiorali per pianta \pm errore standard (ES) di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72) durante cinque mesi di studio. Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

Nel mese di marzo, il maggior numero di infiorescenze è stato osservato nelle piante trattate con il più elevato apporto idrico, tale differenza non è stata rilevata nel mese di aprile e maggio.

4.1.4 Mortalità

L'adattabilità e la mortalità dipendono fortemente dalla qualità delle piante di fragola e dal loro genotipo (Rahman et al., 2014), tuttavia bisogna anche considerare la condizione di stress che generiamo con il trattamento W72 ed il fatto che alcune selezioni, seppur avanzate, potessero non rispondere così bene alla condizione di riduzione idrica.

Con il fine di monitorare la perdita di piante e osservare l'eventuale insorgere di patologie, durante il ciclo di coltivazione si è contato il numero di individui per selezione messe a dimora e registrato il numero di piante morte per i quattro rilievi successivi. In questo modo, sapendo il numero iniziale di piante, è possibile estrarre un dato percentuale medio riguardante le perdite. La percentuale di mortalità non viene rilevata per Rociera W100 in quanto i suoi dati si riferiscono ad un dato estrapolato da una parcella all'interno di un tunnel destinato alla produzione.

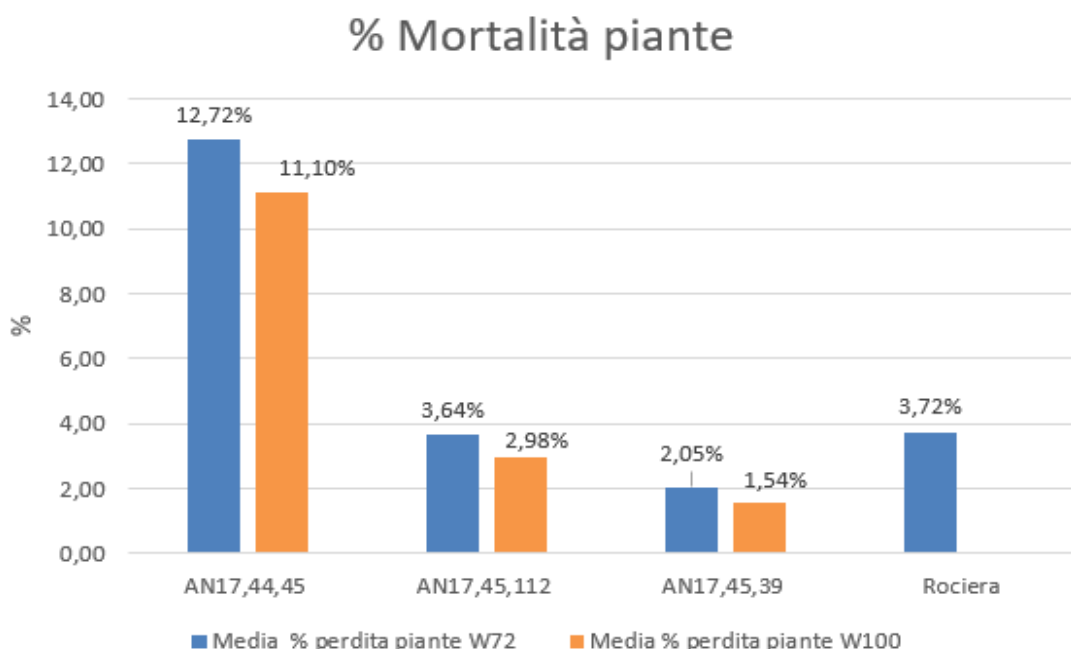


Fig. 17: Perdita in percentuale di piante di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72) durante cinque mesi di studio.



Fig. 18: Effetti di *Phytophthora cactorum* sulla selezione AN17,44,45.

Il dato medio riguardante la percentuale di mortalità ci mostra che la perdita di piante non è stata così eccessiva in nessun caso tranne per la selezione AN17,44,45, questa a fine campagna raggiunge l'11,10% di perdite con W100

ma il dato più alto si verifica con W72 a 12,72% di piante morte sul totale iniziale. Ciò è da attribuire principalmente a marciumi della corona causati dall'oomicete *Phytophthora cactorum* (Figura 18) il quale ha colpito le piante in aree specifiche della parcella e lentamente si è espanso. La presenza del fitopatogeno è stata individuata sezionando longitudinalmente la corona di alcune piante infette, infatti questa con il progredire della malattia assume una colorazione marrone chiaro che indica l'inizio di un processo necrotico che principalmente riguarda il tessuto vascolare ma poi si estende a tutta la pianta (Figura 19). Successivamente la presenza di *Phytophthora cactorum* è stata confermata anche dall'analisi microscopica di laboratorio.



Fig. 19: Effetti di *Phytophthora cactorum* sulla corona della selezione AN17,44,45.

Gli altri valori di mortalità sono compresi tra l'1,54% (AN17,45,39 W100) ed il 3,72% (Rociera W72) confermando il fatto che la percentuale di perdite manifestate è rimasta entro livelli molto contenuti per Rociera e una selezione (AN17,45,39), e totalmente assenti per le altre due selezioni. Dato preliminare interessante, da verificare se possibilmente associato a qualche fattore di resistenza genetica di queste due nuove selezioni (AN17,45,112 e AN17,44,45).

4.2 Parametri produttivi

Numerosi studi dimostrano che un maggiore apporto irriguo migliora le produzioni totali e il numero di fragole prodotte per pianta (Liu et al., 2007; Lozano et al., 2016), ciò appare perfettamente in linea con i risultati produttivi ottenuti in questa prova di riduzione idrica. Le produzioni totali sono sempre maggiori quando vediamo applicato il trattamento (W100) con 5 L/h.

4.2.1 Produzione totale per pianta

Il genotipo più produttivo in termini di grammi totali per pianta è AN17,45,112 (W100: $830,5 \pm 5,02$; W72: $642,4 \pm 3,04$) che supera AN17,45,39 (W100: $700,1 \pm 3,09$; W72: $675,1 \pm 2,97$) e di gran lunga anche Rociera (W100: $610,8 \pm 8,29$; W72: $535,6 \pm 2,42$), la varietà controllo, in ultima posizione per produzione totale si classifica la AN17,44,45 (W100: $388,9 \pm 2,27$; W72: $245,5 \pm 1,21$) che comunque ha prodotto frutta di alta qualità. Tuttavia, se consideriamo il regime idrico ridotto, la selezione AN17,45,39 (W72: $675,1 \pm 2,97$) mostra il livello produttivo più elevato tra i valori registrati con l'irrigazione di 3,6 L/h, seguita da AN17,45,112 (W72: $642,4 \pm 3,04$) e da Rociera (W72: $535,6 \pm 2,42$), inoltre il comportamento della AN17,45,39 suscita un particolare interesse dal momento che è la selezione che presenta la minore differenza in termini di produzione tra i due trattamenti, parliamo di solo 25 grammi come si osserva nella *Figura 20* e nella *Tabella 6* (W100: $700,1 \pm 3,09$; W72: $675,1 \pm 2,97$). Ciò potrebbe essere indice del fatto che la varietà ben si adatta alla riduzione di apporto idrico rispetto al regime standard di riferimento. Il livello produttivo raggiunto con la cinta di distribuzione da 3,6 L/h sta

evidentemente generando un risparmio idrico del 28%, che tradotto in termini di volume corrisponde ad utilizzare 881,29 m³/ha di acqua in meno per ottenere quasi la stessa produzione totale che si ottiene con 5L/h.

| GENOTIPO | Trattamento | PRODUZIONE COMMERCIALE/PIANTA (g) | SCARTO/PIANTA (g) | PRODUZIONE TOTALE/PIANTA (g) |
|-------------|-------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------|
| AN17,44,45 | W72 | 245,5 | 106,7 | 352,1 |
| | W100 | 388,9 | 120,8 | 509,7 |
| AN17,45,112 | W72 | 355,4 | 287,0 | 642,4 |
| | W100 | 536,7 | 293,8 | 830,5 |
| AN17,45,39 | W72 | 497,5 | 177,6 | 675,1 |
| | W100 | 568,8 | 131,3 | 700,1 |
| ROCIERA | W72 | 416,5 | 119,1 | 535,6 |
| | W100 | 495,8 | 115,1 | 610,8 |

Tab. 6: Produzione totale, commerciale e scarto di frutti per pianta di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72) durante cinque mesi di studio.

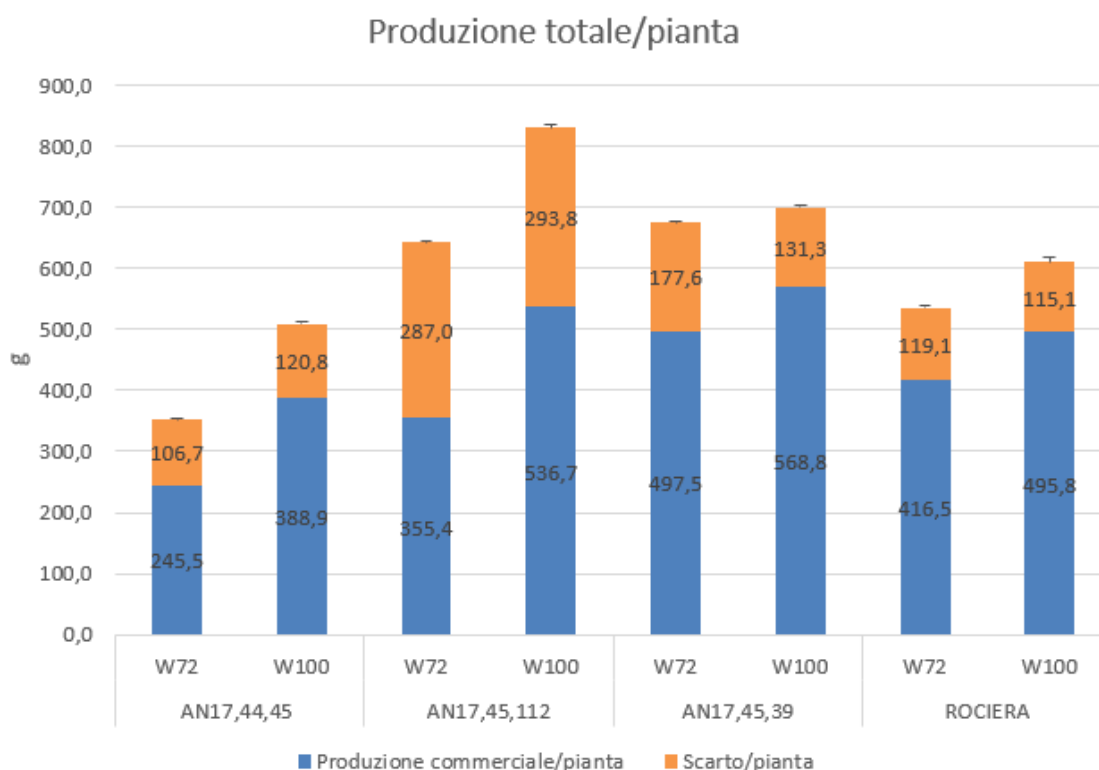


Fig. 20: Produzione totale di frutti per pianta ± errore standard (ES) di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72) durante cinque mesi di studio.

Se osserviamo l'andamento della produzione totale durante tutto il periodo produttivo (*Figura 21*) possiamo notare che Rociera (W100: 3 g; W72: 1,17 g) e la selezione AN17,44,45 (W100: 3,73 g; W72: 3 g) hanno un'epoca di maturazione più precoce rispetto alle altre, infatti la loro produzione da inizio gennaio a fine febbraio viene definita

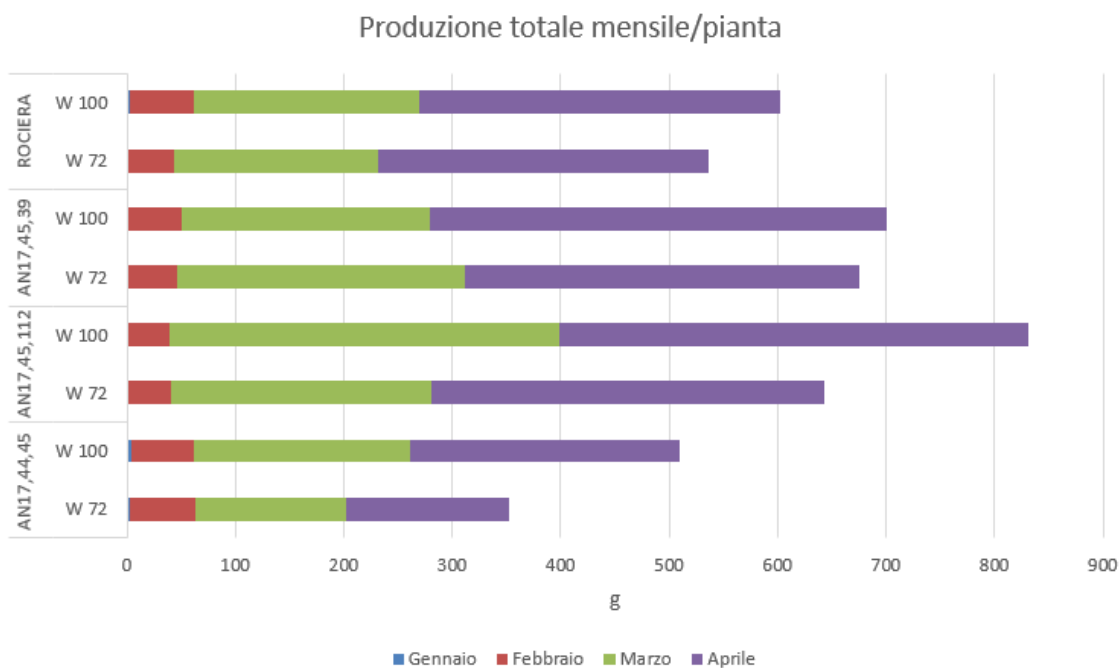


Fig. 21: Andamento della produzione totale mensile/pianta di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72) durante cinque mesi di studio.

come extra-precoce. Nel primo mese di produzione solo AN17,44,45 presenta lo stesso comportamento della varietà di riferimento, anzi migliora le prestazioni di quest'ultima e presenta simili valori tra i due trattamenti idrici. Da febbraio le produzioni iniziano a essere leggermente più consistenti per tutti i genotipi valutati, dimostrando che ogni selezione di questo studio si caratterizza per un adattamento alle condizioni fisico-climatiche del sud della Spagna. AN17,44,45 oltre a restituire il dato di produzione più elevato nel mese di febbraio (W100: 58,4 g; W72: 59,54 g), continua a generare risultati molto simili tra entrambi gli apporti idrici impiegati, così come la selezione AN17,45,112 (W100: 39,24 g; W72: 41 g). Queste due selezioni hanno una produzione più elevata al trattamento W72 differenziandosi, anche se di poco, dai risultati ottenuti dalle piante di AN17,45,39 (W100: 51 g; W72: 47 g) e Rociera (W100: 58,55 g; W72: 42,35 g).

Da inizio a fine marzo la produzione viene definita come precoce, qui la selezione AN17,44,45 (W100: 198,9 g; W72: 139,1 g) cessa di rappresentare la produzione più consistente lasciando il primato alla AN17,45,112 (W100: 358,44 g; W72: 240,2 g) fino a fine raccolta. Tutte le selezioni a marzo mostrano prestazioni migliori di Rociera ad entrambi i regimi idrici (W100: 207,72 g; W72: 187,7 g), addirittura la AN17,45,39 produce un 13,6% in più quando si applica il regime idrico W72 (W100: 228,2 g; W72: 264,15 g), mostrando una particolare tolleranza alla riduzione dell'irrigazione. Solo la selezione AN17,44,45 presenta una risposta produttiva più contenuta.

Ad aprile, vediamo come la tendenza rimanga uguale a quella di marzo con AN17,45,112 (W100: 432,24 g; W72: 361,07 g) che genera le produzioni più consistenti seguita da AN17,45,39 (W100: 421 g; W72: 364,02 g). Entrambe restituiscono valori più elevati della cultivar commerciale Rociera (W100: 333,14 g; W72: 304,36 g), mentre AN17,44,45 si conferma per una minore capacità produttiva (W100: 248,67 g; W72: 150,51 g).

4.2.2 Produzione commerciale

Per produzione commerciale si intendono tutti i frutti considerati di prima categoria, ovvero quelli che a maturazione completa risultano sani ed integri, di forma regolare e con colorazione uniforme. Una buona produzione commerciale coincide con una grande resa potenziale e questi due aspetti sono profondamente influenzati dall'induzione a fiore e dalla disponibilità idrica (Serrano et al., 1992; Gavilán et al., 2015). Osservando i risultati (*Figura 20, Tabella 6*) si nota facilmente che i valori produttivi più elevati di frutti di prima categoria vengono raggiunti con il trattamento che prevede una maggiore somministrazione in termini di quantità di acqua, infatti le piante irrigate con la cinta di distribuzione che eroga 5 L/h mostrano una produzione superiore a quella ottenuta con l'altro regime idrico (W72) ma non sempre questa differenza è riscontrabile.

Possiamo osservare tale comportamento nella cultivar di riferimento, il trattamento W100 ha generato 79,3 grammi di frutta di prima categoria in più rispetto a W72 (*Figura 20*). Dunque, la differenza tra i due regimi idrici appare piuttosto contenuta, ma non è il miglior dato che possiamo osservare, infatti sulla selezione AN17,45,39 è stata rilevata una più sottile differenza di livello produttivo tra trattamenti, che ammonta a 71,3

grammi. Questo dato conferma l'attitudine di questa selezione a generare risultati simili con l'impiego di due differenti apporti irrigui.

A conferma di ciò e per completezza, si riportano anche le differenze di produzione commerciale tra i due trattamenti, per la selezione AN17,44,45 (143,4 grammi) e per la selezione AN17,45,112 (181,3 grammi). Quest'ultima spicca positivamente con una produzione di frutti di prima categoria (W100: 536,68 grammi) più elevata rispetto a Rociera (W100: 495,76 grammi), tuttavia non è l'unica selezione che presenta questo comportamento infatti AN17,45,39 con il regime idrico W100 rappresenta il livello di produzione commerciale più elevato che è stato raggiunto in questo studio (568,78 grammi), caratterizzando la selezione non solo per il suo adattamento alla condizione di riduzione idrica ma anche per la qualità e quantità della sua frutta. Valori sostanzialmente inferiori di produzione commerciale sono stati rilevati dalle piante della selezione AN17,44,45 (W100: 388,9 grammi).

4.2.3 Scarto

Ciò che definiamo come scarto, o fragole di seconda categoria, comprende quei frutti che si presentano deformati, spaccati, sottomisura, quelli colpiti da marciumi e con cracking.

In base al genotipo, le selezioni di Ancona hanno prodotto una maggiore quantità di fragole di seconda categoria, ciò è dovuto principalmente al fatto che i frutti scartati presentavano una pezzatura inferiore alla cultivar commerciale di riferimento, tuttavia anche Rociera ha generato un consistente livello di scarto percentuale che con il trattamento idrico ridotto (W72: 119,1 grammi) si attesta attorno al 22,25% della produzione totale (W72: 535,6 grammi).

Come si vede in *Figura 20* e nella *Tabella 6*, alcune selezioni hanno raggiunto un'elevata quantità di scarto rispetto alla produzione totale, questo è il caso di AN17,45,112 che con il trattamento W72 presenta una quantità di frutta di seconda categoria (287 grammi) pari al 44,68% della produzione totale (642,4 grammi). La stessa selezione, irrigata con 5 L/h ha altresì generato uno scarto (293,8 grammi) pari al 35,38% della produzione totale (830,5 grammi).

Valori di scarto molto elevati sono stati rilevati anche per la selezione AN17,44,45 (W72: 106,7 grammi), dove ammonta al 30,29% del totale (W72: 352,1 grammi) e per la

AN17,45,39 (W72: 177,6 grammi) che presenta uno scarto percentuale sul totale (W72: 675,1 grammi) del 26,30%. Quest'ultima, ha il valore inferiore (W100: 131,3 grammi), con il 18,76% di 700,1 grammi di produzione totale. Tale dato, risulta essere simile alla % di scarto di Rociera (W100: 18,84%). Inoltre, si nota che questi due genotipi si sovrappongono per aver prodotto le quantità più elevate di frutti di prima categoria, in entrambe le condizioni idriche. Le performance produttive e la risposta produttiva ai due trattamenti irrigui confermano le potenzialità di AN17,45,39.

4.2.4 Peso medio del frutto

Tra i parametri produttivi, il peso medio dei frutti rappresenta una valutazione fondamentale, in quanto è un indicatore della produttività specifica della pianta e della resa totale del genotipo (Linnemannstöns et al., 2013). Per valutare l'effetto dei due differenti regimi idrici sulla produzione è stata effettuata la misura del peso medio. In questo studio, i risultati ottenuti descrivono buone e simili performance (*Figura 22*) per entrambi i regimi idrici, in particolare nel primo periodo di raccolta. A maggio, invece, si

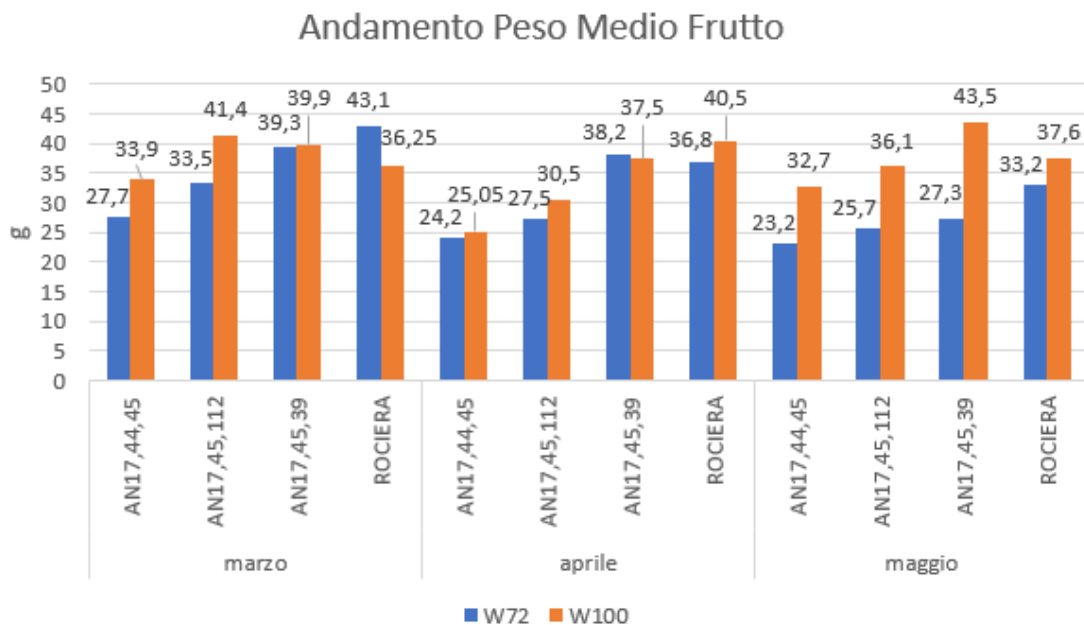


Fig. 22: Andamento del peso medio dei frutti di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72).

evidenziano pezzature medie del frutto più elevate per tutti i genotipi trattati con il regime idrico W100, confermando la necessità di un apporto idrico maggiore durante questo periodo a causa dell'aumento delle temperature.

Il grafico (Figura 22) ci mostra come il regime idrico di 5 L/h (W100) abbia prodotto frutti con un peso medio più elevato per quasi tutto l'intervallo di tempo marzo-maggio. C'è da dire però che ci sono delle eccezioni sia per Rociera che per la selezione AN17,45,39. Ad aprile, la selezione a W72 con 38,5 g, ha prodotto fragole dal peso medio

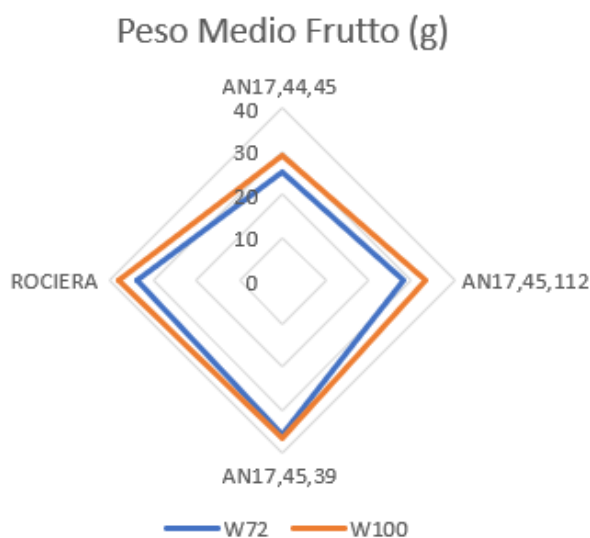


Fig. 23: Rappresentazione grafica del peso medio dei frutti in grammi per ogni genotipo valutato.

maggiore rispetto a W100 con 37,5 grammi. Stesso comportamento, per Rociera che con W72, a marzo raggiunge un peso medio del singolo frutto di 43,08 grammi, mentre con W100 arriva ai 36,25 grammi. Il valore ottenuto da Rociera è il più elevato che sia stato registrato per W72, tutto ciò conferma che fino ad un determinato momento, riducendo del 28% l'irrigazione, le caratteristiche produttive mantengono un valore commerciale elevato, tuttavia l'effetto

del genotipo potrebbe influenzare maggiormente il peso medio dei frutti rispetto l'effetto del trattamento.

Interessanti sono i 41,5 g rilevati a marzo per i frutti della selezione AN17,45,112, coltivata in W100, poiché rappresentano il secondo valore medio più elevato superato solamente da AN17,45,39 a maggio con 43,5 grammi, il valore più elevato registrato in assoluto tra tutti i pesi medi ottenuti con W100 (Figura 23).

I pesi medi frutto inferiori sono stati rilevati per la selezione AN17,44,45, con il valore più basso a maggio in W72 (23,2 grammi). D'altro canto, confrontando i dati ottenuti tra i trattamenti, con il fine di valutare l'adattamento allo stress idrico, vediamo che la minore differenza tra i due trattamenti ad aprile si registra per questa selezione (W100-W72= 0,85 grammi). AN17,45,39 è l'unica selezione che a marzo mostra una differenza di solo 0,65 grammi di peso medio dei frutti raccolti dalle piante allevate con i due regimi idrici.

Nella *Figura 24* si evidenzia meglio la differenza media del peso del frutto determinata dal diverso genotipo. I risultati mostrano che AN17,45,39 genera valori medi di peso del frutto in risposta alle due condizioni idriche con differenze statisticamente non significative (W100: 36,75 g \pm 1,37; W72: 35,60 g \pm 1,99). Mentre gli altri genotipi a W100 producono fragole con pesi medi statisticamente più elevati rispetto a W72. Nello specifico, AN17,44,45 (W100: 29,09 g \pm 1,54; W72: 25,36 g \pm 0,95) e AN17,45,112 (W100: 33,27 g \pm 2,29; W72: 27,97 g \pm 1,54) presentano lo stesso comportamento della cultivar commerciale Rociera (W100: 38,22 g \pm 2,96; W72: 33,94 g \pm 2,46), mentre AN17,45,39 si conferma la selezione più adattata alla condizione di riduzione dell'approvvigionamento idrico poiché mantiene lo stesso peso medio del frutto indipendentemente dai trattamenti.

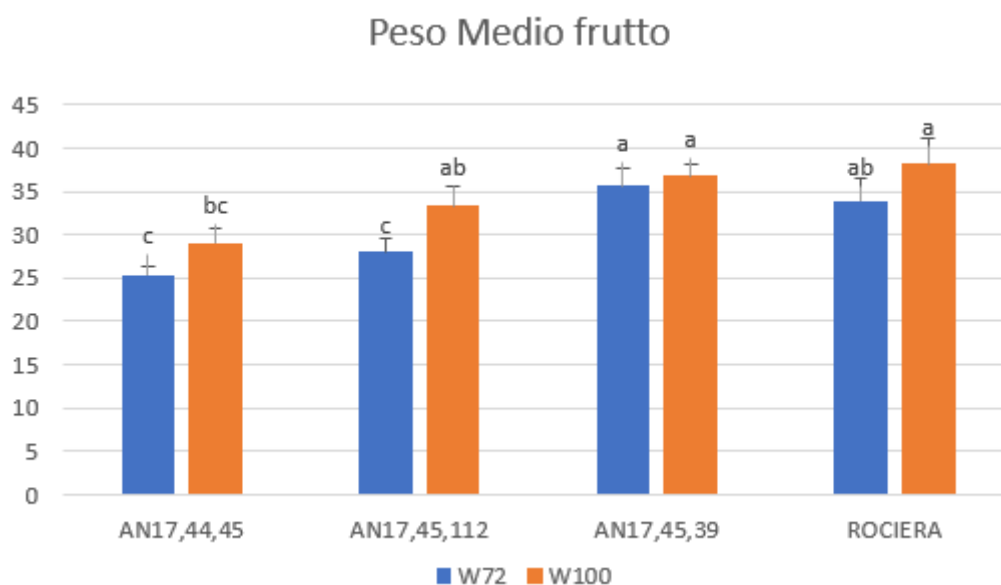


Fig. 24: Peso medio dei frutti \pm errore standard (ES) di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72). Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

4.3 Parametri qualitativi

La valutazione qualitativa della fragola passa attraverso la stima di parametri che caratterizzano il frutto per la sua composizione, sapore e aroma, i quali variano

notevolmente in funzione del genotipo, del grado di maturazione e delle modalità di conservazione dopo la raccolta (Chaves et al., 2017). Tuttavia, in letteratura per indicare la qualità di questo frutto molto spesso si utilizza una combinazione di molti parametri sensoriali e nutrizionali (Di Vittori et al., 2018), noi ci limiteremo alla descrizione di obiettivi qualitativi standard considerati fondamentali nel mercato della fragola come il contenuto in solidi solubili ($^{\circ}$ Brix), l'acidità, la consistenza e la shelf-life.

4.3.1 Contenuto in solidi solubili

Secondo quanto dimostrato da Terry et al. (2008) le fragole con il più elevato contenuto in zuccheri sono prodotte da piante soggette ad una forte riduzione idrica, ciò è dovuto al fatto che all'interno delle piante cresciute in condizioni di stress idrico si riscontra una maggiore concentrazione di monosaccaridi, in particolare glucosio e fruttosio, rispetto ai trattamenti irrigui considerati standard (Nora et al., 2012).

Considerando tutti i genotipi analizzati (Figura 25), il contenuto in solidi solubili varia da un minimo di 5,5 $^{\circ}$ Brix (AN17,45,39 con W72) fino ad un massimo di 10,2 $^{\circ}$ Brix. Quest'ultimo valore è stato registrato su Rociera proprio con il regime idrico ridotto, in linea con quanto sostenuto da Nora et al. (2012).

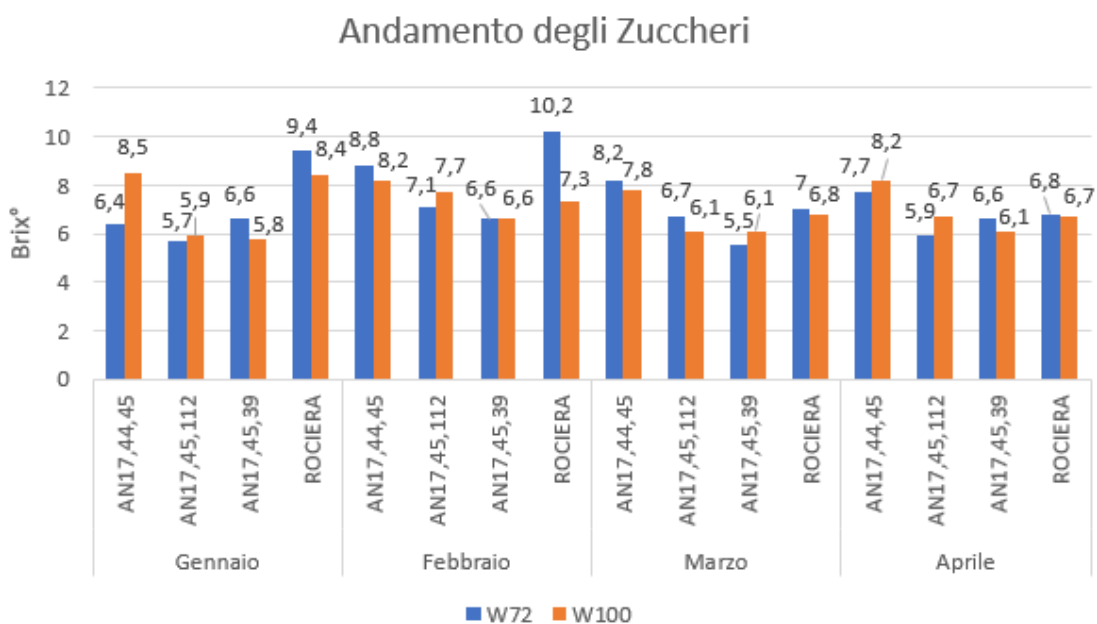


Fig. 25: Andamento del contenuto in zuccheri di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72).

Considerando le differenze riscontrate durante il periodo di raccolta, si evince che per tutto il periodo di produzione Rociera ha prodotto frutti con un contenuto di solidi solubili del frutto più elevato quando coltivata al regime idrico W72. In particolare, Rociera mostra una differenza in °Brix tra i due trattamenti irrigui che risulta \leq a 1 °Brix, tranne a febbraio, mese in cui vediamo che la differenza tra il dato ottenuto con W72 e quello ottenuto con W100 è di 2,9 °Brix.

Questo trend, non si limita a Rociera, infatti anche i frutti di AN17,45,39, sia a gennaio (W100: 5,8 °Brix; W72: 6,6 °Brix) che ad aprile (W100: 6,1 °Brix; W72: 6,6 °Brix) hanno mostrato un contenuto in solidi solubili più elevato in W72 rispetto a W100. La selezione AN17,45,112 (W100) a marzo presenta il valore di 6,1 °Brix, mentre con la riduzione idrica il dato si alza a 6,7 °Brix e la selezione AN17,44,45 a febbraio (W100: 8,2 °Brix; W72: 8,8 °Brix) e a marzo (W100: 7,8 °Brix; W72: 8,2 °Brix) rivela un comportamento sovrapponibile a quello di Rociera.

Analizzando i valori medi del °Brix rilevati per i diversi genotipi in tutte le raccolte (*Figura 26*), non si osservano tra i trattamenti differenze statisticamente significative.

La differenza più elevata è stata rilevata con Rociera, quando irrigata con 3,6 L/h (W72) presenta il valore medio più elevato ovvero $8,35 \text{ °Brix} \pm 0,85$, mentre con W100 il valore si abbassa a $7,3 \text{ °Brix} \pm 0,38$.

La selezione AN17,45,39 continua a generare risultati simili tra trattamenti anche per quanto riguarda il contenuto in zuccheri dei frutti (W100: $6,15 \text{ °Brix} \pm 0,16$; W72: $6,33 \text{ °Brix} \pm 0,27$), marcando così l'adattamento della pianta alla condizione di ridotto regime idrico e un comportamento simile alla cultivar di controllo.

Invece, le altre due selezioni AN17,44,45 (W100: $8,18 \text{ °Brix} \pm 0,14$; W72: $7,78 \text{ °Brix} \pm 0,51$) e AN17,45,112 (W100: $6,6 \text{ °Brix} \pm 0,40$; W72: $6,35 \text{ °Brix} \pm 0,33$) presentano dati medi leggermente più elevati con W100 andando in contrasto con la tendenza dei risultati mostrati precedentemente.

Il maggiore contenuto in zuccheri solubili rilevato nel primo periodo di raccolta a favore dei frutti raccolti dalle piante coltivate a regime idrico più contenuto, evidenziano come in questo periodo sia di particolare importanza adottare il regime idrico più appropriato così da meglio valorizzare la risposta produttiva e qualitativa delle diverse cultivars. In ogni caso l'elevato apporto idrico induce una riduzione della qualità dei frutti.

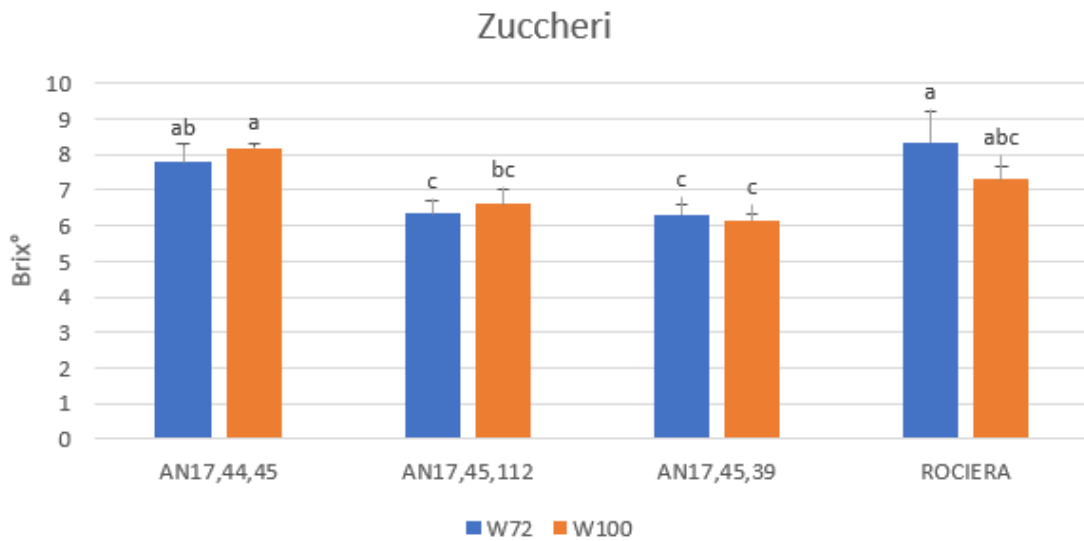


Fig. 26: Contenuto medio in solidi solubili (°Brix) \pm errore standard (ES) di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72). Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

4.3.2 Acidità titolabile

All'interno della trattazione riguardante gli aspetti qualitativi delle fragole, per completare la descrizione sensoriale del frutto, oltre alla concentrazione zuccherina, l'acidità rappresenta un fattore estremamente rilevante, direttamente controllato dal genotipo (Shim et al., 2007). Infatti, bisogna sottolineare che tale valutazione qualitativa può essere influenzata negativamente da un'eccessiva somministrazione di acqua che può causare asfissia radicale, perdite di produzione e marcato deterioramento delle qualità organolettiche del frutto intese come riduzione del contenuto zuccherino e aumento dell'acidità (Kafkas et al., 2007).

Andamento Acidità Titolabile

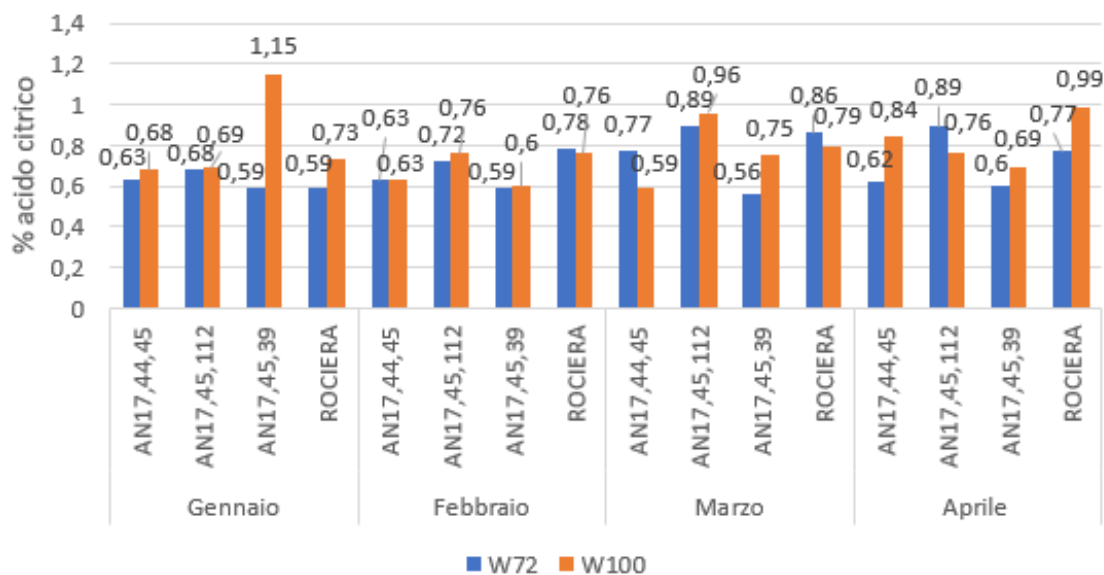


Fig. 27: Andamento dell'acidità titolabile di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72).

Secondo l'andamento dei risultati ottenuti (Figura 27), il livello più elevato di acidità è quello raggiunto a gennaio dai frutti di AN17,45,39 (W100), infatti presentano un valore che si aggira attorno all'1,15 % di acido citrico, mentre a regime idrico ridotto raggiunge il valore più basso registrato (W72: 0,56%),

È interessante notare come le selezioni AN17,45,112 (W100: 0,69%; W72: 0,68%) a gennaio e AN17,44,45 (W100: 0,63%; W72: 0,63%) a febbraio presentino un comportamento simile, ovvero presentano valori di acidità titolabile dei frutti molto simili con entrambi i trattamenti.

A livello generale si nota come il regime idrico W100 generi valori di acidità titolabile dei frutti quasi sempre maggiori rispetto a W72, fanno eccezione Rociera a febbraio (W100: 0,76%; W72: 0,78%), AN17,44,45 (W100: 0,59%; W72: 0,77%) e Rociera (W100: 0,79%; W72: 0,86%) a marzo, AN17,45-112 (W100: 0,76%; W72: 0,89%) ad aprile, seppur non presentando differenze significative.

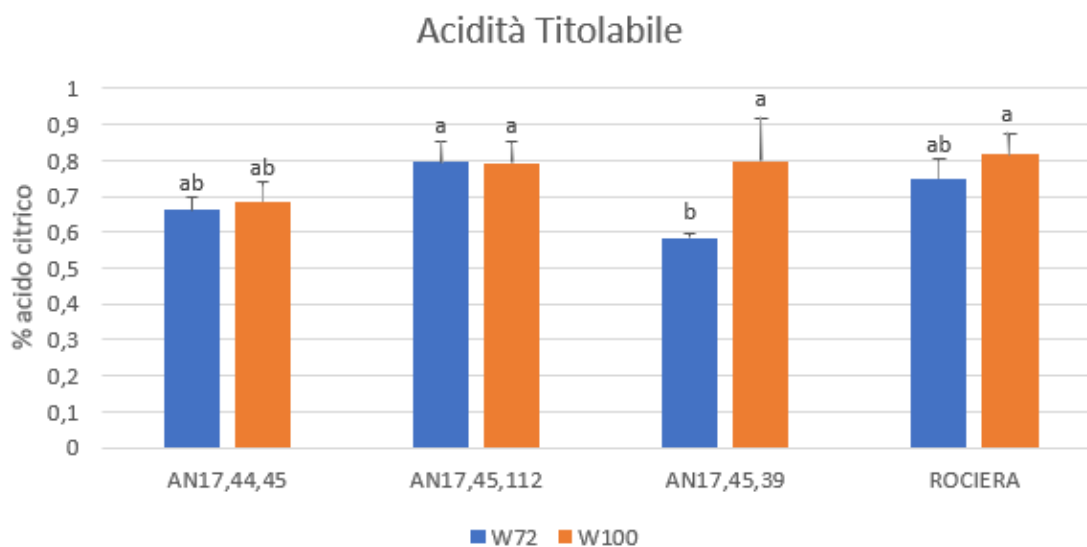


Fig. 28: Acidità titolabile media espressa in percentuale di acido citrico \pm errore standard (ES) di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72). Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per $P < 0,05$, Test LSD.

Infatti, il trattamento idrico non genera differenze statisticamente significative sull'acidità titolabile media del frutto (Figura 28), tranne per AN17,45,39. I risultati mostrano valori sempre molto simili: Rociera produce fragole con acidità media più elevata quando irrigata con la cinta da 5 L/h (W100: 0,82% \pm 0,06; W72: 0,75% \pm 0,05), lo stesso comportamento è osservabile anche per la selezione AN17,45,39 (W100: 0,8% \pm 0,12; W72: 0,59% \pm 0,008) e la AN17,44,45 (W100: 0,69% \pm 0,05; W72: 0,66% \pm 0,03).

4.3.3 Consistenza

La fragola è un frutto dall'epidermide piuttosto delicata che se non possiede una buona resistenza agli urti può risultare piuttosto vulnerabile e creare perdite di resa durante la raccolta, il trasporto e la conservazione. Proprio per questo è stata effettuata l'analisi della consistenza che serve a valutare la resistenza delle fragole a sollecitazioni di vario tipo, come lo schiacciamento e gli impatti derivanti dalla fase di manipolazione.

Tale caratteristica del frutto risulta controllata prevalentemente da fattori genetici (Rosli et al., 2004) ma può dipendere anche dall'intensità luminosa (Sams, 1999) e dalla quantità di acqua apportata alla coltura (Krüger et al., 2000).

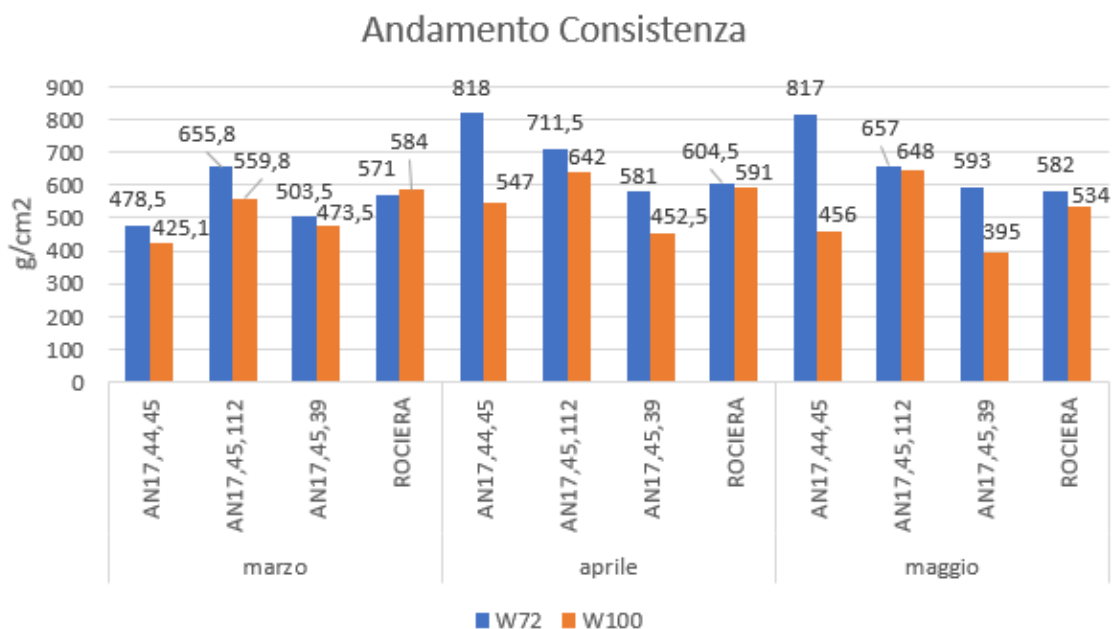


Fig. 29: Andamento della consistenza in g/cm^2 di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72).

In generale, dalle piante coltivate con la riduzione del 28% dell'apporto idrico sono stati raccolti frutti di consistenza più elevata per tutto il periodo di raccolta. Tali risultati appaiono così in contrasto con quelli precedentemente ottenuti da Adak et al. (2017), in cui la consistenza dei frutti diminuiva nettamente all'aumentare dello stress idrico, generando frutti più delicati.

Nei diversi periodi di raccolta (*Figura 29*), la condizione di coltivazione W72 genera sempre valori di consistenza più elevati rispetto a W100, eccezion fatta per Rociera a marzo (W100: 584 g/cm^2 ; W72: 571 g/cm^2).

I valori più elevati di consistenza dei frutti sono stati rilevati dalle piante della selezione AN17,44,45 allevate a ridotto regime idrico, infatti sia ad aprile (W100: 547 g/cm^2 ; W72: 818 g/cm^2) che a maggio (W100: 456 g/cm^2 ; W72: 817 g/cm^2) questa presenta i valori

più elevati in assoluto. Bisogna sottolineare come questi risultati siano ben più elevati di quelli della nostra cultivar di riferimento, che stando a quanto si vede sul grafico, non ha raggiunto le stesse prestazioni qualitative in termini di consistenza.

A marzo la consistenza dei frutti più elevata è stata rilevata per la selezione AN17,45,112 ad entrambi i regimi idrici (W100: 425,08 g/cm²; W72: 478,5 g/cm²).

La selezione AN17,45,39 continua ad essere quella che presenta i risultati più simili alla

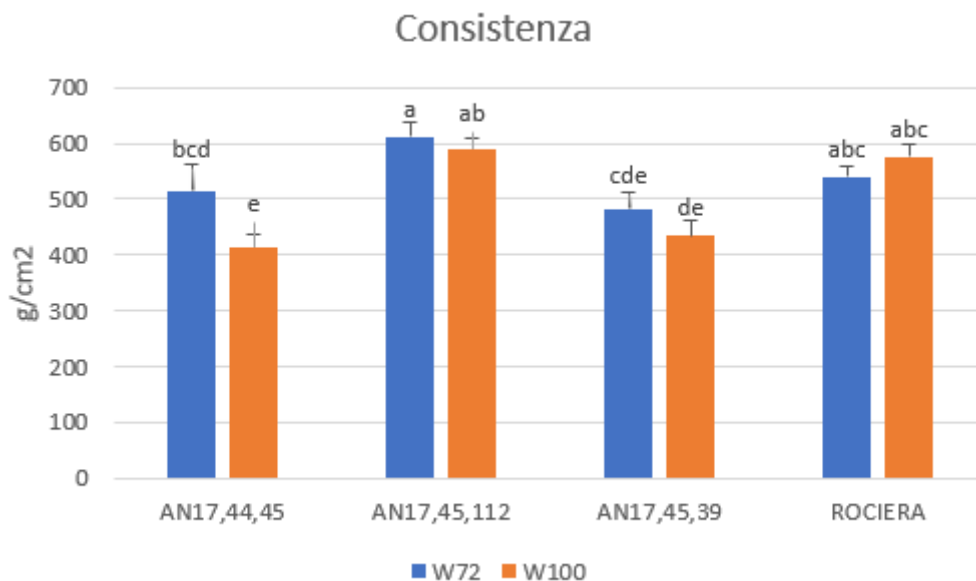


Fig. 30: Consistenza media espressa in g/cm² ± errore standard (ES) di tutti i genotipi considerati, cresciuti con diversi trattamenti dell'acqua (W100, W72). Valori indicati con lettere diverse si differenziano statisticamente per P<0,05, Test LSD.

varietà commerciale Rociera.

Considerando in generale i valori medi per genotipo (Figura 30), la riduzione di apporto idrico sembra influenzare significativamente in modo positivo la consistenza del frutto solo nella selezione AN17,44,45 (W100: 415,13 g/cm² ± 22,47; W72: 514,54 g/cm² ± 49,66), per tutti gli altri genotipi valutati, il trattamento idrico non produce differenze statisticamente significative.

In linea con quanto affermato da Adak et al. (2017), Rociera (W100: 576,8 g/cm² ± 22,66; W72: 539,43 g/cm² ± 18,88) vede migliorare la consistenza delle sue fragole quando viene applicato il trattamento da 5 L/h.

4.3.4 Shelf-life

I cambiamenti fisiologici che avvengono a livello di evapotraspirazione delle fragole appena raccolte, ne influenzano direttamente lo stato fisico degli strati più superficiali, attivando così un processo di degradazione ossidativa che può essere rallentato solamente con la riduzione delle temperature nell'ambiente di conservazione (Nunes et al., 1995). Evitando fluttuazioni eccessive nelle condizioni di conservazione e attuando una precisa gestione dell'ambiente è possibile prolungare nel tempo la commercializzazione del frutto (Jalali et al., 2020), tuttavia è necessario evidenziare che questa risposta è strettamente dipendente dal genotipo (Di Vittori et al., 2018).

A tal proposito, determinare la shelf-life delle fragole significa ottenere informazioni qualitative sui frutti riguardanti il periodo di tempo trascorso prima che la qualità scenda al di sotto del limite di accettazione del consumatore.

Partendo da un campione di 10 fragole, questo parametro qualitativo è stato studiato osservando la variazione in numero di frutti sani (*Figura 31*) ed in peso (*Figura 32*) dopo una settimana di conservazione in frigorifero e a temperatura ambiente. La conservazione in post-raccolta a basse temperature si è confermata più efficiente nel mantenere la qualità commerciale dei frutti di tutti genotipi. Tuttavia, i frutti di Rociera, varietà registrata già ampiamente nota per la sua ottima shelf-life, si sono confermati particolarmente adatti alla conservazione. Infatti, dopo 7 giorni, indipendentemente dal trattamento, il dato medio evidenzia che le fragole in buono stato sono 8,2 su 10 iniziali, quando conservate in frigorifero.

Lo stesso comportamento è stato osservato per la selezione AN17,44,45 che sia con W100 che con W72 in conservazione frigorifera, presenta 8,4 frutti su 10 in ottimo stato, superando il dato di Rociera. Invece AN17,45,112 e AN17,45,39 restituiscono migliori risultati con W100 rispetto a W72 se conservate in frigorifero. AN17,45,112 genera il miglior valore in termini di conservazione, con un dato medio di 8,8 su 10.

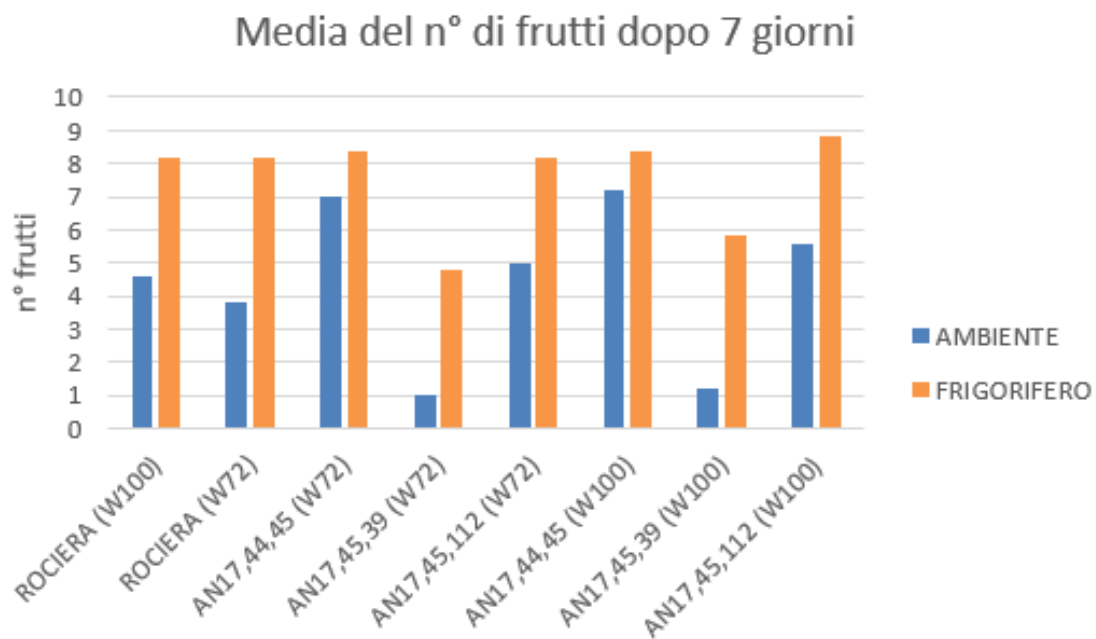


Fig. 31: Numero medio di frutti che possiedono una buona qualità dopo 7 giorni di conservazione in frigorifero e a temperatura ambiente.

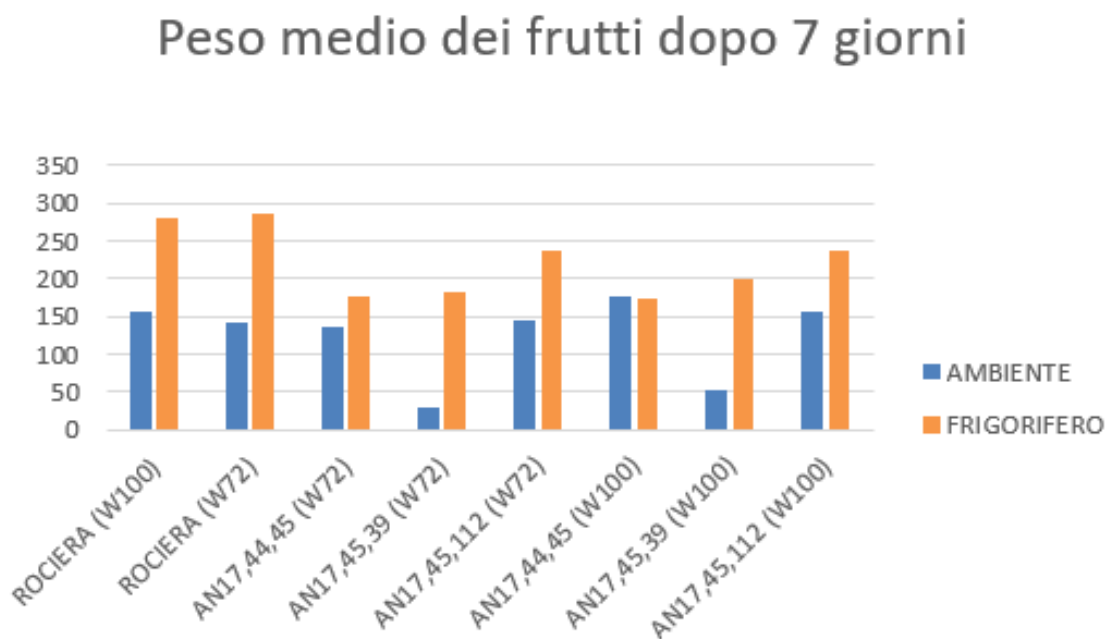


Fig. 32: Peso medio di frutti che possiedono una buona qualità dopo 7 giorni di conservazione in frigorifero e a temperatura ambiente.

Prendendo in considerazione la conservazione a temperatura ambiente emergono ottime prestazioni di AN17,44,45 (W100: 7,2; W72: 7) che superano i dati registrati della selezione AN17,45,39 non solo quando quest'ultima viene conservata a temperatura ambiente ma anche quando si mantiene a temperatura di 4 °C. Quest'ultima selezione è quella che registra i valori più bassi di numero frutti danneggiati dopo una settimana per entrambe le tecniche di conservazione.

Dalla valutazione della variazione in peso dei 10 frutti iniziali, i migliori risultati sono quelli raggiunti da Rociera W72 in frigorifero (W100: 281,2 g; W72: 286,4 g) (*Figura 32*).

Seguita da AN17,45,112 che in frigorifero non mostra risultati che si discostano per i trattamenti idrici applicati (W100: 236,1 g; W72: 235,6 g), simile risultato per AN17,44,45 (W100: 174,4 g; W72: 176 g). D'altro canto, a temperatura ambiente (W100: 176,1 g; W72: 137,2 g) non presenta perdita di peso medio frutto come anche una ridotta perdita di frutti di qualità. Questi dati confermano l'ottima shelf-life dei frutti di questa selezione capace di conservarsi bene sia in presenza che in assenza di un ambiente climaticamente controllato.

La AN17,45,39 mostra il peggior valore a temperatura ambiente anche per quanto riguarda la variazione in peso dopo sette giorni di conservazione (W100: 51,5 g; W72: 29,9 g).

4.3.5 Conclusioni

Gli obiettivi di questo studio riguardano principalmente la valutazione delle selezioni avanzate, ottenute dal programma di miglioramento genetico fragola dell'Università Politecnica delle Marche, in un ambiente caratterizzato da condizioni pedoclimatiche differenti da quelle di origine (ambiente di coltivazione della fragola nel sud della Spagna), e allo stesso tempo, l'ottimizzazione dell'approvvigionamento idrico in funzione dell'ottenimento di buone prestazioni vegeto-produttive e qualitative. Il valore aggiunto di tale sperimentazione è anche quello di soddisfare la domanda di sostenibilità ambientale della coltivazione biologica della fragola di particolare interesse per l'azienda spagnola dove è stata effettuata la sperimentazione.

Il primo importante risultato dello studio riguarda il livello produttivo delle selezioni, due di esse sono più produttive di Rociera indipendentemente dal trattamento applicato. In particolare, AN17,45,112 la più produttiva in assoluto, e AN17,45,39 restituiscono i migliori risultati in termini di produzione totale per pianta rispetto a Rociera, una cultivar commercialmente nota per la sua elevata produttività.

Questi caratteri di estremo interesse confermano la loro importanza se confrontati con risultati produttivi totali ottenuti da due differenti regimi idrici: le diverse selezioni hanno mostrato un'ampia variabilità in risposta ai trattamenti irrigui. La selezione AN17,45,39 presenta una leggera differenza in termini di produzione tra W100 e W72, sottolineando in questo modo la marcata adattabilità di questa selezione non solo alle condizioni ambientali del sud della Spagna ma anche alla riduzione di apporto idrico impiegato. Quindi con un risparmio idrico del 28%, corrispondente ad un utilizzo di 881,29 m³/ha di acqua in meno, è possibile ottenere la stessa produzione totale che si ottiene irrigando con il normale regime idrico. Tutte le altre selezioni risultano più produttive con il trattamento W100. Ad ogni modo, se consideriamo il fatto che nel mercato quasi tutte le varietà registrate hanno un peso che si aggira tra i 20 ed i 25 grammi, i valori di peso medio per singolo frutto ottenuti descrivono ottime performance che suscitano un particolare interesse per una futura registrazione varietale.

Un altro risultato interessante riguarda l'anticipazione del periodo di maturazione dei frutti ottenuto con la selezione AN17,44,45 la quale si è dimostrata una pianta valida nel periodo extra-precoce, ciò le attribuisce un significato commerciale importante perché potrebbe rivelarsi molto competitiva nel mercato globale grazie ad una particolare produzione anticipata rispetto ai concorrenti.

Per quanto riguarda i parametri vegetativi, si è dimostrato che per i primi mesi di valutazione, il trattamento irriguo non influenza i parametri analizzati, rilevando il fatto che nel periodo iniziale l'apporto idrico standard potrebbe risultare addirittura eccessivo, d'altro canto nei mesi successivi le prestazioni migliori sono quelle ottenute con W100 ma con differenze non sempre statisticamente significative tranne che per l'altezza delle piante. La selezione AN17,45,112 si conferma la più vigorosa, tuttavia anche AN17,45,39 ha generato risultati vegeto-produttivi simili alla cultivar commerciale Rociera.

Dal punto di vista qualitativo la riduzione idrica rileva ottimi caratteri non sempre così evidenti a livello vegeto-produttivo, infatti quasi mai è evidente una differenza statisticamente significativa tra i due trattamenti.

La riduzione della disponibilità di acqua nel suolo non ha influenzato negativamente la consistenza e l'accumulo di zuccheri solubili dei frutti, anzi in alcuni casi ha avuto l'effetto positivo di migliorare questi parametri, rispetto ai risultati ottenuti dai frutti delle piante allevate alle condizioni standard di coltivazione. Le migliori performance per quanto riguarda la consistenza dei frutti sono quelle mostrate dalla selezione AN17,45,112 che con riduzione dell'irrigazione rivela ottimi risultati. Se osserviamo il contenuto in solidi solubili, i frutti della selezione AN17,44,45 sono quelli che mostrano un comportamento del tutto paragonabile alla cultivar commerciale Rociera, generando °Brix molto elevati per queste condizioni.

Tutte le selezioni, tranne AN17,45,39, presentano una shelf life simile a quella di Rociera per entrambi i trattamenti studiati e superano quest'ultima quando le fragole vengono conservate a temperatura ambiente piuttosto che in frigorifero.

In conclusione, si deduce che è possibile coltivare queste selezioni con una riduzione del 28% del regime idrico, favorendo lo sviluppo vegetativo nei primi mesi di ciclo culturale per poi adattare successivamente il livello di irrigazione alle necessità giornaliere delle piante e all'andamento climatico stagionale. Un apporto idrico corretto e localizzato migliora le prestazioni e la qualità dei frutti e al contempo consente di risparmiare acqua senza generare impatti negativi sull'ambiente. Ad ogni modo, le fragole delle selezioni di Ancona appaiono di ottima qualità, tanto quanto Rociera. Successive prove di sperimentazione potrebbero confermare le selezioni come candidate per una registrazione varietale o rivelare un impiego come parentali per ulteriori programmi di miglioramento genetico.

BIBLIOGRAFIA

- Aaby K., Ekeberg D., Skrede G. *Characterization of phenolic compounds in strawberry (Fragaria x ananassa) fruits by different HPLC detectors and contribution of individual compounds to total antioxidant capacity*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 55, pp. 4395-4406, 2007;
- Adak N., Gubbuk H., Tetik N. *Yield, quality and biochemical properties of various strawberry cultivars under water stress*, Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 98, pp. 304-311, 2017;
- Alarcón Vera A. L., *Tecnología para cultivos de alto rendimiento*, Novedades Agrícolas, 2000;
- Albani, M. C., Taylor S., Rodriguez Lopez C., Cekic C., Al-Sheikh M., Greenland A., Wetten A., Wilkinson M., Battey N. *Fragaria vesca...one way to understand flowering in perennials*, Flowering Newsl, vol. 31, pp. 44-48, 2001;
- Albani, M. C., Battery, N. H., Wilkinson M. J. *The development of ISSR-derived SCAR markers around the SEASONAL FLOWERING LOCUS (SFL) in Fragaria vesca*, Theoretical and Applied Genetics, vol. 109, pp. 571-579, 2004;
- Anderson, H. M., & Guttridge, C. G. *Survival and vigour of cold-stored strawberry runner plants after different lifting dates, storage temperatures and pre-storage treatments*, Experimental Horticulture, vol. 27, pp. 48-57, 1975;
- Andreotti C., Antoniacchi L., Babini A.R., Baruzzi G., Della Casa R., Faedi W., Lucchi P. *La fragola: botanica, storia e arte, alimentazione, paesaggio, coltivazione, ricerca, utilizzazione, mondo e mercato*, Bologna, Coltura & cultura, Bayer CropScience, 2010;
- Anuradha B., Sehrawat S., Poonia A. K., Kajla S., Bhat S. *Production of strawberry plant by in vitro propagation*, Research on Crops, vol. 17 (3), pp. 545-549, 2016;

- Ariza, M. T., Soria, C., Medina, J. J., Martínez-Ferri, E. *Fruit misshapen in strawberry cultivars (Fragaria x ananassa) is related to achenes functionality*, Annals of Applied Biology, vol. 158, pp. 130-138, 2011;
- Baisi F., Gallignani P. L., Pergola V. *Corso di agronomia ed elementi di meccanizzazione agraria*, Edagricole, pp. 188-197, 2012;
- Barcaccia G., Falcinelli M. *Genetica e genomica. Genomica e Biotecnologie genetiche*, Liguori Editore, vol. III, pp. 494-497, 2007;
- Barcaccia G., Falcinelli M. *Genetica e genomica. Miglioramento genetico*, Liguori Editore, vol. II, pp. 315-317, 2012;
- Baruzzi G., Capriolo G., Cerbino D., Faedi W., Funaro M., Lucchi P., Marano A., Mennone C., Migani M., Quinto G. R., Spagnolo G. *Potenzialità e limiti per lo sviluppo di un vivaismo fragolicolo nel sud Italia*, Rivista di Frutticoltura e Orticoltura, vol. 69(4), pp. 34-40, 2007;
- Baruzzi G., Baudino M., Capriolo G., D'Anna F., Faedi W., Giacomelli M., Lucchi P., Migani M., Placchi L., Savini G., Sbrighi P. *L'attività di breeding pubblico italiano su fragola*, Atti del VII Convegno nazionale "La fragola presente e futuro", pp. 59-68, 2009;
- Bolda M., Dara S. K., Fallon J., Sanchez M., Peterson K. *Manual de Producción de Fresa*, Distritos de Conservación de Recursos de la Costa Central, pp. 12-15, 2015;
- Branzanti E. C. *La fragola*, Frutticoltura moderna, Edagricole, pp. 19-28, 1985;
- Bringhurst R. S., Voth V. *Breeding octoploid strawberries*, Iowa State J. Res., vol. 58, pp. 371-381, 1984;
- Brown T., Wareing P. F. *The genetical control of everbearing habit and three other characters in varieties of Fragaria vesca*, Euphytica, vol. 14, pp. 97-112, 1965;
- Brummel D. A., Harpster M. H. *Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants*, Plant Molecular Biology, Springer, vol. 47, pp. 311-340, 2001;

- Capasso F., De Pasquale R., Grandolini G. *Farmacognosia. Botanica, chimica e farmacologia delle piante medicinali*, Milano, Springer-Verlag, 2011;
- Castilla N. *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo*, 2ª Edición corregida y ampliada, Mundi-Prensa Libros, 2007;
- Cattivelli L., Rizza F., Badeck F. W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A. M., Francia E., Marè C., Stanca A. M. *Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics*, Field Crops Research, vol. 105 (1-2), pp. 1-14, 2008;
- Cervantes L., Ariza M. T., Gomez-Mora J. A., Miranda L., Medina J. J., Soria C., Martinez-Ferri E. *Light exposure affects fruit quality in different strawberry cultivars under field conditions*, Scientia Horticulturae, vol. 252, pp. 291-297, 2019;
- Chaves V. C., Calvete E., Reginatto F. H. *Quality properties and antioxidant activity of seven strawberry (Fragaria x ananassa duch) cultivars*, Scientia Horticulturae, vol. 225, pp. 293-298, 2017;
- Cogo S. L. P., Chaves F. C., Schimer M. A., Zambiasi R. C., Nora L., Silva J. A. *Low soil water content during growth contributes to preservation of green colour and bioactive compounds of cold-stored broccoli (Brassica oleraceae L.) florets*, Postharvest Biology and Technology, vol. 60 (2), pp. 158-163, 2011;
- Crecente-Campo J., Nunes-Damaceno M., Romero-Rodríguez M. A., Vázquez-Odériz M. L. *Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (Fragaria x ananassa Duch, cv Selva)*, Journal of Food Composition and Analysis, vol. 28 (1), pp. 23-30, 2012;
- Della Casa R. *Un nuovo concetto di stagionalità per il marketing della fragola italiana*, Atti del VII Convegno nazionale “La fragola presente e futuro”, pag. 46, 2009;
- Diamanti J., Balducci F., Cappelletti R., Capocasa F., Battino M., Mezzetti B., Dobson G., Stewart D. *Use of wild genotypes in breeding program*

- increases strawberry fruit sensorial and nutritional quality*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 18, pp. 3944-3953, 2014;
- Diamanti J., Balducci F., Di Vittori L., Capocasa F., Berdini C., Bacchi A., Giampieri F., Battino M., Mezzetti B. *Physico-chemical characteristics of thermally processed puree from different strawberry genotypes*, Journal of Food Composition and Analysis, Elsevier, vol. 43, pp. 106-118, 2015;
 - Diaz T., Espí E., Fontecha A., Jiménez J. C., López J., Salmerón A. *Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola*, Repsol YPF – Mundi Prensa, 2001;
 - Di Vittori L., Mazzoni L., Battino M., Mezzetti B. *Pre-harvest factors influencing the quality of berries*, Scientia Horticulturae, Elsevier vol. 233, pp. 310-322, 2018;
 - Durner E. F., Barden J. A., Himerlick D. G., Poling E. B. *Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, June-bearing and everbearing strawberries*, Journal of the American Society for Horticultural Science, vol. 109, pp. 396–400, 1984;
 - Ellenberg H., Mueller-Dombois D. *A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivision*, Ber. Geobotan. Inst. E.T.H., Stiftung Rubel, vol. 37, pp. 56-87, 1967;
 - Faedi W., Baruzzi M. *Innovazioni nelle tecniche di coltivazione della fragola*, Frutticoltura, vol. 6, pp. 19-26, 2002;
 - Faedi W., Mourgues F., Rosati C. *Strawberry breeding and varieties: situation and perspectives*, Acta Horticulturae, vol. 51, pp. 51-59, 2002;
 - Faedi W., Ballini L., Baroni G., Baruzzi M., Baudino R., Giordano P., Lucchi P., Maltoni M. L., Migani M., Placchi L. *Advances in strawberry breeding for North of Italy*, Acta Horticulturae, vol. 842, pp. 545-548, 2009;
 - Fernández M.D., Thompson R., Bonachela S., Gallardo M., Granados M.R. *Uso del agua de riego en los cultivos en invernadero*, Cuaderno de Estudios Agroalimentarios, pp. 115-138, 2012;

- Flores H. E., Hoy M. W., Pickard J. J. *Secondary metabolites from root cultures*, Trends in Biotechnology, Elsevier, vol. 5, pp. 64-69, 1987;
- Francis F. J. *Color quality evaluation of horticultural crops*, HortScience (USA), vol.16, pp. 58-59, 1980;
- Galli V., da Silva Messias R., Perin E. C. Borowski J. M., Bamberg A. L., Rombaldi C. V. *Mild salt stress improves strawberry fruit quality*, Food Science and Technology, vol. 73, pp. 693-699, 2016;
- Gavilán P., Lozano D., Ruiz N. *El riego de la fresa en el entorno de Doñana. Evapotranspiración, coeficientes de cultivo y eficiencia del riego*, XXXII Congreso Nacional de Riegos, 2014;
- Gavilán P., Ruiz N., Lozano D., Bohórquez J. M., Molina F. *Efecto de la frecuencia de riego sobre la eficiencia del riego y la producción de un cultivo de fresa*, XXXIII Congreso Nacional de Riegos, 2015;
- Giampieri F., Tulipani S., Alvarez-Suarez J. M., Quiles J. L., Mezzetti B., Battino M. *The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health*, Nutrition, Elsevier, vol. 28, pp. 9-19, 2012;
- Grant O. M., Davies M. J., Johnson A. W., Simpson D. W. *Physiological and growth responses to water deficits in cultivated strawberry (Fragaria × ananassa) and in one of its progenitors, Fragaria chiloensis*. Environmental and experimental botany, vol. 83, pp. 23-32, 2012;
- Guo C., Yang J., Wie J., Li Y., Xu J., Jiang Y. *Antioxidant activities of peel, pulp and seed fraction of common fruits as determined by FRAP assay*, Nutrition Research, vol. 23, pp. 1719-1726, 2003;
- Guttridge C. G. *The effects of winter chilling on the subsequent growth and development of the cultivated strawberry plant*, Journal of Horticultural Science, vol. 33, pp. 119-127, 1958;
- Guttridge C. G. *Fragaria x ananassa*, Handbook of flowering, Boca Raton, CRC Press, vol. 3, pp. 16-33, 1985;
- Guttridge C. G., Mason D. T., Ing E. G. *Cold storage of strawberry runner plants at different temperatures*, Experimental Horticulture, vol. 12, pp. 38-41, 1965;

- Halvorsen B. L., Holte K., Myhrstad M. C. W., Barikmo I., Hvattum E., Remberg S. F. *A systematic screening of total antioxidants in dietary plants*, Journal of Nutrition, vol. 132, pp. 461-471, 2002;
- Hancock J. F. *Strawberries*, Wallingford, CAB International, pag 237, 1999;
- Heide O. M., Stavang J. A., Sønsteby A. *Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries – a review*, Journal of Horticultural Science & Biotechnology, vol. 88, pp. 1-18, 2013;
- Husaini H. M., Neri D. *Strawberry: Growth, Development and Diseases*, CAB International, pp. 128-131, 2015;
- Jalali A., Linke M., Geyer M., Pramod Mahajan V. *Shelf-life prediction model for strawberry based on respiration and transpiration process*, Food packaging and Shelf Life, vol. 25, pp. 1-8, 2020;
- Jia H. F., Chai Y. M., Li C. L., Lu D., Luo J. J., Qin L., Shen Y. Y. *Abscisic acid plays an important role in the regulation of strawberry fruit ripening*, Plant Physiology, vol. 157, pp. 188-199, 2011;
- Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo sostenible, *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía Núm. 132*, pp. 8-37, 2013;
- Junta de Andalucía, Consejería de Fomento, Infraestructuras y ordenación del Territorio, Áreas de actividad, *Plan Especial de ordenación de las zonas de regadío ubicadas al norte de la corona forestal de Doñana*, 2014;
- Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo sostenible, *Datos básicos de fresa. Octubre 2019*, Observatorio de precios y mercados, 2019;
- Kafkas E., Koşar M., Paydaş S., Kafkas S., Başer K. H. C. *Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages*, Food chemistry, vol. 100 (3), pp. 1229-1236, 2007;
- Kamperidou I., Vasilakakis M. *Effect of propagation material on some quality attributes of strawberry fruit (Fragaria x ananassa, var. Selva)*, Scientia Horticulturae, vol. 107 (2), pp. 137-142, 2006;

- Kirschbaum D. S., Honorato J., Cantliffe D. J. *Strawberry waiting bed plants: a valid alternative to increase early and total yields in sub-tropical regions*, *Scientia Horticulturae*, vol. 84(1-2), pp. 83-90, 2000;
- Klamkowski K., Treder W. *Response to drought stress of three strawberry cultivars grown under greenhouse conditions*, *Journal of Fruit and Ornamental Plant research*, vol. 16, pp. 179-188, 2008;
- Konsin M., Voipio I., Palonen P. *Influence of photoperiod and duration of short-day treatment on vegetative growth and flowering of strawberry (Fragaria x ananassa Duch.)*, *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, vol. 76, pp. 77–82, 2001;
- Koskela E. A., Hytönen T. *Control of Flowering in Strawberries*, In: *The Genomes of Rosaceous Berries and their Wild Relatives*, *Compendium of Plant Genomes*, Springer, pp. 35-48, 2018;
- Krüger E., Schmidt G., Rasim S. *Effect of irrigation on yield, fruit size and firmness of strawberry cv. Elsanta*, *Acta Horticulturae*, pp. 471-474, 2000;
- Krüger E., Josuttis M., Dietrich H. *Effect of preharvest temperature, photoactive radiation and fruit thinning on strawberry bioactive compounds*, *Acta Horticulturae*, vol. 838, pp. 199–203, 2009;
- Krüger E., Josuttis M., Nestby R., Toldam-Andersen T.B., Carlen C., Mezzetti B. *Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality*, *Journal of Berry Research*, vol. 2 (3), pp. 143-157, 2012;
- Kumakura H., Shishido Y. *Effects of temperature and light conditions on flower initiation and fruit development in strawberry*, *Japan Agricultural Research Quarterly*, vol. 29, pp. 241-250, 1995;
- Kurokura T., Inaba Y., Neri D., Sugiyama N. *A morphological study of development of the second inflorescences in strawberry (Fragaria x ananassa Duch.)*, *Annals of Applied Biology*, vol. 146, pp. 511-515, 2005;
- Kurokura T., Mimida N., Battey N.H., Hytönen T. *The regulation of seasonal flowering in the Rosaceae*, *Journal of Experimental Botany*, vol. 64, pp. 4131-4141, 2013;

- Lata S., Shrama G., Garg S., Mishra G. *Effect of different modes of pollination on fruit set and malformation of strawberry cultivars*, Research on Crops, vol. 19 (3), pp. 430-435, 2018;
- Li D., Li L., Luo Z., Mou W., Mao L., Ying T. *Comparative transcriptome analysis reveals the influence of abscisic acid on the metabolism of pigments, ascorbic acid and folic acid during strawberry fruit ripening*, PLoS ONE, vol. 10 (6), 2015;
- Linnemannstöns T., Ançay A., Baroffio C.A. *Strawberry drip-irrigation in plastic tunnel – effects of irrigation frequency on water use, yield and fruit quality*, Proceedings of International Strawberry Congress, 2013;
- Liu F., Savic S., Jensen C.R., Shahnazari A., Jacobsen S.E., Stikic R., Andersen M.N. *Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation*, Scientia Horticulturae, vol. 111, pp. 128–132, 2007;
- Lozano D., Ruiz N., Gavilán P. *Consumptive water use and irrigation performance of strawberries*, Agricultural Water Management, vol. 169, pp. 44-51, 2016;
- Macfarlane Smith W. H., Jones J. K. *Intergeneric crosses with Fragaria and Potentilla. I. Crosses between Fragaria moschata and Potentilla fruticosa*, Euphytica, vol. 34, pp. 725–735, 1985;
- Manakasem Y., Goodwin P. B. *Responses of dayneutral and Junebearing strawberries to temperature and daylength*, Journal of Horticultural Science and Biotechnology, vol. 76(5), pp. 629-635, 2001;
- Martínez-Ferri E., Soria C., Ariza M. T., Medina J. J., Miranda L., Domínguez P., Muriel J. L. *Water relations, growth and physiological response of seven strawberry cultivars (Fragaria x ananassa Duch.) to different water availability*, Agricultural water management, vol. 164, pp. 73-82;
- Mezzetti B., Costantini E., Chionchetti F., Landi L., Pandolfini T., Spena A. *Genetic transformation in strawberry and raspberry for improving*

plant productivity and fruit quality, Euroberry Symposium, Acta Horticulturae, vol. 649, pp. 107-110, 2004;

- Mezzetti B., Battino M., Capocasa F., Palandrino A., Scalzo J. *Il miglioramento genetico per aumentare qualità e capacità antiossidante delle fragole*, Speciale Fragola, Frutticoltura, vol. 4, pp. 26-29, 2005;
- Mezzetti B., Gentile A. *Genetic transformation of fruit crops: results, applications and research*, Italus Hortus, vol. 12 (4), pp. 79-92, 2005;
- Mezzetti B., Giampieri F., Zhang Y., Zhong C. *Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world*, Journal of Berry Research, vol. 8, pp. 205-221, 2018;
- Mezzetti B., Capocasa F. *Nuove varietà di fragola rilasciate dal programma di miglioramento genetico fragola attivo presso il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali*, Ancona, Università Politecnica delle Marche, 2019;
- Mittler R., Blumwald E. *The roles of ROS and ABA in systemic acquired acclimation*, The Plant Cell Online, vol 27 (1), pp. 64-70, 2015;
- Morris J., Else M. A., El Chami D., Daccache A., Rey D., Knox J. W. *Essential irrigation and the economics of strawberries in a temperate climate*, Agricultural Water Management, Elsevier, vol. 194, pp. 90-99, 2017;
- Musacchi S., Serra S., Ancarani V., Wiedmer R., Martinelli A. *Effects of cold storage length on physiological parameters of cultivars “Clery” and “Elsanta”*, Acta Horticulturae, vol. 1049, pp. 989-994, 2014;
- Neri D., Savini G., Massetani F., Bertoldi M. *Tipologie e qualità del materiale vivaistico*, Atti del VII Convegno nazionale “La Fragola presente e futuro”, pp. 180-189, 2009;
- Neri D., Massetani F., Faedi W. *Strawberry production in forced and protected culture in Europe as a response to climate change*, Canadian Journal of Plant Science, vol. 92(6), pp. 1021-1036, 2012;

- Nora L., Dalmazo G. O., Nora F. R., Rombaldi C. V. *Controlled water stress to improve fruit and vegetable postharvest quality*, Water stress, vol. 25, pp. 59-72, 2012;
- Nunes M. C., Morais A. M., Brecht J., Sargent S. *Quality of strawberries after storage in controlled atmosphere at above optimum storage temperatures*, Florida State Horticultural Society, vol. 108, pp. 273-278, 1995;
- Nuzzi M., Lo Scalzo R., Testoni A., Rizzolo A. *Evaluation of Fruit Aroma Quality: Comparison Between Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) and Odour Activity Value (OAV) Aroma Patterns of Strawberry*, Food Analytical Methods, Springer, vol. 1, pp. 270-282, 2008;
- Opstad N., Sønsteby A., Myrheim U., Heide O. M. *Seasonal timing of floral initiation in strawberry: Effects of cultivar and geographic location*, Scientia Horticulturae, vol. 129 (1), pp. 127-134, 2011;
- Pardossi A., Prosdocimi Gianquinto G., Santamaria P. *Orticoltura. Principi e pratica*, Edagricole, pp. 65-89, 2018;
- Paredes-Lopéz O., Cervantes-Ceja M. L., Vigna-Pérez M., Hernández-Pérez T. *Berries: improving human health and healthy aging, and promoting quality life – a review*, Plant Foods for Human Nutrition, vol. 65 (3), pp. 299-308, 2010;
- Pattermore D. E. *Pollination*, In: Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition), vol. 2, pp. 309-320, 2017;
- Pérez Parra J., Baeza E., Montero J. I., Bailey B. J. *Natural ventilation of parral greenhouses*, Biosystems Engineering, vol. 87 (3), pp. 355-366, 2004;
- Perin E. C., da Silva-Messias R., Borowski J. M., Crizel R. L., Bulsing-Schott I., Carvalho I. R., Rombaldi C. V., Galli V. *ABA-dependent salt and drought stress improve strawberry fruit quality*, Food Chemistry, Elsevier, vol. 271, pp. 516-526, 2019;
- Rahman M. M., Hossain M. M., Khaliq Q. A., Moniruzzaman M. *Effect of planting time and genotypes growth, yield and quality of strawberry*

- (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), *Scientia Horticulturae*, vol. 167, pp. 56-62, 2014;
- Razavi F., Pollet B., Steppe K., Van Labeke M. C. *Chlorophyll fluorescence as a tool for evaluation of drought stress in strawberry*, *Photosynthetica*, vol. 46(4), pp. 631-633, 2008;
 - Rejeb I., Pastor V., Mauch-Mani B. *Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms*, *Plants*, vol. 3 (4), pp. 458-475, 2014;
 - Rosli H. G., Civello P. M., Martinez G. A. *Changes in cell wall composition of three *Fragaria* x *ananassa* cultivars with different softening rate during ripening*, *Plant Physiology and Biochemistry*, Elsevier, vol. 42(10), pp. 823-831, 2004;
 - Roudeillac M. P., Veschambre D. *La fraise, techniques de production*, Parigi, CTIFL, 1987;
 - Sams C. E. *Preharvest factors affecting postharvest texture*, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 15 (3), pp. 249-254, 1999;
 - Sansavini S., Costa G., Gucci R., Inglese P., Ramina A., Xiloyannis C. *Arboricoltura generale*, Bologna, Patron Editore, pp. 267-271, 2012;
 - Santamaria P., De Pascale S., Pardossi A. *La nutrizione idrica e minerale in fuori suolo*, *Italus Hortus*, vol. 12, pp. 45-55, 2005;
 - Serrano L., Carbonell X., Save R., Marfà O., Peñuelas J. *Effects of irrigation regimes on the yield and water use of strawberry*, *Irrigation Science*, vol. 13(1), pp. 45-48, 1992;
 - Serrano Z. *Construcción de Invernaderos*, Ediciones Mundi Prensa, 2005;
 - Shim J., Cheon K., Oh J., Hwang H., Yoon H., Shon G., Kim Z. *Genetic analysis of soluble solid contents in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) by a half-diallel cross*, *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, vol. 25 (4), pp. 334-346, 2007;
 - Singh R., Sharma R.R., Tyagi S.K. *Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry*, *Scientia Horticulturae*, vol. 112, pp. 215-220, 2007;

- Sønsteby A., Heide O. M. *Dormancy relations and flowering of the strawberry cultivars Korona and Elsanta as influenced by photoperiod and temperature*, Scientia Horticulturae, vol. 110, pp. 57-67, 2006;
- Sønsteby A., Heide O. M. *Long-day control of flowering in everbearing strawberries*, Journal of Horticultural Science and Biotechnology, vol. 82, pp. 875-884, 2007;
- Sønsteby A., Heide O. M. *Temperature responses, flowering and fruit yield of the June-bearing strawberry cultivars Florence, Frida and Korona*, Scientia Horticulturae, vol. 119, pp. 49–54, 2008;
- Sønsteby A., Hytonen T. *Manipulating flower induction through temperature and photoperiod fluctuations*, International journal of fruit science, vol. 5(1), pp. 17-27, 2005;
- Spangelo L. P. S., Hsu C. S., Fejer S. O., Bedard P. R., Rousselle G. L. *Heritability and genetic variance components for 20 fruits and plant characters in the cultivated strawberry*, Canadian Journal of Genetics and Cytology, vol. 13, pp. 443-456, 1971;
- Stewart P. J., Folta K. M. *A review of photoperiodic flowering research in strawberry (Fragaria spp.)*, Critical reviews in plant science, vol. 29 (1), pp. 1-13, 2010;
- Sun C., Xuehua L., Hu Y., Zhao P., Xu T., Sun J. *Proline, sugars and antioxidant enzymes respond to drought stress in the leaves of strawberry plants*, Korean Journal of Horticultural Science and Technology, vol. 33 (5), pp. 652-1632, 2015;
- Takeda F. *Recent innovations in cultural practices in the mid Atlantic coast region of United States; Novel systems for increasing fall fruiting in short-day type strawberry cultivars and opportunities for out-of-season fruit production*, Kemptville, North American Strawberry Conference, pp 32-37, 2008;
- Tagliavini M., Scudellari D., Antonelli M., Faedi W., Lucchi P., Guillemine A., Magnani S. *Dinamica delle asportazioni di nutrienti da parte della coltura della fragola*, Frutticoltura, vol. 12, pp. 77-81, 2000;

- Tagliavini M., Andreotti C., Baruzzi G. *Esigenze nutrizionali e tecniche sostenibili di concimazione della fragola*, Atti del VII Convegno nazionale “La Fragola presente e futuro”, pp. 199-205, 2009;
- Terry L. A., Chope G. A., Bordonaba J. G. *Effect of Water Deficit Irrigation on Strawberry (Fragaria × ananassa) Fruit Quality*, Acta Horticulturae, vol. 842, pp. 839-842, 2008;
- Ulrich D., Olbricht K. *A search for the ideal flavor of strawberry – Comparison of consumer acceptance and metabolite patterns in Fragaria x ananassa Duch*, Journal of Applied Botany and Food Quality, vol. 89, pp. 223-234, 2016;
- Urruty L., Giraudel J. L., Lek S., Roudeillac M. P., Montury M. *Assessment of strawberry aroma through SPME/GC and ANN methods. Classification and Discrimination of Varieties*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 50 (11), pp. 3129-3136, 2002;
- Vishwakarma K., Upadhyay N., Kumar N., Yadav G., Singh J., Mishra R. K., Kumar V., Verma R., Upadhyay R. G., Pandey M., Sharma S. *Abscisic acid signaling and abiotic stress tolerance in plants: A review on current knowledge and future prospects*. Frontiers in Plant Science, vol. 8, pp. 161, 2017;
- Wang S. Y. *Effect of pre-harvest conditions on antioxidant capacity in fruits*, IV International Conference on Managing Quality in Chains, The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality, vol. 712, pp. 299-306, 2006;
- Xiloyannis C., Dichio B., Gucci R., Massai R., Poni S., *L'acqua e gli apporti irrigui*, In: *Arboricoltura generale*, Bologna, Patron Editore, pp. 399-424, 2012;
- Yoshida Y., Koyama N., Tamura H. *Color and Anthocyanin Composition of Strawberry Fruit: changes during fruit development and differences among cultivars, with special reference to the occurrence of pelargonidin 3-malonylglucoside*, Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, vol. 71(3), pp. 355-361, 2002;

- Yuan B. Z., Sun J., Nishiyama S. *Effect of drip irrigation on strawberry growth and yield inside a plastic greenhouse*, Biosystems Engineering, vol. 87(2), pp. 237-245, 2004;
- Zhang Y., Hu W., Peng X., Sun B., Wang X., Tang H. *Characterization of anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in two strawberry genotypes during fruit development in response to different light qualities*, Journal of Photochemistry and Photobiology, vol. 186, pp. 225-231, 2018;

SITOGRAFIA

- Agrodiario Huelva, 2020: <https://agrodiariohuelva.es/>
- Agronegocios, 2019: <https://www.agronegocios.es/dia-mundial-del-agua-el-regadio-sostenible-reduce-un-15-el-uso-de-agua-por-ha-en-10-anos/>
- Bionest, 2020: <https://bionest.es/>
- CAAE: <https://www.caae.es/>
- Commissione Europea, 2000: <https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/wfd/it.pdf>
- EUR-Lex, 2007: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:189:0001:0023:IT:PDF>
- FAO, 1999: <http://www.fao.org/3/X3860E/X3860E40.htm>
- FAO, 2016: <http://www.fao.org/3/i6677e/i6677e.pdf>
- FAOSTAT, 2020: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- FENACORE 2020: <http://www.fenacore.org/>
- FreshPlaza, 2018: <https://www.freshplaza.it/article/4097896/le-fragole-della-fnm-raggiungono-una-quota-di-mercato-del-34-per-cento-a-huelva/>
- Instituto Geológico y Minero de España, 2020: https://www.igme.es/zonas_humedas/donana/medio_fisico/hidrogeologia.htm
- Global GAP: <https://www.globalgap.org/>
- Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali: <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/10092>
- Ministerio para la Transición Ecológica, 2020: <https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/nuestros-parques/donana/>
- PubChem a: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Pelargonidin-3-glucoside>
- PubChem b: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ellagic-acid>
- PubChem c: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Gallic-acid>

- viveroscalifornia.com: <https://www.viveroscalifornia.com/it>