



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALE E AMBIENTE

Corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Prove di impiego di silicio nella coltivazione di rosa da fiore reciso

Evaluation of silicon as a nutritional supplement for cut-flower rose production

Relatore

Prof. Giampaolo Zanin

Laureando

Matteo Favazza

Matricola n.

1035911

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

INDICE

RIASSUNTO.....	4
ABSTRACT	6
1. INTRODUZIONE	8
1.1. Il silicio in natura	8
1.2. Il silicio nella piante.....	9
1.3. Silicio in agricoltura.....	13
1.4. Silicio in orti-floricoltura	17
1.5. La rosa.....	26
1.5.1. Tecnica di coltivazione.....	28
1.6. Scopo della tesi	32
2. MATERIALI E METODI	34
2.1. Generalità sulla prova	34
2.2. Raccolta dei dati.....	36
3. RISULTATI	38
4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	56
5. BIBLIOGRAFIA	60

RIASSUNTO

La coltivazione di piante in fuorisuolo, che si è diffusa in modo prepotente negli ultimi 15 anni, ha posto in evidenza l'importanza di un elemento, il silicio, considerato fino ad allora non essenziale per lo sviluppo della pianta. Diversi studi hanno dimostrato l'importanza di questo elemento sulla crescita, sulla risposta difensiva ad attacchi parassitari e sull'assorbimento di altri elementi nutritivi. Lo studio condotto in questa prova ha visto la somministrazione di soluzioni nutritive complete differenti solamente per la concentrazione di silicio (0.0, 1.8 e 3.6 mM) a rosa da fiore reciso (*Rosa* ×*hybrida*) di due varietà (Free Spirit e Sanremo), coltivata con la tecnica del fuorisuolo. La prova è stata condotta come fattoriale, adottando uno schema sperimentale a blocchi randomizzati con tre ripetizioni; ognuna delle quali costituita da 10 vasi e 30 piante. Le soluzioni nutritive sono state somministrate dal 4 aprile 2013 al 15 settembre 2013. Le raccolte sono iniziate il 6 maggio 2013 e sono avvenute con cadenza giornaliera fino la fine della prova. Sono stati valutati aspetti produttivi come il numero di steli che di qualità estrinseca (es. lunghezza e robustezza degli steli) ed intrinseca (durata e qualità della vita in vaso degli steli raccolti). I risultati ottenuti hanno evidenziato che raramente la somministrazione di silicio ha influito significativamente sugli aspetti considerati. Nemmeno la resistenza ad attacchi parassitari è stata influenzata dai trattamenti. Gli scarsi effetti rilevati sono accompagnati da variazioni positive, ma non significative, del contenuto fogliare di silicio. Per poter esprimere un parere). Per potere esprimere un parere conclusivo sulla utilità di impiegare il silicio nella fertirrigazione delle rosa, comunque, occorre iniziare il trattamento dopo la messa a dimora della pianta e proseguirlo per l'intera durata della coltura.

ABSTRACT

Evaluation of silicon as a nutritional supplement for cut-flower rose production

The soilless culture, a cultivation system in protected cultivation widely spread in the last 15 years, has revealed the importance of silicon as nutrient that, before, was considered not essential for the growth of plants. Several studies have highlighted the importance of this element for the growth, for the activation of plant defense mechanisms and for the stimulation of nutrients absorption. The present study was aimed to investigate the effects of fertigation with complete nutrient solutions differed only in silicon concentration (0.0, 1.8 and 3.6 mM) in cut flower rose (*Rosa ×hybrida*) of two varieties (Free Spirit and Sanremo), cultivated in a soilless system. The study was conducted as factorial experiment, adopting a randomized block with three repetitions, each one consists of 10 pots and 30 plants. The nutrient solutions were given from April 4 2013 to September 5 2013. Harvest started on May 6 and took place every day until the end of the trial. Data collection regarded productive aspects, such as the number of stems per plant, extrinsic quality (e.g. length and diameter of the stems) and shelf-life. The obtained results rarely showed a significant effects of treatments of production and quality traits. Nor has been observed effects on resistance of plant to fungal disease. The limited effects recorded were accompanied by positive changes in the foliar content of silicon which, however, was not significant. However, as rose is a perennial woody plant, in order to express a final opinion on the usefulness of using silicon in the fertilization, we need to carry out a longer experiment in which plants are treated since plant potting and as long as the cultivation period lasts.

1. INTRODUZIONE

1.1. Il silicio in natura

Il silicio (simbolo Si) è il secondo elemento maggiormente presente sulla crosta terrestre dopo l'ossigeno. I minerali silicatici dominano la fase minerale del suolo. I silicati primari, formati dal raffreddamento del magma liquido, sono i principali costituenti della frazione sabbiosa e limosa del suolo. I secondari, costituiti da legami formati tra i primari, vanno a costituire la frazione argillosa del suolo. Nei suoli agrari il suo contenuto si aggira attorno al 31% (Sposito, 1989).

I minerali silicatici sono stati suddivisi in diverse classi di appartenenza sulla base al grado di polimerizzazione del tetramero silicico (SiO_4^{4-}). I minerali silicatici si dividono in Neosilicati, la cui struttura è definita da unità (SiO_4^{4-}) indipendenti le cui cariche negative sono neutralizzate con diversi cationi. Altra classe di silicati è quella dei sorosilicati, definiti dalla polimerizzazione di due unità tetraedriche con un ponte ossigeno (Si-O-Si). Quindi i ciclosilicati, con struttura cristallina costituita da sovrapposizione di anelli esagonali condividendo due ossigeni; gli inosilicati, con unità tetraedriche lineari rivolte nella stessa direzione o con doppie catene, i fillosilicati, con unità strutturali semiesagonali ed unione di due fogli tetraedrici da catione Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , i quali sono i principali costituenti delle argille. Infine i tecnosilicati, in cui i tetraedri condividono tutti gli atomi di ossigeno; tra questi abbiamo i più comuni silicati presenti nel suolo in forma cristallina (come quarzo, feldspati, zeolite, ecc.; Violante, 2002). Durante i processi di alterazione dei minerali, il silicio viene rilasciato nella soluzione del suolo dove la sua concentrazione varia da 1 a 200 mg/l.

Secondo Epstein (1994) la forma di silicio disponibile per l'assorbimento da parte delle piante è l'acido silicico. Le condizioni del suolo possono modificare la disponibilità all'assorbimento radicale del silicio; in accordo con Jones e Handreck (1967), questo dipende fortemente dal pH del terreno, infatti l'acido silicico è solubile ad un range di pH tra 2 e 9; esso è in equilibrio con l'ossido SiO_2 a pH 3.10 ad una concentrazione di 0.794 mM, a pH maggiori è in equilibrio con gli ioni di silicio che tendono a polimerizzare a pH elevati (>9.71). L'acido silicico (H_4SiO_4), a pH 6.00 e 1.0 mM, dissocia poco (0.0001 mM di H_3SiO_4^-), mentre a pH 10.0 più della metà di acido silicico dissocia, confermando che si tratta di un acido debole (Hemmi 1933; Williams e

Shapter 1955).

La presenza di ossidi di alluminio e ferro nel suolo, soprattutto in condizioni di elevata umidità, possono causare una riduzione della disponibilità di silicio a causa della formazione di sesquiossidi di ferro e alluminio (Jones e Handreck, 1967; Lindsay, 1979), in questi casi spesso si rendono necessari apporti di silicio per l'ottenimento di buoni risultati produttivi (Lindsay 1979).

Infine, la disponibilità di questo elemento tende a ridursi a concentrazioni saline elevate (maggiori di 14-20 mg/l di Si o 1.2-2.0 mM) in quanto l'acido silicico tende a polimerizzare formando una sostanza gelatinosa denominata "silica gel" (Mengel e Kirkby, 1987, Marschner, 1995).

1.2. Il silicio nella piante

Le piante superiori presentano diverse capacità di assorbimento di questo elemento. In base alla concentrazione di silicio (espressa come percentuale sul peso secco di SiO_2), possiamo dividerle in tre gruppi:

- ✓ 10-15%, ad esempio alcune *Cyperiaceae* come l'equiseto (*Equisetum arvense*) ed alcune graminacee;
- ✓ 1-3%, ad esempio le graminacee delle zone aride ad alcune dicotiledoni;
- ✓ < 0.5%, molte le dicotiledoni e, in particolar modo, le leguminose.

A seconda della capacità di assorbimento invece la piante superiori sono state divise in:

- ✓ accumulatrici di silicio, dove l'assorbimento del silicio è proporzionalmente maggiore alla concentrazione di questo elemento nella soluzione circolante;
- ✓ non accumulatrici, dove l'assorbimento di silicio è proporzionale alla sua concentrazione nella soluzione circolante.

Nel primo caso risulta evidente come l'assorbimento di tale elemento preveda un sistema attivo da parte della pianta, che riesca a concentrarlo al suo interno; nel secondo caso invece l'assorbimento è semplicemente dettato dal flusso di massa e quindi dalla traspirazione della pianta (Marschner, 1995). Questo è stato dimostrato da alcuni autori (Takahashi e Miyake, 1977) i quali hanno posto specie diverse come riso, frumento e soia in condizioni diverse di concentrazione di silicio nella soluzione circolante (Tab. 1).

Tabella 1: contenuto di silicio misurato e calcolato dell'apice di diverse specie di piante cresciute a concentrazioni diverse di silicio (Fonte: Marschner, 1995).

Specie	Concentrazione Si nella soluzione nutritiva (mg/l SiO ₂ c)	Coefficiente di traspirazione (l/kg H ₂ O sul ss)	Contenuto di SiO ₂ (mg/kg ss)		Rapporto misurato/calcolato
			Misurato	Calcolato	
Riso	0.75	286	10.9	0.2	54.5
	30	248	94.5	7.4	12.7
	162	248	124	40.2	3.1
Frumento	0.75	295	1.2	0.22	5.5
	30	295	18.4	8.9	2.1
	162	267	41	43.3	0.9
Soia	0.75	197	0.2	0.15	1.3
	30	197	1.7	2.9	0.3
	162	197	4	31.9	0.1

Successivamente, in base al coefficiente di traspirazione delle piante, hanno calcolato il livello teorico di silicio all'interno della pianta ed hanno misurato la quantità di silicio assorbita dalla piante in esame. Nelle specie accumulatrici il livello reale di silicio all'interno della pianta è risultato notevolmente maggiore di quello calcolato, con un rapporto misurato/calcolato che, in bassa concentrazione di silicio (0.75 mg/l SiO₂), può raggiungere valori di 54 su riso e 5.5 su frumento. Inoltre è stato dimostrato che il silicio tende ad accumularsi nell'endoderme delle cellule. Contrariamente a quanto accade in queste due specie, nella soia, pianta non accumulatrice, l'assorbimento ed il trasporto radiale del silicio al xilema è molto ristretto ad alte concentrazioni di silicio, indicando la presenza di un sistema di esclusione (Marshner, 1995).

In piante accumulatrici come il *Sorghum bicolor* l'endoderme radicale funge da barriera alla traslocazione del silicio, il quale si deposita con concentrazioni crescenti dalla zona apicale a quella basale nella parete interna delle cellule dell'endoderme; la deposizione di silicio in tali strutture potrebbe avere un ruolo di contrasto all'attacco esterno dei patogeni.

In accordo con Balasta *et. al.* (1989), in trasporto del silicio all'interno della pianta è principalmente confinato a livello xilematico ed è in questa zona dove buona parte di silicio tende a depositarsi nella parete, con una probabile funzione strutturale di sostegno dei vasi contro l'occlusione in condizioni di elevata traspirazione (Raven, 1983).

La distribuzione del silicio all'interno degli organismi della pianta dipende

dall'attività traspiratoria dello stesso organo e, per le foglie, dall'età di questa (Jones e Handreck, 1967). Il silicio rimasto nell'apoplasto viene depositato seguendo il flusso di massa della traspirazione principalmente nella parte esterna della parete delle cellule dell'epidermide e su entrambe le superfici fogliari oltre che sulle branche dell'infiorescenza delle graminacee (Hodson e Sangster, 1989) sotto forma di silicio amorfo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Le pareti delle cellule dell'epidermide tendono a rivestirsi di uno strato di silicio che funge da vero e proprio impedimento alla perdita idrica per la traspirazione cuticolare e all'attacco di funghi epifiti. Nella piante erbacee una parte del silicio presente si localizza su entrambe le superfici fogliari a livello intracellulare, denominate *silica cells* (Sangster, 1970) o cellule bolliformi (Takeoka *et al.*, 1984).

Le funzioni del silicio all'interno della pianta non sono solo quelle di conferire rigidità agli organi di sostegno e "durezza" alle foglie. Secondo alcuni autori la deposizione di silicio nella parete primaria delle cellule porta all'instaurarsi di legami con pectine e polifenoli e queste unioni sembrano conferire alla pianta elasticità durante la distensione cellulare (Emadian e Newton, 1989). Caso tipico è quello del cotone, in cui durante la fase di distensione cellulare il contenuto di silicio nelle fibre di cotone è piuttosto alto (0.5% Si sulla s.s.) e diminuisce con l'ispessimento della parete cellulare secondaria. L'elevato contenuto di silicio è stato rilevato principalmente nelle varietà di cotone caratterizzate dalla produzione di fibre lunghe e sottili. Questa funzione del silicio, in contrasto con quella che solitamente si nota con la deposizione della parete secondaria, è tuttavia simile a quella operata dal boro nella parete cellulare. L'importanza del silicio e del boro nella parete cellulare primaria varia notevolmente con la specie presa in considerazione. Graminacee e dicotiledoni differiscono notevolmente nella composizione della parete cellulare e nella risposta alla somministrazione di silicio (Marschner, 1995).

Numerosi sono gli effetti benefici indiretti dell'attività del silicio. Oltre a quelli già menzionati, si ricorda il minor effetto ombreggiante dovuto all'effetto "foglie erette" dato dal silicio, la riduzione dell'allettamento e delle infezioni da parassiti radicali e patogeni fogliari, la maggior tolleranza ad eccessi di manganese e ferro. L'effetto "foglie erette" è un fattore molto importante soprattutto in condizioni di elevata densità di coltivazione; per alcune specie inoltre incrementa l'assimilazione dell'azoto e quindi riduce i problemi di allettamento (Tab. 2).

Tabella 2: Relazione tra somministrazione di silicio e azoto e gradi di apertura delle foglie in piante di riso (cv. IR8) in fioritura (Fonte: Marschner, 1995).

Apporto azotato (mg/l)	Apporto di silicio (mg di SiO ₂ /l)		
	0	40	200
5	23°	16°	11°
20	53°	40°	19°
200	77°	69°	22°

L'incremento del contenuto di silicio nell'epidermide secondo alcuni autori (Miyake e Takahashi, 1983; Adatia e Besford, 1986) aumenta la resistenza dei tessuti all'attacco di funghi epifiti come l'oidio e diminuisce gli attacchi di insetti infestanti

L'incremento produttivo dato dalla somministrazione di silicio in taluni casi è dovuto all'effetto mitizzante sulla tossicità di altri elementi come il manganese e il ferro. In condizioni di bassa concentrazione di manganese la somministrazione di silicio non sembra avere effetti migliorativi sulla produttività in peso secco delle piante. L'incremento della concentrazione di manganese causa un effetto tossico sulle piante, riducendo la produttività in peso secco, annullato della presenza del silicio. Tale incremento alla tossicità del manganese operato in queste piante dal silicio sembra essere dovuto, secondo alcuni autori (Vlamiš e Williams, 1967; Host e Marschner, 1978; Ma e Takahashi, 1990), all'aumento della tolleranza al manganese nei tessuti fogliari. Tale fenomeno in piante come l'orzo ed il pisello sembra essere dovuto all'alterazione dei processi di movimentazione del manganese che non si accumula vicino ai vasi provocando la necrosi a spot (tipica sintomatologia da eccesso di manganese), ma piuttosto si distribuisce uniformemente sulla superficie fogliare, incrementando di conseguenza la soglia di tolleranza al manganese (Marschner, 1995).

La presenza di silicio sembra ridurre l'assorbimento di ferro e manganese, mitigando il loro effetto tossico a livello radicale. Questo sembra dovuto all'incremento di spazi d'aria all'interno delle radici e del culmo che consentono un più efficiente trasporto di ossigeno alle radici. Tale fenomeno ha come diretta conseguenza l'aumento del potenziale ossidativo e nella rizosfera il potenziale riduttivo di ferro e manganese vengono resi innocui (Mangel, 1987).

Non da ultimo, il silicio, secondo alcuni autori risulta essere un veicolo per l'assorbimento del fosforo. Questo è stato notato nelle zone in cui questo elemento è un fattore fortemente limitante la produttività. Esperimenti su orzo a Rothamsted in Inghilterra (Russell, 1973) hanno mostrato un incremento della disponibilità di fosfato

dopo la distribuzione di 450 kg/ha di silicato di sodio. Tale fenomeno è stato riscontrato anche nelle Hawaii (Fox, 1978) dove il fosforo è un elemento fortemente limitante la produttività. Il meccanismo che sta alla base di tale fenomeno sembra essere dovuto alla sostituzione del silicato all' H_2PO_4^- adsorbito dai ossidi di ferro ed alluminio (Mengel, 1987).

In accordo con alcuni autori (Sangster *et al.*, 1983; Hodson *et al.*, 1985), la silicificazione dei tricomi delle foglie sembra aiutare il raffreddamento della stessa. Questo è possibile se i tricomi salicificati funzionano da antenna ed assorbono onde a lunghezze d'onda corte per emetterne a lunghezza lunga, facilitando quindi il raffreddamento della foglia. E' anche possibile che i tricomi rinforzati dal silicio aumentano la superficie di contatto per lo scambio di energia, creando un maggior gradiente di trasferimento energetico.

1.3. Silicio in agricoltura

Studi sulle asportazioni di elementi nutritivi in coltivazione hanno dimostrato una tendenza ad impoverire il terreno di silicio (Savant *et al.*, 1999). Molte ricerche in diversi ambienti pedoclimatici hanno dimostrato per lo più benefici provenienti da apporti di Si. Epstein (1999) dimostrò, ad esempio, una quasi essenzialità per la crescita e lo sviluppo delle piante di questo elemento nutritivo.

Alcuni autori sostengono che un'importante quantità di silicio sia coinvolta nella produttività del riso (*Oryza sativa* L.), tanto che la sua somministrazione ha dimostrato un incremento produttivo in granella (Okuda e Takahashi, 1961). Questi hanno testato la somministrazione di differenti concentrazioni di SiO_2 nella soluzione circolante (0-5-20-60-100 ppm); le somministrazioni maggiori di Si hanno mostrato un incremento dell'altezza delle piante, dell'accestimento e della produttività in granella. Risultati simili si sono ottenuti anche in orzo (*Hordeum vulgare* L.).

Un importante studio condotto da Ma *et al.* (1988) sulla somministrazione di silicio e sua eliminazione in diversi stadi di sviluppo del riso. Lo sviluppo della pianta è stato diviso in tre stadi, vegetativo, riproduttivo e maturazione. Nel primo esperimento è stata tolta la somministrazione del silicio in una delle tre fasi, mentre nel secondo esperimento la somministrazione del silicio è stata fatta solo in una delle tre fasi; naturalmente in tutte e due i casi è stata fatto un controllo con somministrazione in

continuo e senza somministrazione di silicio, rispettivamente per il primo e secondo esperimento. Nel primo esperimento, rispetto al controllo, l'eliminazione del silicio in riproduzione ha ridotto del 5% il numero di pannocchie per pianta, mentre la somministrazione del silicio in maturazione ha ridotto il numero di spighe per pannocchia del 10% ed il numero di spighe complete di circa il 40%. L'eliminazione del silicio in fase vegetativa non ha manifestato influenze sulla produzione. Il peso di 1000 semi è stato fortemente compromesso dalla sottrazione di silicio in qualunque fase di sviluppo della pianta. Nel secondo trattamento rispetto al controllo in numero di spighe piene è incrementato di 2.5 volte con la somministrazione di silicio in fase vegetativa ed un incremento del 32% del numero di spighe.

In mais (*Zea mais* L.) sono state notate risposte positive all'apporto di silicio. Secondo Zhou *et al.* (2002) l'apporto di silicio in concimazione di fondo al mais porta ad un incremento della superficie fogliare e dell'apparato radicale, sviluppo dello stelo e resistenza all'allettamento, assorbimento di nutrienti, numero di cariossidi e accumulo di sostanza secca. Secondo altri autori (Ren *et al.*, 2002) l'apporto di silicio al mais porta ad un incremento produttivo del 8.6%, oltre che ad un incremento dell'assorbimento e del trasporto di nutrienti nella pianta.

Incrementi produttivi sono stati riscontrati anche su canna da zucchero (*Saccharum* spp.) con l'apporto di silicato di calcio (Anderson, 1991); Raid *et al.* (1992) dimostrarono un incremento produttivo tra il 17.2% e il 21.8% di cinque cultivar in due anni di trattamento. Boylston *et al.* (1990) suggerirono l'essenzialità del silicio in almeno una fase della produzione della fibre di cotone (*Gossypium* spp. L.). Infine risposte positive in termini di produttività all'apporto di silicio si sono riscontrati anche su soia (*Glycine max*) e bamboo (*Bambuseae*, Ueda *et al.*, 1961; Miyake e Takahashi, 1985).

Senza alcun dubbio la coltura maggiormente studiata in merito agli apporti di silicio è stata il riso. Epstein (1993) e Ma e Takahashi (2002) dimostrarono che apporti di silicio al riso manifestavano un incremento del fenomeno "foglie erette" con una conseguente migliore intercettazione della luce e una maggiore efficienza fotosintetica. Quest'ultima secondo Matoh *et al.* (1991) era maggiore in condizioni di stress idrico, probabilmente per la minore traspirazione cuticolare causata dalla silicizzazione delle foglie delle piante trattate. Kaufman *et al.* (1972) ipotizzarono un aumento della trasmissione della luce all'area del mesofillo grazie al silicio, ipotesi confutata da Agarie *et al.* (1996) che dimostrarono una minore efficienza di utilizzazione della luce e

minore produttività delle foglie in piante trattate con silicio rispetto al controllo. Spesso nella coltivazione del riso gli apporti di azoto con i fertilizzanti sono elevati, provocando problemi di allettamento e maggiore suscettibilità agli attacchi parassitari. Questo viene contrastato dall'attività del silicio che, come si è detto, entra a far parte della parete cellulare dei culmi analogamente alla lignina, prevenendo fenomeni di allettamento (Epstein, 1993).

Il silicio riveste un ruolo importante nel prevenire sbilanciamenti nutrizionali. Un esempio nella coltivazione del riso e orzo è l'assorbimento del fosforo. In silicio infatti blocca l'assorbimento del manganese, antagonista del fosforo (Ma e Takahashi, 1991). Inoltre contrasta fenomeni di tossicità dell'alluminio che si manifestano maggiormente a pH minore di 5.0, tramite un meccanismo non ancora chiaro (Gu *et al.*, 1999; Cockere *et al.*, 1998; Liang *et al.*, 2001; Morikowa e Saigusa, 2002).

Nella colza il silicio facilita l'assorbimento del boro in caso di carenza, contrariamente a quanto accade quando le piante crescono in condizioni normali di concentrazione di boro (Yongchao e Zhenguo, 1994).

L'incremento della domanda di prodotti sostenibili ha alimentato l'interesse verso questo elemento come soluzione alternativa, o comunque integrativa, a quelle già esistenti, a diversi patogeni e parassiti. Diversi studi hanno dimostrato l'effetto positivo della somministrazione del silicio contro diverse patologie, come l'oidio, in cetriolo, zucca e frumento. Non solo l'oidio viene inibito dall'apporto di silicio, ma anche patogeni come *Pythium* spp., *Botrytis cinerea* e *Didymella bryonia*. La risposta relativa all'induzione di resistenza alle patologie indotta dal silicio dipende da notevoli variabili, quali cultivar considerata, livello di infestazione, tipo di patologia, ecc. (Belanger *et al.*, 1995). Tuttavia i migliori risultati si hanno in condizioni di bassa pressione di infestazione o con l'integrazione alla concimazione silicica di fungicidi (Datnoff *et al.*, 2001). Tale fenomeno sembrava fosse legato all'accumulo di silicio nella parete cellulare che fungeva da barriera fisica alla penetrazione di funghi epifiti. Questa teoria è stata successivamente messa in dubbio da Okuda e Takahashi (1965) che, citando i risultati di Yoshi (1941), notarono l'assenza di correlazione tra la rigidità delle foglie e il trattamento con silicio. L'incremento di rigidità delle foglie quindi non era sufficiente a spiegare l'incremento di resistenza alle malattie fungine.

Recenti lavori hanno introdotto l'ipotesi che il silicio sia un messaggero dell'attivazione della risposta difensiva della pianta, senza tuttavia rigettare la precedente teoria (Cherif *et al.*, 1994; Datnoff *et al.*, 2001). Samuels *et al.* (1991) notò

la scomparsa dell'effetto preventivo del silicio su piante di cetriolo coltivate con silicio in cui è stata interrotta per un breve periodo la somministrazione di questo. Tale fenomeno era in contrasto con la teoria della barriera fisica operata dall'accumulo irreversibile del silicio a livello della parete cellulare. Secondo Cherif *et al.* (1994), la somministrazione di silicio in condizione di umidità atmosferica satura, con quindi assenza di traspirazione e conseguente accumulo di silicio a livello della parete cellulare, comunque portava ad un incremento della resistenza all'attacco fungino. Cherif *et al.* (1994) propose che il silicio solubile nella pianta attivasse i meccanismi di difesa in cetriolo contro *Pythium*, attivando chinasi, perossidasi e polifenolssidasi.

Secondo Wei *et al.* (2004) la somministrazione di silicio solubile alla coltivazione in idroponica della zucca cinese con fiore bianco ha incrementato il contenuto di silicio del 43% in più rispetto al controllo; inoltre nella tesi trattata con silicio si sono riscontrati incrementi dell'attività degli enzimi fenilalanina ammonio-liasi (PAL) e perossidasi (POD) a cui segue la sintesi di alcuni composti: polifenoli, alcaloidi e proteine correlate alla patogenesi (PR). Questi incrementarono la resistenza contro *Sphaerotheca fuliginea* (oidio della zucca). In accordo con Fawe *et al.* (1998), il silicio stimola la produzione di piccole molecole fenoliche che attivano la risposta difensiva della pianta contro l'oidio in cetriolo.

Infine il silicio sembra stimolare la protezione della pianta contro piralide ed acari (Ma e Takahashi, 2002).

La possibile utilità del silicio nel migliorare le produzioni agrarie è oramai stati recepito dal settore agroindustriale che infatti sta iniziando a mettere a disposizione questo elemento per l'agricoltore. Esempio ne sono "AgSil", prodotto da PQ corporation (Malvern, USA), prodotto a base di silicato di potassio che si propone di contrastare gli stress climatici, rinforzare le piante e migliorare la produzione. Esso può essere aggiunto alla soluzione irrigua in dose di 100 ppm di SiO₂ o irrorato sulle piante alla concentrazione di 1000 ppm di SiO₂.

In Italia recentemente è stato introdotto un prodotto contenente acido orto silicico e altri microelementi, tale "Siliforce" prodotto da ILSA (Verona, Italia) che si promette di migliorare la produzione della colture in termini di sostanza secca e gradi brix, oltre che a manifestare una migliore shelf-life del frutto raccolto. La sua formulazione liquida ne facilita la somministrazione tramite irrorazione in specifiche fasi dello sviluppo della piante, assieme ad altri interventi, come ad esempio il diserbo in levata del riso o del frumento duro o tenero, oppure dopo l'allegazione del pesco.

Secondo il produttore la sua efficacia risiede nelle “biodisponibilità” dell’acido orto silicico.

1.4. Silicio in orti-floricoltura

L’utilizzo del silicio in questo settore è stato ampiamente sperimentato e di seguito verranno riportate alcune di queste ricerche, con l’intento di evidenziare i possibili effetti che si possono avere con l’utilizzo di questo elemento.

Diverse sperimentazioni sono state condotte su cetriolo (*Cucumis sativus*) riguardanti il silicio, queste sono state unite in una raccolta pubblicata da Dutch Growers’ magazines (Voogt, 1989a; Voogt, 1989b; Voogt, 1990; Voogt e Kreuzer, 1989; Voogt e Van Elderen, 1991; Voogt, 1992; Voogt e Bloemhard, 1992). In tabella 3 sono stati riportati i risultati produttivi della coltivazione di cetriolo con somministrazione o meno di silicio, ottenuti da sei sperimentazioni.

Tabella 3. Effetto del silicio su cetriolo in termini di numero di frutti, peso e ss della produzione in sei sperimentazioni, con indicazione della fonte di silicio utilizzata. Fonte: Datnoff *et al.*, 2001.

Prova	Produzione						P	Si	
	Si +			Si -				Fonte silicio	dose (mMol/L)
	Frutti n./m ²	Frutti kg/m ²	Frutti s.s. (g)	Frutti n./m ²	Frutti kg/m ²	Frutti s.s. (g)			
1	85	326	384	87	334	384	ns	silicio solido	15
2	73	289	369	73	294	403	ns	vetro solubile	15
3	88	334	380	93	394	424	<0.05	vetro solubile	15
4	74	324	438	85	361	425	<0.05	vetro solubile	10
5	56	318	568	64	368	575	<0.05	K ₂ SiO ₃	10
6	18	82	456	21	109	519	<0.05	K ₂ SiO ₃	75

Nella prima sperimentazione non sono state riscontrate differenze significative nello sviluppo della pianta dopo la somministrazione di silicio, ma si è visto solo un lieve aumento del suo contenuto nella sostanza secca (Voogt e Sonneveld, 1984). Questo sembrava fosse dovuto ad una inaccessibilità all’assorbimento del silicio da parte della piante; infatti la fonte di silicio utilizzata in questa sperimentazione (soluzione colloidale di silicio) rilascia pochi monomeri dell’acido silicico (Iler, 1979).

Nella seconda prova, l'instabilità della fonte di silicio utilizzata ha provocato l'occlusione dell'impianto di irrigazione, compromettendo la prova. Per le prove successive sono state prese idonee precauzioni.

Escluse le prime due sperimentazioni, è stata riscontrata una variazione significativa alla produzione come effetto dell'apporto di silicio l'incremento produttivo è stato dal 6% al 16% in numero di frutti e dal 11% al 33% della produzione totale tra i vari esperimenti.

Sotto l'aspetto qualitativo, la somministrazione di silicio non è sembrato influire su gusto, colore e durata in post raccolta. Tuttavia si è notata una abbonante produzione cerosa all'esterno del frutto.

Secondo Adatia e Besford (1986) la somministrazione di silicio al cetriolo incrementa il contenuto di clorofilla e l'attività della rubisco nelle foglie. Questo potrebbe essere dovuto alla maggiore intercettazione della luce operata dalle foglie trattate, e questo spiegherebbe anche l'incremento produttivo in seguito all'apporto di silicio. Altro effetto legato all'assimilazione del silicio è l'aumento della resistenza della pianta all'oidio (Menzies *et al.*, 1991; Samuel *et al.*, 1991; Belanger, 1995). L'effetto operato dal silicio è ancor più evidente quando non vengono utilizzati fungicidi per controllare il parassita.

Valutazioni riguardo l'aumento della resistenza a malattie fungine, tramite l'apporto di silicio, sono state condotte anche da altri autori su altre colture. Buttaro *et al.* (2009) hanno condotto una sperimentazione su due cultivar di melone (*Cucumis melo*), Carosello e Barattiere, in coltura sotto tunnel su perlite e torba (in rapporto 2:1). L'interesse su questa coltura riguardo l'oidio (*Podosphaera xanthii* e *Golovinomyces cichoracearum*) è elevata, data la sensibilità e il lungo periodo di raccolta che non permette interventi chimici. L'apporto di silicio, dato ad una concentrazione da 0.7 a 3.6 mM a seconda dello stadio vegetativo, ha mostrato un incremento della resistenza al silicio:

- ✓ dal 29% nel controllo al 2% nelle piante trattate, in termini di superficie fogliare colpita;
- ✓ dal 82.3% nel controllo al 43.3% nelle piante trattate, in termini di foglie colpite da oidio.

È stato riscontrato un incremento dell'efficienza di utilizzo dell'acqua in entrambe le varietà del 18%, sebbene in termini assoluti le due varietà differiscono notevolmente rispetto a questo parametro. L'incremento del contenuto di silicio nella

lamina fogliare sta ha confermato il suo coinvolgimento nella traspirazione cuticolare. A livello del frutto solo in “Carosello” è stato riscontrato un incremento del contenuto di silicio del doppio rispetto al controllo, mentre in “Barattiere” il trattamento con il silicio non è sembrato influenzare il suo contenuto nel frutto. La differenza tra i due frutti è probabilmente legata alla tomentosità che caratterizza il frutto di “Carosello”. Secondo Richmond e Sussman (2003) sono appunto i tricomi il sito di deposizione del silicio.

La sperimentazione condotta da Saavas *et. al.* (2009) ha avuto l'intento di testare la risposta produttiva dello zucchini (*Cucurbita pepo*) in fuori suolo dopo la somministrazione di silicio in condizione di forte pressione da stress abiotico. In particolare la sperimentazione portata avanti da questi ricercatori prevedeva la somministrazione, con la soluzione, di NaCl con lo scopo di evidenziare i benefici ottenuti dalla somministrazione del silicio. Sono stati impostati due livelli di salinità, uno a 2200 $\mu\text{s/cm}$ e uno a 6200 $\mu\text{s/cm}$, e due livelli di apporto di silicio, 0.1 e 1 mM. L'apporto elevato di silicio (1 mM) in condizioni di elevata salinità ha mitigato l'effetto fortemente depressivo di questa per i valori considerati. In condizioni di bassa salinità non sono state riscontrate differenze significative tra le due concentrazioni di silicio.

Le condizioni di elevata salinità nell'ambiente radicale hanno fortemente compromesso la produzione sia in numero che in peso medio dei frutti. L'apporto di silicio in queste condizioni ha portato ad un incremento del numero dei frutti, senza però modificarne il peso medio rispetto al non trattato. Tuttavia anche a bassa concentrazione salina l'apporto di silicio sembra aver incrementato, seppur con minor importanza rispetto l'altro caso, il peso secco dei frutti.

Per quanto riguarda l'efficienza fotosintetica, questa è stata fortemente compromessa dall'alta salinità a livello radicale. L'utilizzo a queste condizioni di 1 mM di silicato di potassio nella soluzione irrigua ha permesso una riduzione del danno provocato dall'alta salinità. Anche il contenuto di Na, infatti, è stato ridotto dalla somministrazione di silicio rispetto al caso ad alta salinità con bassa concentrazione di silicio.

La diffusione, soprattutto negli ultimi 10 anno, della tecnica di coltivazione in fuori suolo, tra i cui benefici si annovera l'elevata efficienza di utilizzo dell'acqua e dei nutrienti, oltre che mitigare diversi problemi legati al terreno e alla salubrità ambientale, ha portato all'attenzione l'utilità di elementi nutritivi solitamente non considerati.

La coltivazione in fuori suolo, e ancor più quella in idroponica, richiede da parte dell'operatore la somministrazione, tramite la soluzione irrigua, di tutti gli elementi

nutritivi necessari alla crescita della pianta. Il silicio, elemento abbondantemente presente nei terreni agrari, non era mai stato integrato nella lista degli elementi nutritivi da somministrare. Nello studio condotto da Gottardi *et al.*(2012), si sono portati in evidenza gli effetti del suo utilizzo in floatting-system su valeriana (*Valerianella locusta* Latter). La prova è stata condotta su due varietà di valeriana (“Gala” ed “Eurion”) coltivate con una soluzione nutritiva completa (testimone) o con una simile alla precedente ma con 30 µMol/L di Na₂SiO₃. Dalla prova è emerso che vi sono state risposte differenti delle due varietà, in quanto la cv. Gala ha risposto con un incremento della produzione commercializzabile del 61%, dopo 45 giorni di trattamento con silicio. Questo incremento si è manifestato con la produzione di un maggior numero di foglie, senza che vi sia stato un significativo incremento della loro dimensioni rispetto al controllo. In “Eurion” l’incremento della parte edibile è stato più contenuto, del 20% circa.

Per quanto riguardano i nitrati presenti nella parte edule della pianta, è stata dimostrata una loro sostanziale diminuzione nella piante di cv “Gala” trattate con silicio, ciò costituisce un aspetto positivo nell’ottica di un suo consumo fresco. Lo stesso non si è riscontrato con la cultivar “Eurion”, che non ha manifestato sostanziali differenze nel contenuto dei nitrati. Notevoli sono anche le differenze di accrescimento delle strutture radicali e allo stesso tempo del contenuto di nitrati a livello radicale, molto incrementati nella cultivar “Gala” trattata con silicio.

Mattson e Leatherwood (2010) hanno condotto un’ampia sperimentazione su diverse colture floricole in vaso, coltivate su substrato torboso, per valutare gli effetti del silicio sulla morfologia delle piante.

La somministrazione di silicio è stata eseguita su metà delle piante prese in considerazioni, con apporti settimanali di silicato di potassio (250 ml di acqua contenenti 100 mg/l di silicato di potassio).

Le risposte osservate sono state molto diverse a seconda della specie considerata. Il contenuto di silicio nelle foglie è incrementato per 11 delle 21 specie testate con un incremento dal 13 (quale) al 145 % (quale) rispetto al contenuto di silicio del controllo. In portulaca “Yubi Summer Joy Wine Red” (*Portulaca grandiflora* Vilm.) il contenuto di silicio è invece diminuito.

La risposta morfologica all’apporto di silicio è notevolmente variabile:

✓ Sette cultivar non hanno mostrato variazioni dei parametri morfologici considerati, tra queste begonia “Nonstop Rose Petticoat” (*Begonia x tuberhybrida* Voss),

calibrachoa “Celebration rose”(*Calibrachoa xhibryda* Cerv.), impatiens “Cameo Scarlet Surprise Improved” (*Impatiens wallerana* Hook. f), geranio edera “Global Ruby Red” (*Pelargonium peltatum* L. L’Hér. ex Aiton), geranio edera “Global Soft Pink”, geranio “Patriot Bright Red” (*Pelargonium hortorum* L.H. Bailey) e vinca variegata (*Vinca major* L.).

✓ Quattro cultivar hanno avuto una risposta significativa all’apporto di silicio per quanto riguarda l’altezza, con un incremento del contenuto Nuova Guinea (*Impatiens nuova guinea*, +10%), lobelia (*Lobelia erinus* L., +13%) e portulaca (+9%), mentre bracteantha “Golden Beauty” [*Bracteantha bracteata* (Vent.) Anderb. & Heagi] ha avuto una risposta opposta alle altre (-9%).

✓ La riduzione del diametro dello stelo apicale è stata riscontrata in bracteanta, lobelia, lisimachia “Goldii” (*Lysimachia nummularia* L.) e torenia “Blue Moon”(*Torenia fournieri* Linden ex E. Fourn.).

✓ Non vi sono state variazioni statisticamente significative del diametro apicale (rilevato un centimetro sotto l’apice vegetativo) mentre dieci specie hanno avuto una variazione significativa del diametro del fiore, sei in aumento e quattro in diminuzione.

✓ Sei cultivar hanno avuto una riduzione dello spessore della pagina fogliare [fucsia (*Fuchsia hybrida* hort. Ex Siebold & Voss), Nuova Guinea, lobelia, e portulaca] mentre altre 4 hanno riscontrato un suo inspessimento [bacopa “Gulliver White” (*Sutera grandiflora* Hilliard), petunia “Cascadias Cherry Spark” (*Petunia xhybrida* Vilm.), scaevola “Brilliant” (*Scaevola aemula* R. Br.) e verbena “tropical Breeze Deep Purple” (*Verbena xhibryda* Groenl. & Rümpler)]. Tuttavia le variazioni per entrambi i casi non sono state molto elevate ma dell’ordine dell’1-4%, ad eccezione di Nuova Guinea e lobelia, che hanno avuto una variazione del 7% e 15% rispettivamente.

✓ Per bracteanta e lobelia è stato riscontrato un incremento del peso fresco e del peso secco, assieme al peso secco di verbena (dal 16 al 19%).

La risposta morfologica delle cultivar al silicio è stata molto variabile ed, indipendente dalla specie di appartenenza, dal contenuto di silicio del controllo e del trattato. Questo significa probabilmente che le vie di assimilazione del silicio sono molteplici e la presenza di trasportatori di silicio, seppur simili tra le varie specie, può differire in numero ed efficienza, come è stato riscontrato su pomodoro, cetriolo e riso (Mitani e Ma, 2005).

Viene ormai preso per assodato che l’accumulo di silicio nelle piante permetta una maggiore resistenza di questa a stress biotici e abiotici (Ma e Yamaji, 2006). Quello

che non risulta ancora chiaro è il motivo per cui, sebbene alcune cultivar non aumentino la concentrazione fogliare di silicio dopo la sua somministrazione, le stesse presentino variazioni morfologiche in seguito alla somministrazione di silicio. Questo fenomeno sosterebbe l'ipotesi di un ruolo attivo del silicio nella fisiologia della pianta (Fauteux *et al.*, 2006; Rodrigues *et al.*, 2004).

Ulteriori sperimentazione riguardo il silicio sono state fatte su gerbera e zinnia. Kamenidou *et al.*(2010) hanno condotto una sperimentazione su gerbera (*Gerbera hybrid L. "Acapella"*) testando diverse fonti di silicio con diverse metodologie di applicazione. I risultati ottenuti sono stati molto variabili sia in base alla dose che alla fonte di silicio, oltre che alla tecnologia di applicazione. L'applicazione di silicio alle piante di gerbera è stata fatta nei seguenti modi:

- ✓ incorporazione nel substrato delle ceneri di lolla di riso con un apporto di 33, 66 e 100 g/m³ di Si;
- ✓ incorporazione di KSiO₃ al substrato di coltivazione con un apporto di 70, 140 e 280g/m³ di Si;
- ✓ cinque applicazioni fogliari settimanali di NaSiO₃ ad una concentrazione di 50, 100 e 150 mg/l di Si;
- ✓ cinque applicazioni fogliari settimanali con KSiO₃ a concentrazione di 50, 100 e 200 mg/l di Si.

I risultati mostrano un incremento del diametro fiorale con apporti di silicato di sodio settimanali a 50 e 100 mg/l di Si. Inoltre a 50 mg/l di Si con apporto settimanale di sodio silicato si riscontrano fiori più bassi. L'incremento del diametro del peduncolo alla base e sotto il fiore si è riscontrato con irrorazioni settimanali di silicato di potassio a 200 mg/l di Si e a tutte le dosi di sodio silicato, oltre che con l'apporto di silicato di potassio al terreno alla concentrazione di 140 g/m³ di Si.

L'apporto di silicio con le ceneri di lolla di riso a 66 e 100 g/m³, l'incorporo di potassio silicato al terreno alla dose di 70 e 140 g/m³ e l'irrorazione settimanale con sodio silicato a 50 e 100 mg/l hanno portato ad un anticipo della fioritura. Il motivo alla base di questo fenomeno non è ancora chiaro ma sembra legato alla maggior efficienza fotosintetica e alla minor traspirazione fogliare che è solita con l'apporto di silicio.

La somministrazione settimanale di silicato di sodio a 150 mg/l di silicio alle foglie sembra, dopo 8 settimane di applicazione, indurre la deformazione del fiore e la formazione di peduncoli corti; tale fenomeno potrebbe essere legato ad un effetto tossico del sodio (Baas *et al.*, 1995) o ad un effetto legato al silicio che non permette la

traspirazione.

L'incremento del diametro peduncolo di gerbera è stato riscontrato con i trattamenti sia di sodio che di potassio silicato, ma non con l'incorporo delle ceneri di lolla di riso. Infine è stato riscontrato un incremento della lunghezza del peduncolo e del diametro fiorale con apporti settimanali di potassio silicato a 50 e 100 mg/l.

Sperimentazione molto simile è stata condotta sempre da Kamenidou *et al.* (2009) su *Zinnia elegans* per valutare l'effetto del silicio sulla morfologia e sulla resistenza a parassiti fungini di questa pianta. Per quanto riguarda l'effetto morfologico è stato notato:

- ✓ una minore altezza della piante con irrigazione settimanale di silicato di potassio (a 100 e 200 mg/l di Si) dovuta ad una minore lunghezza degli internodi; la fioritura inoltre è stata ritardata (piante più compatte con steli dritti);

- ✓ ritardo nella fioritura con irrigazione settimanale con silicato di potassio (a 50 mg/l di Si), senza effetto sull'altezza della pianta;

- ✓ incremento del diametro alla base degli steli con irrigazione settimanale con silicato di potassio (a 200 mg/l di Si) o con l'incorporamento al substrato di ceneri di lolla di riso (280 g/m³ di Si);

- ✓ incremento del diametro apicale dello stelo con irrigazione settimanale con silicato di potassio (a 200 mg/l di Si) o con l'incorporamento al substrato di ceneri di lolla di riso (100 g/m³ di Si);

- ✓ incremento del diametro fiorale con trattamenti settimanali con sodio silicato alla dose di 100 e 150 mg/l di Si; inoltre è incrementato anche con l'incorporo al substrato di ceneri di lolla di riso (100 mg/l di Si), l'incorporo al substrato di potassio silicato solubile (140 g/m³ di Si) e con irrigazioni settimanali con potassio silicato (50 mg/l di Si).

L'incremento del contenuto di silicio nei tessuti della pianta si è manifestata principalmente sulle foglie, quindi fiori e infine steli.

In questa prova è stata anche sperimentata la somministrazione di silicio tramite irrigazione settimanale con potassio silicato e trattamenti fogliari con sodio silicato per valutare l'induzione alla resistenza all'oidio. Questa prova ha evidenziato che solo l'irrorazione con sodio silicato ha indotto una maggior resistenza all'oidio, in quanto si è formato uno strato impermeabile di silicio che impedisce la penetrazione degli austeri. Tale risultato è in contrasto con quanto riscontrato su riso e mais, in cui sembra ci sia una risposta attiva del silicio della resistenza all'oidio (Agarie *et al.*, 1998).

Diverse prove con somministrazione di silicio sono anche state condotte su rosa, in quanto questa coltura è fortemente colpita da oidio (*Podosphaera pannosa*) e ticchiolatura (*Diplocarpon rosae*). Le prove sono state condotte su rose da fiore reciso, miniatura da vaso e da vivaio. Tutte le prove prese in considerazione sono state condotte per valutare la resistenza a malattie fungine e, senza però considerare la risposta produttiva delle coltivazioni prese in considerazione.

Shetty *et al.*(2012) ha condotto una prova su rosa miniatura da vaso (10 cm di diametro) con somministrazione di silicato di potassio (3.6 mM) su quattro diverse varietà: 99 / 9496-19, 98 / 8285-1 (moderatamente resistenti all'oidio), 95 / 5166-1 e Smart (molto sensibili all'oidio). Dalla prova è emerso un incremento del contenuto di silicio in tutte e quattro i genotipi, sebbene la differenza di assorbimento del silicio dei quattro genotipi sia elevata. Infatti le due varietà moderatamente resistenti (99 / 9496-19 + 365.3% rispetto al controllo, 98 / 8285-1 + 358.2%) presentano un maggior assorbimento di silicio rispetto alle altre due maggiormente sensibili all'oidio (95 / 5166-1 + 165.8%, Smart + 198.9%). Dall'analisi con microscopio è stato riscontrato un incremento della deposizione del silicio a livello della parete cellulare dell'epidermide della piante trattate con silicio e inoculate con il patogeno dell'oidio (*Podosphaera pannosa*). La resistenza al patogeno tra le varie varietà in termini relativi rimane comunque inalterata dopo il trattamento con silicio, mentre in termini assoluti in tutti i genotipi la resistenza è notevolmente incrementata.

Ad un'analisi dettagliata della risposta della varie cultivar alla somministrazione di silicio, si è notata un'elevata differenza di risposta tra le varietà moderatamente resistenti (99 / 9496-19) e quella più suscettibile (Smart). Dopo 72 ore dell'inoculo la percentuale di conidi formanti appressori è stata fortemente influenzata dell'apporto di silicio rispetto al controllo nella varietà più resistente, mentre in Smart non vi sono state differenze significative. Al contrario invece la penetrazione degli austori non è stata significativamente alterata nella piante trattate rispetto al controllo in 99 / 9496-19, mentre lo è stata in "Smart". Tuttavia in entrambi i genotipi si è avuta una riduzione della formazione di austori e miceli di allungamento nel trattato rispetto al controllo. Inoltre si è ottenuto anche un incremento delle risposte difensive della pianta, nelle piante trattate, con una maggiore formazione di papille e cellule fluorescenti dell'epidermide (FEC, cellule coinvolte nella risposta difensiva contro i patogeni). Infine la percentuale di papille e FEC che bloccano la penetrazione è stata fortemente incrementata (più del 200%) in 99 / 9496-19 e in "Smart".

La produzione di perossido di idrogeno (H_2O_2) in seguito al trattamento con silicio incrementa notevolmente a livello delle cellule di difesa. Lo stesso vale per la deposizione di callosio, che si concentra a livello delle papille. Questi due elementi sono coinvolti nei fenomeni di risposta difensiva contro l'attacco fungino.

Per quanto riguarda le rose paesaggistiche e da vivaio, i maggiori problemi sono dati dall'attacco di ticchiolatura (*Diplocarpon rosae*). In un loro esperimento Gillman *et al.* (2003), la somministrazione settimanale di silicato di potassio, con apporto di 100 e 150 mg/l, ha portato ad una notevole riduzione delle infezioni dopo 5 settimane dall'inoculo, e le differenze sono diventate significative, rispetto al controllo, dopo 7. Quindi l'apporto di silicato sembra incrementare anche la resistenza a questa patologia.

In un altro studio condotto da Gillman e Zlesak (2000), è stato dimostrato come la radicazione di talee di rosa (*Rosa L. x "Nearly Wild"*) sia stata influenzata positivamente dalla somministrazione di potassio silicato in irrigazione (dosi 50, 100 e 150 mg/l). Questo sembra essere legato ad una maggiore ritenzione idrica delle foglie, con conseguente incremento dei carboidrati e dei prodotti fogliari come le auxine trasportati alla zona radicale via floematica.

Prove riguardanti i risultati produttivi dell'apporto di silicio sono state condotte da Reezi *et al.* (2009) su *Rosa xhybrida L. "Hot Lady"*. Nel specifico sono state condotte prove riguardanti la resistenza indotta dal silicio all'elevata salinità dell'acqua di irrigazione (con aggiunta di NaCl 0.25 mM). In molti continenti l'elevata salinità è uno dei problemi maggiormente diffuso (Perez-Alfocea *et al.*, 1996). Dallo studio è emerso che l'utilizzo di 100 ppm di silicio somministrato come silicato di potassio nella soluzione irrigua ha mitigato gli effetti negativi della salinità; non sono infatti state riscontrate differenze significative sia in numero di fiori prodotti che in diametro dei boccioli rispetto al controllo non trattato e in condizioni normali di salinità. Il trattamento con solo silicio ha mostrato invece un incremento nella lunghezza dei fiori, mentre né la salinità né il silicio hanno variato il diametro dei fiori rispetto al controllo. Infine la somministrazione di 50 ppm di silicio (come silicato di potassio) ha incrementato la produzione in numero di steli fiorali, lo stesso non vale in condizioni di elevata salinità. Questo è probabilmente dovuto ad un incremento del livello di GA_1 e del suo precursore GA_{20} , molecole coinvolte nella catena di formazione delle giberelline, ormone stimolante la distensione cellulare (Hwang *et al.*, 2008).

L'apporto di 50 o 100 ppm di silicio, a livello fisiologico, ha ristabilito in condizioni di elevata salinità (con l'apporto di NaCl) le seguenti caratteristiche nella

pianta:

- ✓ permeabilità della membrana citoplasmatica;
- ✓ ossidazione dei lipidi, con una riduzione in condizioni normali rispetto al controllo;
- ✓ livello di clorofilla, inoltre è stato riscontrato un incremento del suo contenuto rispetto al controllo con la somministrazione di 50 ppm di silicio in normali condizioni di salinità.

1.5. La rosa

La rosa appartiene alla famiglia delle *Rosaceae*, genere *Rosa* che comprende moltissime specie; le rose di interesse orticolo sono classificate come *Rosa ×hybrida* Hort in quanto derivate da numerosissimi incroci che da millenni si eseguono a partire da specie diverse. La rosa ha portamento cespuglioso, flora stolonante o arbustivo con rami legnosi eretti o sarmentosi, più o meno spinose e molto raramente inermi. Le foglie caduche o più raramente persistenti, sono stipulate, composte, impari-pennate con 3-5-7 o più foglioline ovate, ovate-lanceolate o ellittiche più o meno seghettate con nervature rilevate sulle pagine inferiori. I fiori terminali sono solitari o più spesso riuniti in cime corimbiformi. Il ricettacolo dopo la fecondazione ingrossa fino alle dimensioni di 3-8 cm di circonferenza assumendo una forma piriforme ed a maturità un color rosso o rosato e presenta l'aspetto di un frutto che in realtà contiene un numero variabile di *achen*i bianco giallastri, duri (Bensa, 1986).

La specie è originaria delle regioni temperate dell'emisfero settentrionale (Europa ed Asia). Prima del 1800 erano coltivate solo cultivar a fioritura estiva, il carattere rifiorenza è derivato da *R. gigantea* e *R. chinensis*. Il lavoro di ibridazione e selezione, iniziato in Oriente, ha portato alla costituzione delle "rose di Cina", arrivare in occidente intorno al 1793 ed hanno determinato lo sviluppo delle moderne varietà di rose rifiorenti da fiore reciso. Le più importanti rose da fiore reciso sono ottenute da ibridazione di rose dei gruppi "floribunda" e "ibridi di tea", altre sono state ottenute da mutazioni somatiche spot (es. cultivar *Ophelia* e sue derivate) spesso indotte da colchicina o da agenti mutageni: raggi X, raggi Y e raggi ultravioletti (Accati Garibaldi, 1993; Tesi, 2008).

La sua coltivazione viene fatta non solo per la produzione di fiori recisi, ma

anche in vivaio per la produzione di piante da giardino e paesaggistiche. Infine recentemente sono state introdotte cultivar molto compatte, mini, che vengono coltivate su vasi di piccola taglia (diametro 10) per la produzione di piccole piantine fiorite.

La coltivazione della rosa da fiore reciso si è sviluppata principalmente nel ponente ligure, con una superficie coltivata di circa 408 ha ed una produzione di 212 milioni di steli anno (ISTAT anno 2000). Seguono le regioni meridionali d'Italia con Campania, Sicilia e Puglia, con una superficie coltivata di circa 150-180 ha ciascuna. La coltivazione in piena aria è ormai scomparsa e persiste solo in Liguria con circa 115 ha (ISTAT anno 2000). Tuttavia negli ultimi decenni la coltivazione della rosa da fiore reciso risente notevolmente della concorrenza straniera, in particolare Olanda ed Ecuador, ma anche Columbia e Kenia. Questo ha portata alla perdita da parte del prodotto nazionale di una buona fetta di mercato, tanto che la coltivazione della rosa in Liguria è stata fortemente ridimensionata.

L'Italia è il quinto maggior importatore europeo di rose recise, per circa il 5.4% di tutta l'importazione europea nel 2010 ed un valore di circa € 68 milioni (CBI Market Information Database).

La crisi economica ha inferto un duro colpo nel commercio dei fiori recisi, con un calo nel 2010 del valore dei fiori recisi venduti di € 2.7 miliardi. Tuttavia la rosa rimane il fiore reciso più popolare nel mercato italiano. Il mercato dei fiori recisi è caratterizzato da un'elevata frammentazione della rete di vendita costituita da fioristi. Questo ha avvantaggiato le produzioni locali a conduzione familiare che riescono a soddisfare la domanda locale. Questo ha portato, salvo alcuni rari casi, alla mancanza dello sviluppo del settore produttivo della rosa recisa e alla formazioni di grandi aziende con economie di scala. Il mercato di Sanremo presenta circa 200 grossisti, tuttavia solo 7 o 8 di loro operano a livello internazionale, con esportazione del prodotto nazionale. Gli altri operano, spesso con andamento irregolare, a livello nazionale o addirittura locale. Questo non ha mai portato allo sviluppo del settore del fiore reciso in Italia come è avvenuto in altri paesi, come Olanda o Francia (CBI Market Information Database).

Il miglioramento genetico tramite ibridazione interspecifica e intraspecifica viene fatto per impollinazione, quindi si ha la produzione dei semi e successiva germinazione *in vitro* con coltura di embrioni (data la difficile germinazione dei semi) per ottenere il materiale di propagazione. I caratteri di interesse nel miglioramento genetico, a seconda della tipologia di produzione, sono:

- ✓ elevata produzione di steli soprattutto nei periodi invernali;

- ✓ ampia gamma di colori, i più ricercati sono rosso, rosa, giallo, bianco e tutte le varie sfumature di questi;
- ✓ resistenza alle basse temperature;
- ✓ durata del fiore reciso;
- ✓ petali consistenti;
- ✓ fiori profumati;
- ✓ lunghezza non eccessiva dell'ultimo internodo;
- ✓ foglie lucente.

Le cultivar si rosa si distinguono in: rose a fiore grande, medio e piccolo (Accati Garibaldi, 1993).

1.5.1. Tecnica di coltivazione

La coltivazione della rosa per la produzione del fiore reciso avviene in diversi ambienti pedoclimatici, con coltivazione in pieno campo in zone fredde o temperate, su serra fredda o su serra riscaldata, in terra o in fuorisuolo. Le diverse condizioni climatiche portano a diversi risultati produttivi, ad esempio in pieno campo la produzione è notevolmente inferiore rispetto a quella in serra riscaldata e soprattutto in periodi dell'anno diversi.

La rosa in pieno campo predilige terreni medio impasto con elevato tenore di calcare, dotati di buon drenaggio. Solitamente prima dell'impianto si effettua un'abbondante letamazione con l'aggiunta di torba, lolla di riso, grapi e abbondante apporto di perfosfato minerale (100-200 g/m²). Il pH ottimale è tra 6.5 e 7. La riduzione di pH ove necessaria si effettua con l'apporto di zolfo in polvere oppure solfato di ferro, il primo con un effetto più lento, il secondo ha il vantaggio di apportare ferro ma l'effetto correttivo del pH è di breve persistenza (Accati Garibaldi, 1993).

La coltivazione della rosa in fuorisuolo predilige substrati altamente drenanti, come il grodan o la perlite, quest'ultimi su container da 30 l circa con tre piante ciascuno, o su canalette lunghe quanto il filare. Nel caso del grodan invece, la pianta viene sollevata da terra con strutture in ferro elettrosaldato in modo da agevolare le operazioni di raccolta (Crippa, 2005).

L'esigenza termica della rosa è piuttosto elevata per la produzione di buoni steli fiorali. Temperature inferiori ai 15 °C provocano la formazioni con elevato numero di petali che assumono un aspetto a carciofo (fiori Bull Head), produzione di steli ciechi, ossia privi del fiore apicale in seguito ad aborto dell'apice meristematico. Quest'ultimi

tendono a formarsi anche in condizioni da bassa luminosità o con potature eccessive. Questo avviene in quanto lo stelo contiene livelli di citochinine, acido indolacetico e gibberelline inferiori alle condizioni ottimali. Ulteriore effetto della temperatura, che si manifesta con sbalzi termici o con concimazioni eccessive è la ginocchiatura dell'ultimo internodo con relativo deprezzamento della produzione. Tuttavia anche temperature elevate, superiori ai 35 °C, compromettono le prestazioni produttive, bloccando lo sviluppo della pianta, aumentando la temperatura della foglia e la traspirazione, con conseguente chiusura degli stomi, impedendo la fotosintesi. Optimum della temperatura per la rosa è di 25 °C. Tecniche per ridurre la temperatura sono l'imbianchimento dei teli, la stesura di teli ombreggianti, l'installazione di impianti fog-system o culling-system (Accati Garibaldi, 1993).

L'umidità ottimale per la sua coltivazione è tra 60-80%, valori maggiori stimolano lo sviluppo di *Botrytis* e peronospora. In condizioni di umidità relativa inferiore al 60% sono stimolati invece gli attacchi di oidio ed è facilitata la sua diffusione. Sbalzi di umidità repentini causano la caduta fisiologica delle foglie.

Tra i vari parametri ambientali la luce è una di quelli più influenti per la produzione di steli fiorali di buona qualità. Infatti in condizioni di scarsa luminosità il colore dei petali può alterarsi, come in *Golden Wave* il petalo rimane verde, anziché diventare giallo, per incompleta trasformazione dei cloroplasti in cromoplasti, o in *Baccarà* i petali presentano un colore bluastro per la demolizione di proteine, le quali producono amminoacidi che accumulandosi diventano tossici. La luminosità eccessiva compromette anch'essa la produzione, con un minor numero di petali, dotati di scarsa conservabilità (Accati Garibaldi, 1993).

La coltivazione in piena terra prevede il trapianto in ottobre o febbraio-gennaio, quando le piante sono in riposo vegetativo. Vengono poste a dimora piante già innestate presso stabilimenti specializzati. Una volta preparato il terreno vengono eliminate le parti rotte e secche delle piante, raccorciate le radici e quindi si trapianta. Le radici devono essere poste ben distese e a contatto con il terreno, compresse ed irrigate per favorire l'emissione di nuove radici assicurando nell'atmosfera una buona umidità. La densità è di 6-8 piante/m² disposte in file binate in modo da ottenere una buona aereazione ed irraggiamento delle piante.

Nella coltivazione in fuorisuolo le piante poste a dimora su substrati inerti sono solitamente rialzate dal suolo, agevolando le operazioni di raccolta e potatura. La densità è di circa 6-8 piante/m². Per sfruttare la massima produttività delle piante, si può

optare, nelle giuste condizioni ambientali, alla “raccolta continua” e l’allevamento con “taglio giapponese”. Si tratta di una tecnica adottata in numerose aziende e studiata a fondo da tecnici francesi; i principi cardine sono:

- ✓ struttura della pianta ad una altezza inferiore i 25 cm;
- ✓ formazione di una parte vegetativa molto sviluppata, il “polmone”, costituita da rami curvati orizzontalmente alla base della pianta, in modo da captare meglio la luce e mantenere una zona nella piante con continua attività fotosintetica, senza che venga asportata con le raccolte (Crippa, 2005).

Lo scopo del polmone è quello di fungere da “laboratorio fotochimico” della pianta, sintetizzare carboidrati che verranno traslocati nella pianta. La piegatura dei rami ha lo scopo, oltre che aumentare la superficie captante la luce, quello di compromettere la dominanza apicale, permettendo la formazione di altri rami particolarmente vigorosi. Infatti nella zona di curvatura si ha l’accumulo di ormoni che stimolano la formazioni di steli di maggiore qualità. Inoltre, in base alle caratteristiche varietali e al prodotto che si vuole ottenere, la raccolta dello stelo verrà fatta più in alto o più in basso nella pianta, con il risultato di ottenere nel primo caso un maggior numero di fiori di minor lunghezza e qualità, nel secondo caso fiori di maggior pregio ma in minor numero è con tempi più lunghi di formazione (Crippa, 2005).

Nella coltivazione a terra solitamente non si utilizza la tecnica di allevamento a “polmone”, ma piuttosto si tende ad utilizzare tecniche di allevamento più tradizionali, che prevedono la costituzione di una pianta di altezza maggiore, con molti impalchi, in seguito a successive cimature più o meno lunghe. Questa tecnica tuttavia richiede maggiori tempi rispetto alla precedente per l’entrata in produzione dal trapianto, e presenta risultati produttivi inferiori. Per questo motivo non viene utilizzata nella coltivazione in fuori suolo (Accati Garibaldi, 1993).

Le asportazioni nutritive di questa coltura presentano in media un rapporto 1 : 0.22 : 0.65 tra N, P₂O₅ e K₂O e una’asportazione rispettivamente per pianta per anno di 4.68 g, 1.05 g e 3.05 g, rispettivamente. Nella coltivazione a terra solitamente si esegue una buona concimazione di fondo con letamazione (30-50 kg/m²) e apporto di torba, perfosfato minerale (300 g/m²) e solfato di potassio (150 g/m²). Inoltre per 1000 m² di serra con una densità di 8 piante/m² si apportano solitamente altri 270-300 unità di fertilizzante in fertirrigazione con concimi con rapporti 1 : 0.6 : 1 tra N, P₂O₅ e K₂O (Tesi, 2008)

Nel fuori suolo l’operatore deve affinare notevolmente la tecnica di

fertirrigazione, in quanto in queste condizioni il substrato non apporta alcun elemento nutritivo e con ogni irrigazione devono essere apportati tutti gli elementi nutritivi necessari alla pianta. Ecco perché solitamente si eseguono analisi delle acque e di conseguenza si determina la soluzione nutritiva da apportare alla coltura, tenendo conto delle esigenze. Una volta fatte le analisi delle acque utilizzate, si procede al calcolo della ricetta di fertirrigazione, tenendo conto dei carbonati da titolare e portando la soluzione finale ad un pH ottimale compreso tra 5.7 e 6.2, ed una conducibilità elettrica attorno a 2mS (la rosa viene considerata mediamente sensibile alla salinità). Valori diversi di pH non consentirebbero un buon assorbimento degli elementi nutritivi da parte della pianta, con conseguenti fenomeni di stress da carenza nutritiva.

La potatura della rosa si esegue solitamente nei periodi in cui la pianta è in riposo vegetativo, ossia in dicembre nelle zone climatiche più fredde senza forzatura con produzione in primavera-estate-autunno, o in luglio-agosto nelle zone climatiche più calde, dove le eccessive temperature non permetterebbero buoni risultati produttivi, e successiva entrata in produzione in autunno e tutto l'inverno. Con la raccolta in continuo si esegue elusivamente la potatura a verde, con eliminazione dei rami secchi, eventuale pulizia degli steli sfioriti e troncatura dei polloni. Quest'ultimi in rosicoltura sono considerati, a differenza delle produzioni frutticole, un buon segnale per la pianta, in quanto permettono un rinnovamento della pianta con migliori risultati produttivi. La potatura della rosa si esegue con tagli molto severi che riducono drasticamente la parte aerea della pianta, eliminando gli steli più esili e raccorciando a 20 cm circa gli altri. Raccorciamenti eccessivi non sono ottimali per le cultivar moderne, in quanto le gemme basali sono più dormienti, tuttavia la misura del taglio va regolata alla cultivar considerata (Crippa, 2005; Tesi, 2008).

La raccolta si esegue al momento in cui si ha la completa formazione del bocciolo florale, prima che questo si apra. Il momento preciso di raccolta è caratteristica varietale, e dipende dal successivo comportamento del fiore raccolto in conservazione ed al consumo. Le produzioni sono di circa 10-13 steli per pianta per anno nelle cultivar a fiore grande, 15-20 in quelle a fiore medio e 30-40 in quelle a fiore piccolo. Dopo la raccolta gli steli vengono subito posti in acqua e successivamente suddivisi in base alla lunghezza, a cui di solito è abbinata la dimensione del bocciolo, in extra > 80 cm, prima 60-80 cm, seconda 45-60cm, terza < 45cm. I mazzi sono solitamente di 10 o 20 steli a uno o per il secondo caso anche a due livelli. I fiori raccolti vengono conservati in acqua contenente conservanti e antibatterici specifici, che evitano l'occlusione dei vasi, in

celle frigorifere a 4-5°C, fino alla loro rivendita (Tesi, 2008). Una utile soluzione conservante è composta da Alar alla dose di 50 mg/l con aggiunta di 30g/l di saccarosio ed HQS alla dose di 200mg/l. Alle volte si eseguono trattamenti con Daconil (clortanil) per evitare il proliferarsi di *Botrytis* durante il trasporto (Accati Garibaldi, 1993).

La coltivazione della rosa è soggetta a diversi parassiti. I principali parassiti fungini della rosa sono *Botrytis cinerea*, la *Peronospora sparsa*, l'oidio (*Sphaerotheca pannosa* spp.), il seccume del legno (*Diaporthe eres*, *Coniothyrium fuckelii*) e la ticchiolatura o macchia nera delle foglie (*Diplocarpon rosae*). Vi sono anche malattie dell'apparato radicale come *Verticillium alboatrum* e l'*Agrobacterium tumefaciens* (tumore batterico).

I nemici animali più frequenti sono gli afidi (*Macrosiphum rosae*), tripidi (*Thrips fuscipennis*) e ragnetto rosso (*Metatetranychus ulmi*), contro i quali si possono adottare disciplinari di lotta chimica o integrata con l'uso di predatori naturali come *Amblyseius*, *Phytoseiulus* e altri (Bensa, 1986; Tesi, 2008)

L'utilizzazione del silicio nella coltivazione, soprattutto nel caso in cui si abbiano colture in fuorisuolo, sembra dare buoni riscontri produttivi. Tuttavia è bene ricordare che la risposta data dal suo utilizzo è fortemente influenzata da molte variabili, che possono talvolta annullare il suo potenziale effetto. In primis abbiamo la specie e la varietà considerata, in cui i livelli di assorbimento possono essere fortemente differenti. Quindi anche la forma chimica di silicio utilizzata e la metodologia di applicazione. Infine anche lo stadio vegetativo della pianta sembra essere determinante sugli effetti che il silicio può dare alla pianta.

1.6. Scopo della tesi

La coltivazione in fuorisuolo ha posto in evidenza l'importanza del silicio come elemento nutritivo. Sebbene non sia ancora dimostrato che il silicio sia un elemento nutritivo essenziale, ossia senza di esso non si abbia il completamento del ciclo di sviluppo della pianta, diversi studi hanno evidenziato un reale incremento della produttività della pianta in seguito alla sua somministrazione su diverse colture.

Lo scopo di questo studio è quello di valutare la risposta, in termini di produzione e qualità degli steli, della rosa da fiore reciso, coltivata in fuorisuolo su perlite, all'applicazione di diverse dosi di silicio sotto forma di silicato di potassio.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Generalità sulla prova

La prova è stata condotta presso l'azienda agricola Agroverde, a Roveredo di Guà in provincia di Verona. Presso l'azienda vengono coltivate rose e gerbere da fiore reciso, oltre che altri articoli in vaso fiorito su una superficie di 16.000 m² di serre riscaldate.

Nella zona dedicata alla coltivazione delle rose la struttura è a doppia falda, la copertura in doppio plastico gonfiato e la pavimentazione, cementificata, presenta riscaldamento basale, oltre che gli aerotermini a gasolio per la deumidificazione. Per il raffrescamento in estate è installato un impianto fog, mentre l'ombreggiamento viene fatto con tinteggiature bianche sui teli. La concimazione viene fatta in fertirrigazione grazie ad un apposito fertirrigatore con sistemi a venturi per la diluizione e miscelazione delle soluzioni madri A e B e acido nitrico, a vaso chiuso, e la distribuzione con un impianto a goccia costituito da un tubo di mandata su ogni filare, un distributore da 8 l/h a cui sono collegati quattro tubicini, uno per vaso.

La coltivazione della rosa è condotta in fuorisuolo, ossia su substrato inerte, perlite nello specifico, in vasi da 30 l contenenti tre piante ciascuno. I vasi sono disposti in file binate, cinque bine per campata. Sotto il vaso è presente una canaletta in polietilene per la raccolta del drenaggio, mentre i vasi sono rialzati da due parallelepipedi in polistirolo di 5 cm di altezza, per facilitare lo sgrondo del drenaggio dai vasi.

Le piante sui vasi sono disposte sulla parte esterna della bina, leggermente inclinate, per facilitare la coltivazione “a polmone”.

Le piante utilizzate per la sperimentazione sono rose appartenenti a due varietà, ‘Free Spirit’ e ‘Sanremo’, innestate su *Rosa indica* propagata per talea. Le piante sono state trapiantate in giugno 2010 e sono entrate in produzione nel settembre successivo. In gennaio 2013 sono state potate e successivamente alla potatura è iniziata la sperimentazione vera e propria.

Nella prova sono state testate 6 tesi derivanti dalla combinazione fattoriale di:

✓ tre concentrazioni di Si: 0, 1.8 e 3.6 mM, denominati rispettivamente con la sigla Si0, Si1 e Si2. “Si0” costituisce, ovviamente, il controllo;

✓ due varietà, Free Spirit e Sanremo.

Si è impiegato un disegno sperimentale a blocchi randomizzati con tre ripetizioni. L'unità sperimentale ha interessato dieci vasi con tre piante ciascuno.

In figura 1 è riportato il disegno sperimentale utilizzato, in cui ogni singolo quadrato equivale a una parcella di 10 vasi e 30 piante, sei parcelle corrispondono ad un blocco (distinti dal colore: B11 = rosa, B12 = verde; B13 = blu), ogni fila di quadrati equivale ad una bina di 45 vasi per fila per un totale di 180 vasi e 270 piante per varietà (540 in tutto).

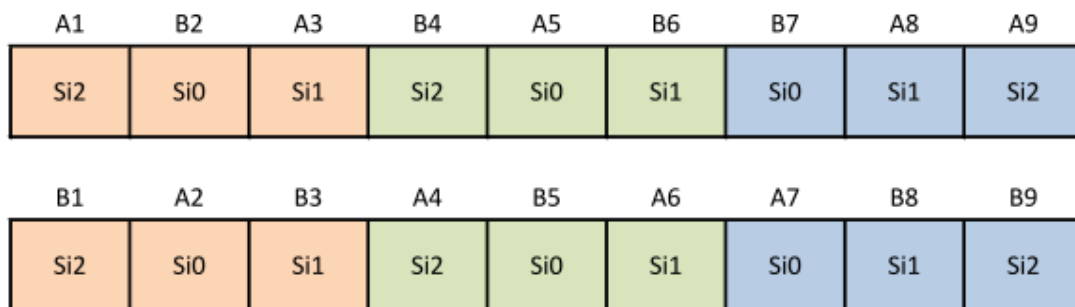


Fig. 1: disegno sperimentale in cui i colori distinguono i tre blocchi, "A" = Free Spirit; "B" = Sanremo.

L'impianto di irrigazione è stato costituito analogamente a quello già presente in serra, ossia a goccia. Tuttavia, per poter distribuire soluzioni nutritive diverse, sono stati disposti sulla bina tre tubi, uno per trattamento, sui quali sono montati i gocciolatori solo in corrispondenza dello specifico trattamento. I gocciolatori impiegati sono a bottone, con portata di 8 l/h, con 4 uscite ciascuno da cui si dipartono 4 capillari (2 l/h), uno per vaso. Per questioni pratiche, a differenza di quanto avviene normalmente in azienda, la soluzione fertilizzante non derivava dal fertirrigatore ma da taniche di 1000 l contenenti le soluzioni nutritive già alla concentrazione di distribuzione. Le soluzioni sono state messe in circolo grazie ad una pompa. La somministrazione delle diverse soluzioni, la cui composizione è riportata in tabella 4) in prova è iniziata il 4/04/2013. Da continue misurazioni durante l'intera prova si sono riscontrati nell'acqua di irrigazione i seguenti parametri medi:

- pH 6.1 per le tesi con 0 e 1.8 mM, 6.2 per la tesi con 3.6 mM di Si;
- conducibilità elettrica di 1950 $\mu\text{s}/\text{cm}$ per la tesi con 0 mM di Si, 2010 per la tesi con 1.8 mM di Si e 2050 $\mu\text{s}/\text{cm}$ per la tesi con 3.6 mM di Si.

Tabella 4. Concentrazione nei nutrienti nelle diverse soluzioni nutritive.

Tesi	Concentrazione in mM della soluzione irrigua									
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Si
Si 0	13	1.5	1.7	5.5	1.5	4.5	1.5	0.18	1.34	0
Si 1	13	1.5	1.7	5.5	1.5	4.5	1.5	0.18	1.34	1.8
Si 2	13	1.5	1.7	5.5	1.5	4.5	1.5	0.18	1.34	3.6

Gli interventi di irrigazione erano comandati dalla centralina di controllo che gestisce le irrigazioni della serra. Quest'ultima è stata impostata per fare il primo intervento alle 7:00 del mattino e l'ultimo alle 18:00, mentre tutti gli altri interventi giornalieri venivano dettati da una somma luce, grazie ad un sensore, che determinava la frequenza di interventi in base alla luminosità esterna. Ogni singolo intervento è di circa 0.2 l/vaso. Questa scelta di programmazione dell'irrigazione è stata testata nell'azienda per diversi anni e tuttora viene monitorata grazie a dei punti di controllo posti in varie zone della serra che misurano il volume, la conducibilità elettrica e il pH della soluzione irrigua al gocciolatore e del drenaggio dei vasi. Quindi la tecnica di irrigazione della prova non è stata variata rispetto all'irrigazione classica che viene fatta in serra, ma è solo cambiata la composizione della soluzione irrigua.

2.2. Raccolta dei dati ed elaborazione

I dati raccolti hanno riguardato diversi aspetti quantitativi e qualitativi della produzione.

In primo luogo la produzione è stata valutata in termini quantitativi e di qualità estrinseca. La raccolta degli steli è iniziata il 6 maggio ed è proseguita con cadenza giornaliera. Gli steli venivano raccolti quando il bocciolo inizia a mostrare i petali all'interno e il taglio veniva eseguito sopra la terza foglia dal punto di inserzione dello stelo. Ogni stelo raccolto è stato valutato per:

- ✓ lunghezza dello stelo;
- ✓ diametro dello stelo 1cm sopra il taglio;
- ✓ diametro dello stelo sopra l'ultima foglia prima del bocciolo;
- ✓ diametro del bocciolo.

La valutazione della qualità della produzione è anche stata valutata con una prova di conservazione. In data 18 agosto è gli steli raccolti, in numero di tre per

parcella, sono stata tagliati alla stessa altezza e posti in un recipienti contenenti un litro di acqua alla quale è stato addizionato un prodotto conservante (Chrysal RVB, sostanza contenente tra l'altro solfato di alluminio). Questi sono stati posti in un ambiente controllato a 25 °C ed è stato monitorata l'apertura del bocciolo florale misurando giornalmente il diametro del fiore fino alla massima apertura. Quindi è stato annotato il giorno in cui ogni stelo ha mostrato i primi sintomi di appassimenti.

Durante tutto il periodo di prova, in sei occasioni, sono state valutate tutte la parcelle per quanto riguarda le infezioni fungine, in particolare da oidio (*Podosphaera pannosa*). La valutazione è stata compiuta tenendo in considerazione il numero germogli colpiti e il livello di estensione della patologia sulla foglia. La scala usata è stata variata da 0 a 5 attribuendo a 0 l'assenza di infezione e 5 infezione diffusa con copertura di più del 50% di almeno una foglia.

Per valutare l'effettivo assorbimento di Si da parte delle piante, ad un mese dalla conclusione della prova è stata eseguita una analisi fogliare per la determinazione del contenuto in Si, P e Mn. Per ogni parcella sono state prelevate cinque foglie, scegliendo l'ultima foglia completa (composta da cinque foglioline) di steli con boccioli formati (di diametro di circa 0.7 cm). Successivamente le foglie sono state poste in stufa (a 105 °C) per 48 ore; il materiale è stato quindi macinato. Per le analisi è stata adottata la metodica di Zancan et al. (2006). In breve, una aliquota di 1 g di campione è stato posto in muffola (a 550 °C), previa bruciatura iniziale in fornellino per evitare la dispersione del materiale al momento della combustione in muffola, per altre 6 ore. Le ceneri sono state successivamente solubilizzate in 5 ml di acido cloridrico super puro e diluito con acqua demineralizzata fino ad ottenere un volume finale di in 45 ml. Infine i campioni sono stati analizzati con spettrofotometro ad emissione ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spettroscopy) SPECTRO CIROS (della Spettro Italia S.r.l). Tutti i dati raccolti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) e le medie separate tramite il test di Tukey.

3. RISULTATI

L'analisi della varianza condotta sui dati di produzione media settimanale è riportata in tabella 5. Da questa si evince un diverso comportamento varietale nei riguardi di questo parametro, mentre l'effetto principale dei trattamenti è risultato di rado significativo. In più occasioni, invece, è risultata significativa l'interazione dei due fattori principali.

Il sistema di produzione con polmone, adottato in azienda, è caratterizzato da produzione continua, diversamente dai sistemi di produzione a flussi successivi, magari programmati, tipici della rosicoltura tradizionale oramai abbandonati a seguito dell'introduzione dei sistemi di coltivazione in fuorisuolo. La figura 2 mostra comunque una variazione settimanale della produzione con "volate" spesso non tra le due varietà. Nelle 19 settimane di raccolta, infatti, le differenze sono risultate significative ben 13 volte, con le maggiori produzioni equamente divise tra le due varietà. Le produzioni sono variate da un minimo di 0.07 ad un massimo di 0.78 steli per pianta per la varietà Free Spirit e da 0.03 a 0.93 steli per pianta per "Sanremo".

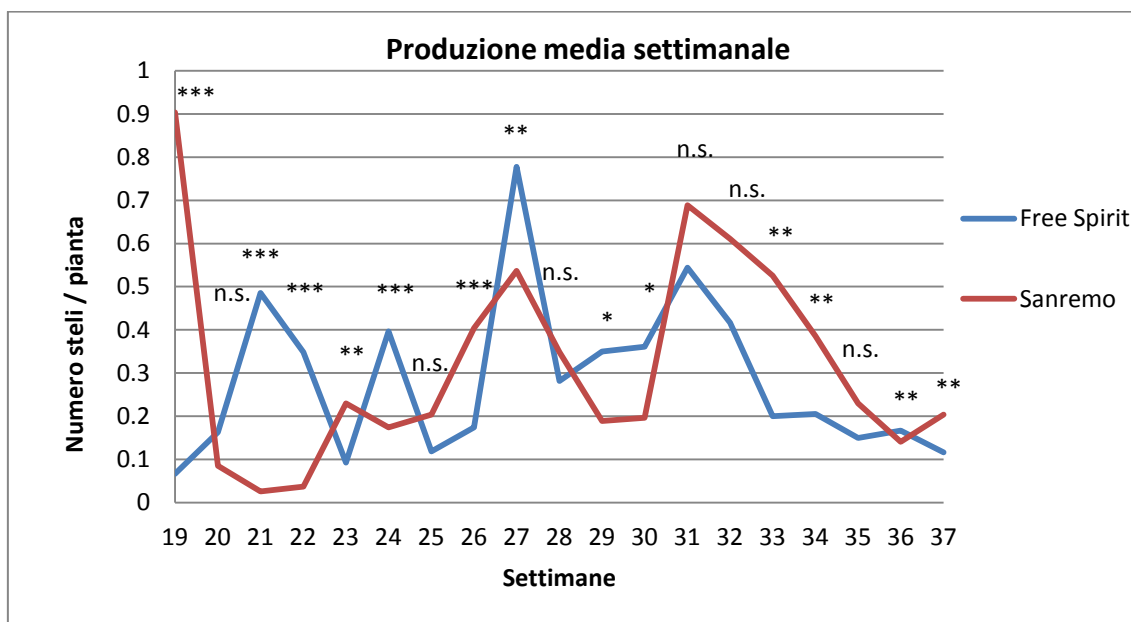


Figura 2. Produzione media settimanale delle due varietà, durante la sperimentazione. *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05$, 0.01 , 0.001 . (Test di Tukey). n.s. = non significativo

Tabella 5. Produzione di steli: tabella dell'analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Settimana (steli/pianta)									
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Free Spirit	Si0	0.067	0.144	0.522	0.344	0.078	0.389	0.133	0.156	0.656	0.311
	Si1	0.078	0.200	0.511	0.344	0.122	0.511	0.100	0.156	0.811	0.244
	Si2	0.056	0.144	0.422	0.356	0.078	0.289	0.122	0.211	0.867	0.289
Sanremo	Si0	0.933	0.089	0.022	0.044	0.144	0.211	0.211	0.344	0.633	0.467
	Si1	0.922	0.100	0.011	0.011	0.222	0.100	0.211	0.489	0.578	0.300
	Si2	0.856	0.067	0.044	0.056	0.322	0.211	0.189	0.378	0.400	0.278
significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	***	n.s.	***	***	**	***	n.s.	***	**	n.s.
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.

Varietà	Trattamento	Settimana (steli/pianta)								
		29	30	31	32	33	34	35	36	37
Free Spirit	Si0	0.300	0.267	0.367	0.450	0.200	0.200	0.100	0.183	0.067
	Si1	0.433	0.433	0.717	0.467	0.200	0.150	0.117	0.150	0.117
	Si2	0.317	0.383	0.550	0.333	0.200	0.267	0.233	0.167	0.167
Sanremo	Si0	0.200	0.167	0.733	0.578	0.600	0.600	0.222	0.211	0.167
	Si1	0.189	0.167	0.611	0.767	0.544	0.289	0.278	0.122	0.111
	Si2	0.178	0.256	0.722	0.489	0.433	0.267	0.189	0.089	0.333
significatività	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	**
	Varietà	*	*	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	**
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.

[^] = *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$. (Test di Tukey). n.s. = non significativo

In figura 5 vengono riportati gli istogrammi di produzione delle settimane con interazioni significative tra varietà e trattamento.

Durante la settimana 23 (Fig. 3 e Tab. 5), nella varietà Free Spirit non sono state osservate differenze dovute al trattamento con silicio con la produzione, in media, 0.093 steli/pianta. La varietà Sanremo, invece, ha mostrato di rispondere al trattamento e, con la concentrazione più elevata di Si, si è ottenuto un significativo maggior numero di steli rispetto al testimone (0.32 vs 0.14 steli/pianta).

La settimana successiva, la 24, si è avuta una produzione leggermente più elevata. In questo caso, però, è stata la varietà Sanremo a non mostrare un effetto significativo dei trattamenti (in media 0.17 steli/pianta) mentre, in termini assoluti, la tesi con 1.8 mM ha permesso di produrre un maggior numero di steli rispetto a quella con 3.6 mM (0.51 vs .0.29 steli/pianta) (Fig. 3 e Tab. 5).

Nella settimana 27 la risposta delle piante è nuovamente cambiata. Tendenzialmente, all'aumentare della concentrazione di Si, la produzione è aumentata per "Free Spirit" mentre è diminuita per "Sanremo" (Fig. 3 e Tab. 5). Le uniche differenze significative, comunque, si sono osservate a 3.6 mM di Si, in quanto a questa concentrazione si è avuta la maggior produzione di "Free Spirit" (0.87 steli/vaso) e la minore di "Sanremo" (0.40 steli/pianta).

Nella settimana 34, poi, la produzione ottenuta per "Free Spirit" è risultata indipendente dal trattamento (in media 0.21 steli/vaso) mentre per "Sanremo", l'aggiunta di Si è stata apparentemente negativa e, infatti, in assenza di Si nella soluzione sono stati ottenuti 0.6 steli/pianta mentre con il Si la produzione è stata circa dimezzata (-53.7% nella media delle due concentrazioni) (Fig. 4 e Tab. 5).

Infine, nella settimana 37, nuovamente la varietà Free Spirit non è stata influenzata dal trattamento, seppure si sia osservato un tendenziale aumento delle produzioni, mentre per "Sanremo", contrariamente a quanto visto nella settimana 34, con 3.6 mM di Si si è avuto un raddoppiamento delle produzioni (0.33 vs, 0.17 steli/vaso) (Fig. 4 e Tab. 5).

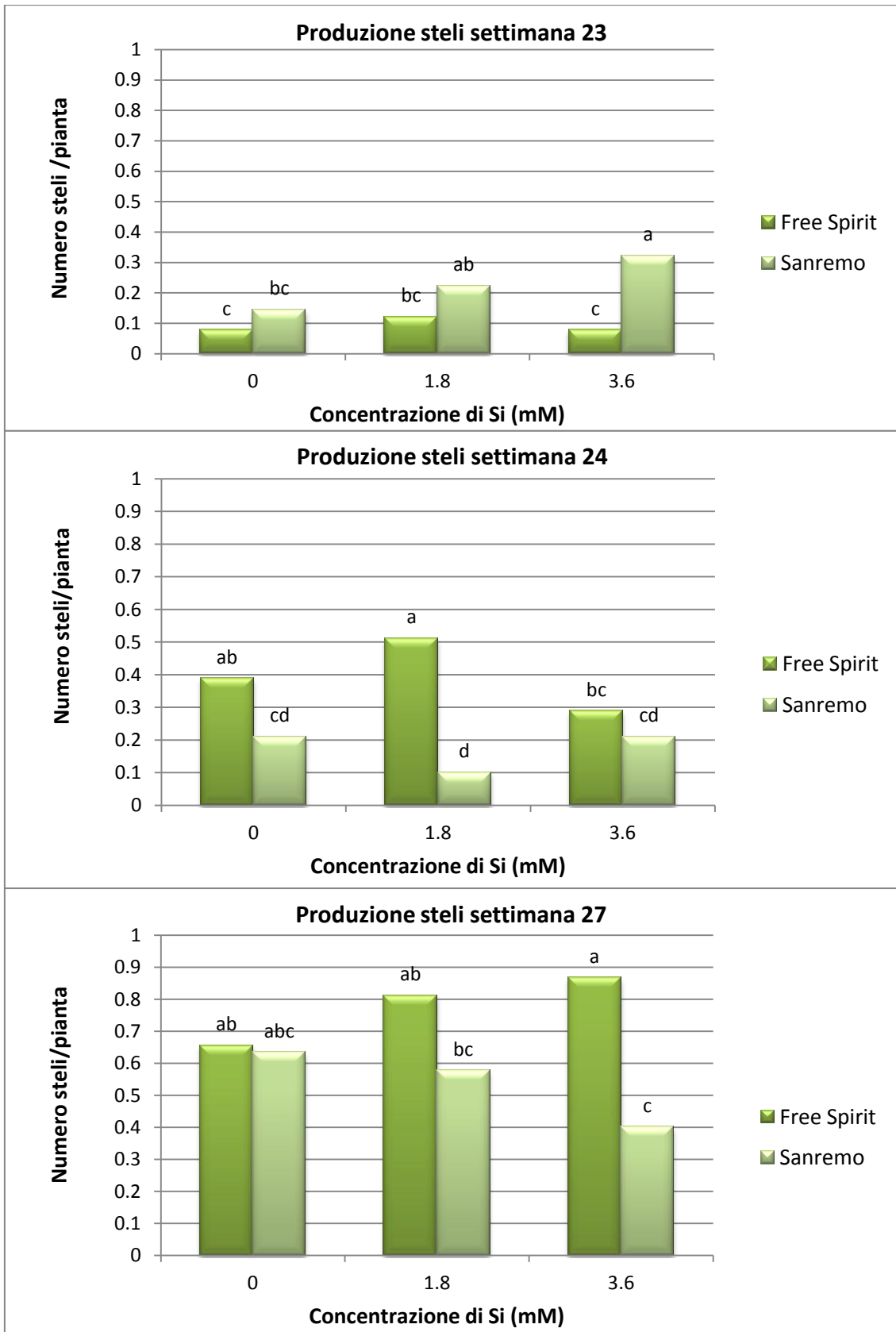


Figura 3. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul numero di steli per pianta, nelle settimane 23, 24 e 27.

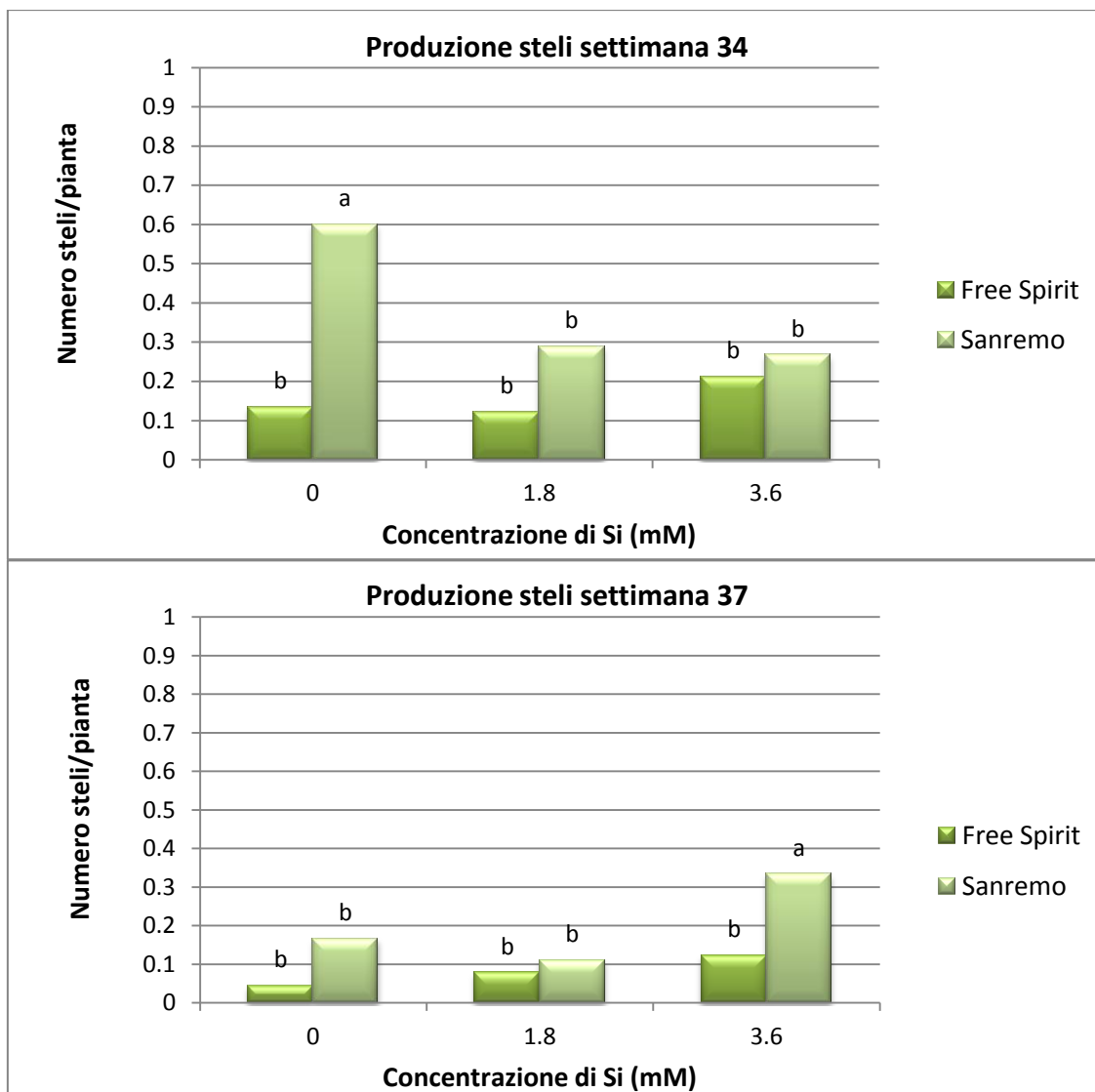


Figura 4. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul numero di steli per pianta, nelle settimane 34 e 37.

In figura 5 viene riportata la produzione cumulata alla fine della prova. La produttività delle due varietà è stata significativamente diversa: 4.58 contro 6.12 steli/pianta, rispettivamente per “Free Spirit” e “Sanremo”, equivalenti a 36.6 e 48.9 steli/m². Relativamente ai trattamenti, leggermente maggiore è stata la produzione con la tesi 1.8 e 3.6 mM e di Si nel caso di “Free Spirit”, mentre è stata tendenzialmente decrescente, all’aumentare della concentrazione di Si, per “Sanremo”. Le differenze, comunque, dal punto di vista statistico non sono risultate significative.

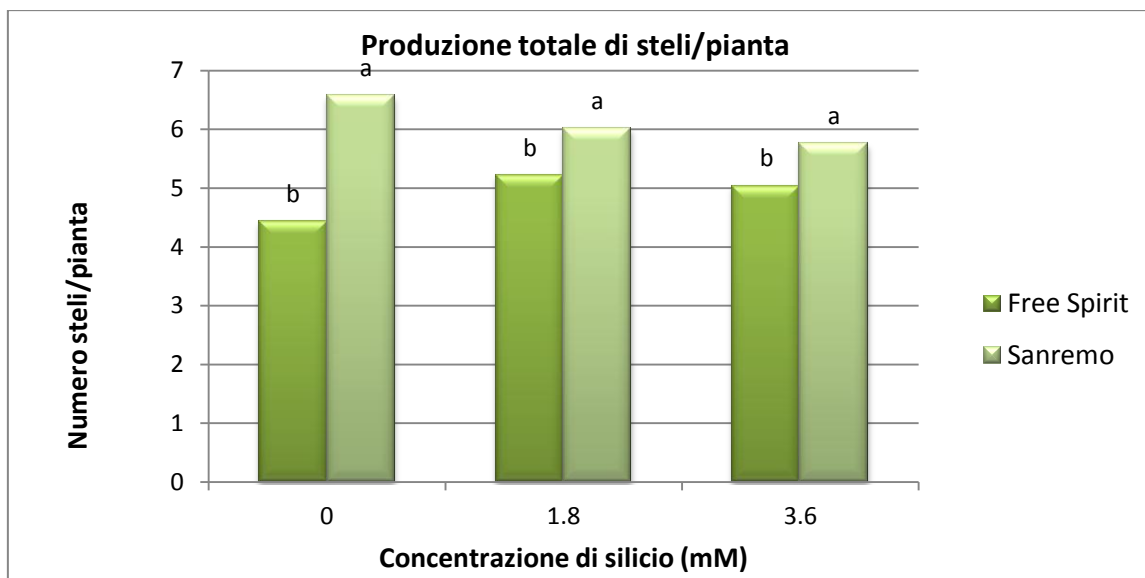


Figura 5. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sulla produzione totale di steli per pianta.

Per quanto riguarda la lunghezza degli steli (Tab. 6), le uniche differenze osservate sono inerenti le varietà. Come si nota in figura 6, gli steli di “Free Spirit” sono più corti di quelli di “Sanremo”. Nel complesso della produzione, infatti, la lunghezza degli steli di “Free Spirit” è stata di 42.7 cm contro i 45.3 cm di “Sanremo”. Anche nei valori medi di produzione totale non è stato osservato un effetto significativo dei trattamenti con Si, anche se tendenzialmente con 1.8 mM di Si, in “Sanremo”, gli steli sono stati più lunghi rispetto al testimone (Fig. 7).

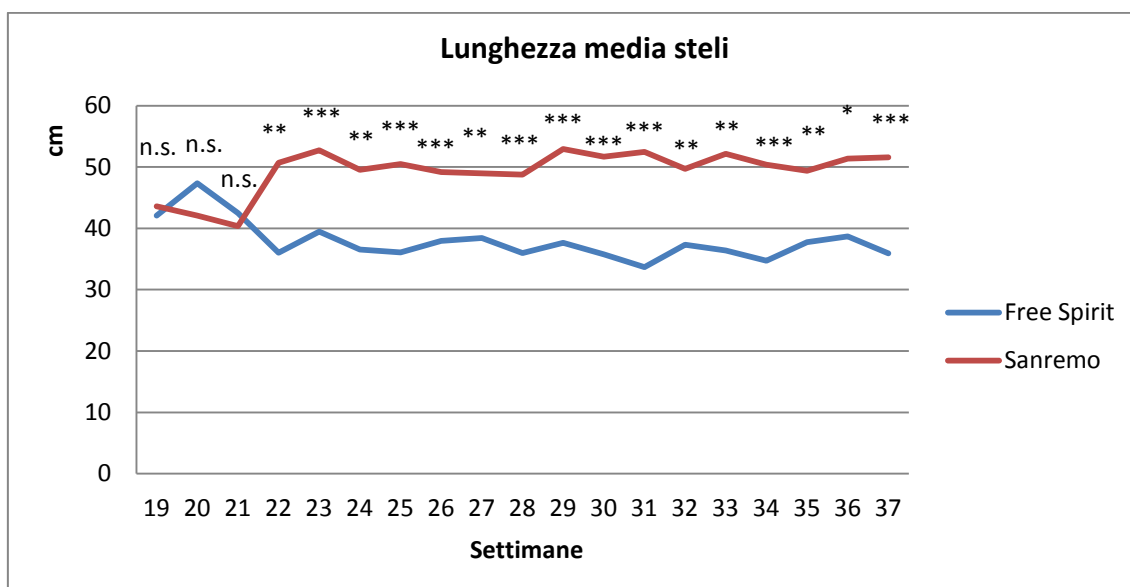


Figura 6. Lunghezza media steli delle due varietà, durante la prova. *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05$, 0.01 , 0.001 (Test di Tukey). n.s. = non significativo.

Tabella 6. Lunghezza degli steli: tabella dell'analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Settimana (cm)									
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Free Spirit	Si0	44.0	48.8	45.0	35.8	38.6	36.2	40.5	37.5	43.2	34.5
	Si1	41.6	47.1	40.3	35.5	39.3	37.5	36.2	40.5	36.1	36.3
	Si2	40.0	46.1	42.3	36.8	40.7	35.9	33.1	35.8	36.0	37.1
Sanremo	Si0	42.3	47.2	42.5	48.8	50.1	53.6	51.7	49.7	48.4	49.1
	Si1	44.3	41.4	40.6	54.0	55.8	46.2	49.7	49.8	48.1	49.1
	Si2	44.3	37.7	36.0	51.9	52.3	48.9	50.0	48.0	50.4	48.2
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	n.s.	n.s.	n.s.	**	***	**	***	***	**	***
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Varietà	Trattamento	Settimana (cm)								
		29	30	31	32	33	34	35	36	37
Free Spirit	Si0	36.7	35.6	35.2	37.8	36.6	34.7	35.6	38.6	36.3
	Si1	37.9	35.1	33.0	37.6	36.4	34.1	40.4	38.2	35.4
	Si2	38.4	36.7	32.0	36.7	36.2	35.5	37.3	39.2	36.1
Sanremo	Si0	49.2	52.1	50.1	51.1	53.0	52.2	52.2	51.0	53.3
	Si1	56.0	49.7	53.1	48.9	52.5	49.1	50.5	55.2	48.2
	Si2	53.7	53.2	54.2	49.2	51.0	50.0	45.5	46.2	53.3
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	***	***	***	**	**	***	**	*	***
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

[^] = *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$. (Test di Tukey). n.s. = non significativo

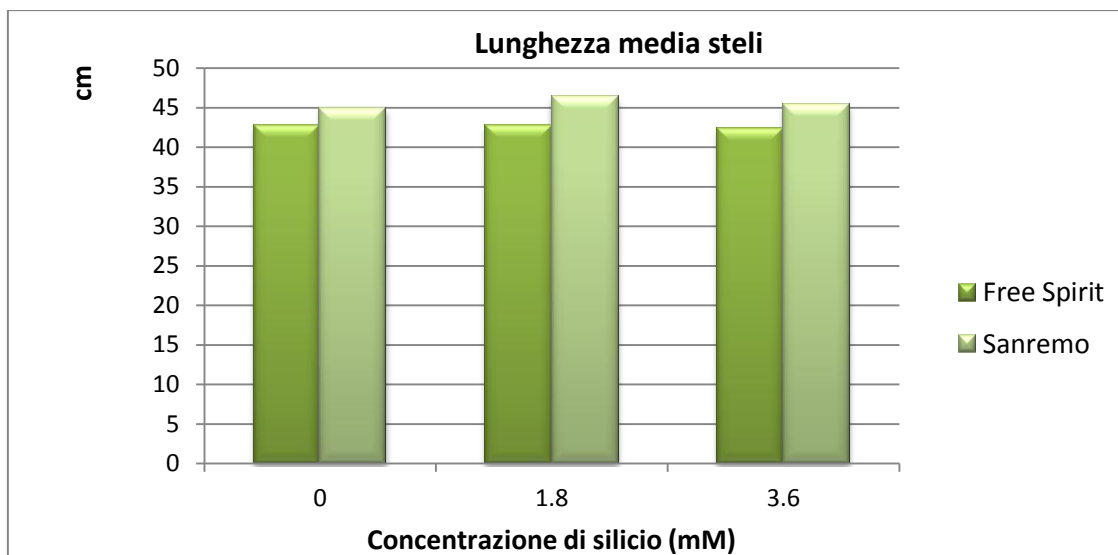


Figura 7. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sulla lunghezza media degli steli.

In tabella 7 vengono riportati i dati rilevati riguardanti il diametro della base dello stelo, misurato 1 cm sopra il punto di taglio. Le differenze delle varietà sono chiaramente riportate in figura 8 dalla quale emerge come, per la maggior parte della prova, “Sanremo” abbia prodotto fiori con stelo più spesso alla base rispetto a “Free Spirit”. In due occasioni sono state riscontrate degli effetti di interazione varietà per trattamento (Fig. 9 e Tab. 7). Emerge che, nella settimana 20, i trattamenti non hanno influito su questo parametro nella varietà Sanremo, mentre la presenza di Si ha condizionato negativamente il diametro alla base dello stelo nella varietà Free Spirit. Diversamente, nella settimana 35 delle differenze sono state rilevate in Sanremo, con i valori più elevati in assoluto in corrispondenza della concentrazione 1.8 mM di Si e quelli più bassi con 3.6 mM di Si. Le differenze, comunque, seppur esigue, si sono cumulate tanto che i valori medi sull’intera produzione hanno evidenziato un effetto di interazione. In figura 10 si nota una tendenziale diminuzione dei valori nel caso di “Free Spirit” e un aumento in “Sanremo”. Statisticamente, “Free Spirit” allevata con 3.6 mM di Si ha dato valori minori a quelli di “Sanremo” allevata alla stessa concentrazione.

Tabella 7. Diametro alla base degli steli: tabella dell'analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Settimana (mm)									
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Free Spirit	Si0	6.0	8.2	6.4	5.6	5.7	4.8	6.0	5.7	5.1	4.9
	Si1	5.6	6.2	6.0	5.2	6.0	5.1	5.2	6.0	5.3	5.1
	Si2	6.1	6.1	6.0	5.7	6.5	5.1	5.5	6.6	5.2	4.9
Sanremo	Si0	6.9	7.5	7.8	7.3	8.6	8.0	8.0	7.5	6.7	7.1
	Si1	7.3	6.7	6.1	10.1	8.8	6.5	8.2	7.1	6.8	7.3
	Si2	7.0	7.2	6.0	8.3	8.3	7.2	7.4	6.9	6.6	8.3
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	***	n.s.	n.s.	**	***	***	***	*	***	***
	Tratt x Var	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Varietà	Trattamento	Settimana (mm)								
		29	30	31	32	33	34	35	36	37
Free Spirit	Si0	4.8	4.9	4.9	5.2	4.9	4.8	5.0	4.8	4.5
	Si1	4.6	4.7	4.7	5.0	4.5	5.1	5.2	4.7	4.9
	Si2	4.9	5.3	4.6	5.0	4.8	4.7	4.4	4.7	4.9
Sanremo	Si0	6.8	7.3	6.7	6.2	6.8	6.3	6.1	6.3	6.9
	Si1	8.0	6.7	7.4	6.0	6.7	5.8	6.4	6.6	5.9
	Si2	8.6	7.1	7.5	6.4	6.2	6.3	5.4	6.2	6.8
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	***	***	***	*	***	***	**	***	***
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

[^] = *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$ (Test di Tukey). n.s. = non significativo

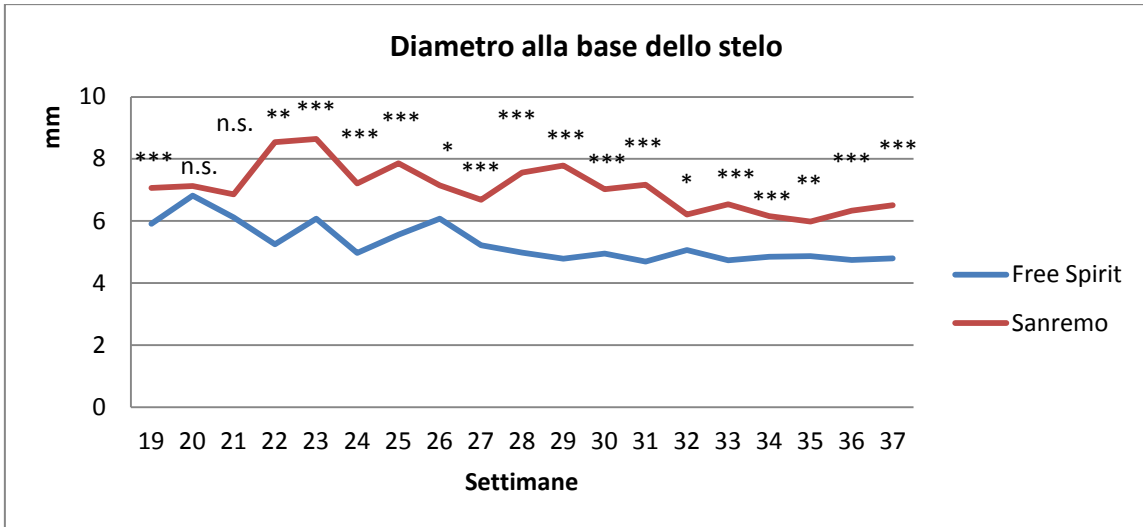


Figura 8. Diametro alla base degli steli delle due varietà, durante la prova. *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05$, 0.01 , 0.001 (Test di Tukey). n.s. = non significativo

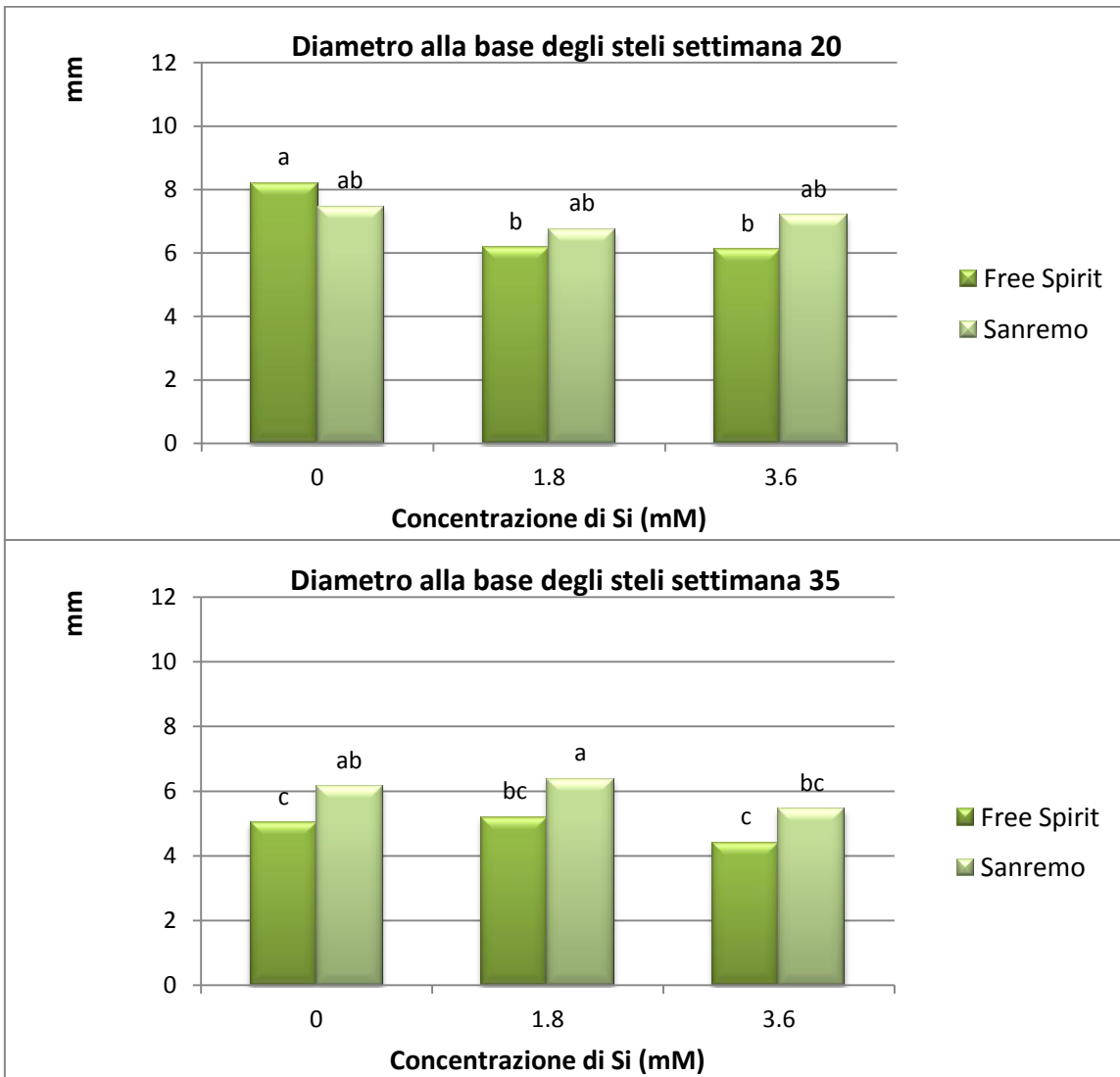


Figura 9. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul diametro alla base degli steli settimane 30 e 35.

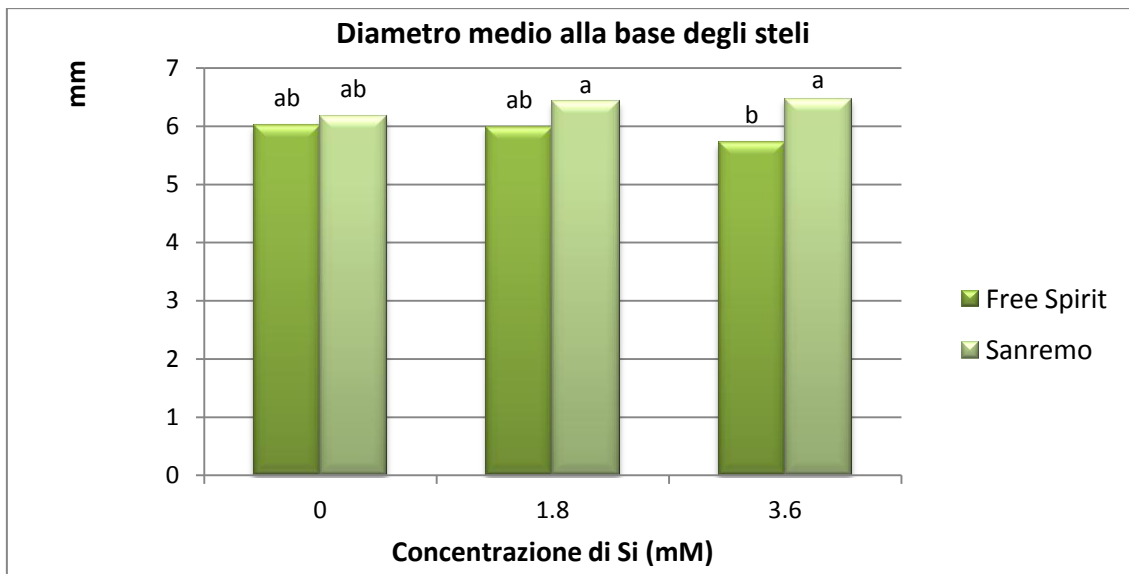


Figura 10. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul diametro medio alla base degli steli.

I dati rilevati del diametro misurato sotto il bocciolo (Tab. 8) mostrano un’assenza di effetto dei trattamenti e, in questa occasione, anche scarse differenze tra le due varietà. In 4 dei 5 casi in cui si sono osservate delle differenze gli steli con il maggior diametro sotto il bocciolo sono stati prodotti dalla varietà Sanremo. Nuovamente, nella media di tutta la produzione, “Free Spirit” ha mostrato valori tendenzialmente decrescenti al contrario della varietà Sanremo, con le uniche differenze significative in assenza di Silicio, in corrispondenza della quale “Free Spirit” ha presentato valori superiori a “Sanremo” (Fig. 11).

Tabella 8. Diametro dello stelo sotto il bocciolo: tabella dell'analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Settimana (mm)									
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Free Spirit	Si0	5.3	4.8	5.5	4.8	4.9	4.5	4.9	3.9	4.5	4.4
	Si1	5.2	5.0	5.4	4.8	5.1	4.7	4.5	4.2	4.3	4.3
	Si2	5.1	5.4	5.1	4.9	5.3	4.6	4.4	3.8	4.2	4.1
Sanremo	Si0	4.8	5.2	5.8	5.4	5.3	5.4	5.0	3.9	3.9	4.4
	Si1	5.3	5.3	5.1	6.0	5.7	5.0	4.5	3.9	3.9	4.5
	Si2	5.2	5.2	4.7	5.5	5.6	5.1	4.4	3.9	3.8	4.9
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s..	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	n.s.	n.s.	n.s.	*	**	***	n.s.	n.s.	*	*
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Varietà	Trattamento	Settimana (mm)								
		29	30	31	32	33	34	35	36	37
Free Spirit	Si0	4.2	4.1	3.8	3.9	3.4	3.7	3.6	4.2	3.9
	Si1	4.1	4.2	3.9	3.6	3.8	4.0	4.0	4.0	3.8
	Si2	4.7	4.2	3.5	3.6	3.5	3.8	3.9	3.8	4.4
Sanremo	Si0	4.2	4.2	4.6	3.4	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1
	Si1	4.2	3.8	4.0	3.6	3.6	3.8	4.1	4.3	4.0
	Si2	3.8	3.7	4.0	3.5	3.6	4.0	3.6	4.2	4.1
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

[^] = *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$ (Test di Tukey). n.s. = non significativo

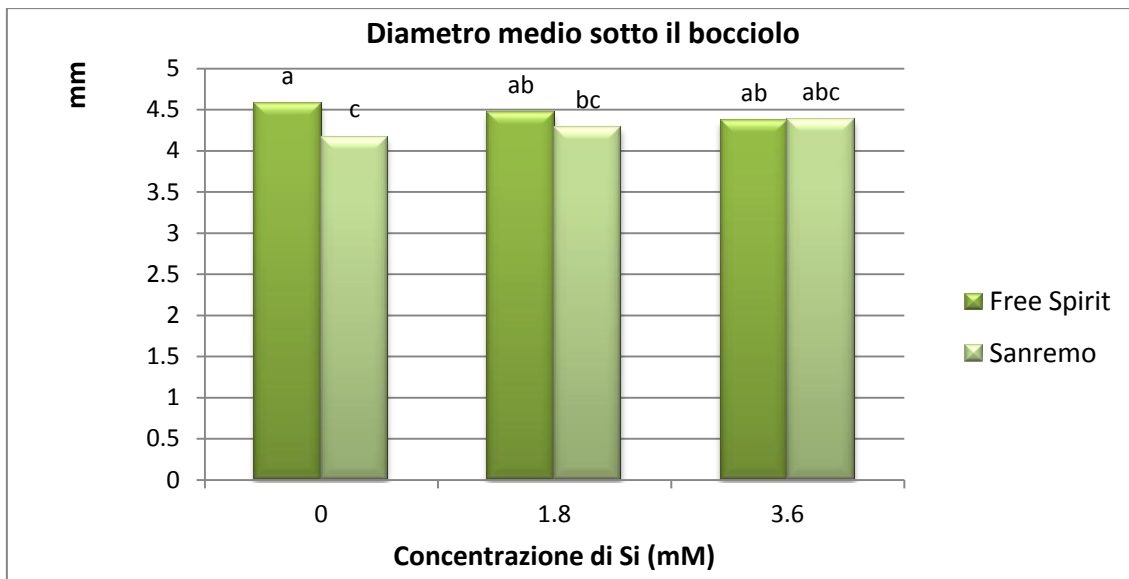


Figura 11. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul diametro medio degli steli sotto il bocciolo.

In tabella 9 sono riportati i dati rilevati del diametro dei boccioli nelle varie tesi. L’analisi statistica di questi ha messo in evidenza differenze statisticamente significative per le varietà in 13 rilievi su 19. I boccioli più piccoli (Fig. 12) sono spesso ottenuti in “Free Spirit”. Nelle settimane 23, 29, 31 e 32, inoltre, sono risultate significative le interazioni. Nelle settimane 23 e 29 tali differenze sono state evidenziate nella figura 13. Dai grafici si nota una netta differenza tra le due varietà, il diametro del bocciolo è stato nettamente maggiore in “Sanremo”.

Nelle settimane 23 e 29 si può osservare che, rispetto al trattamento testimone, l’applicazione delle due dosi di silicio non ha modificato il comportamento della pianta per questo parametro in “Free Spirit”. In “Sanremo”, invece, con 1.8 mM di Si si è ottenuto, in entrambe le settimane, i valori più elevati in assoluto, superiori rispetto al testimone solamente nella settimana 23.

Alla settimana 31, a parte le differenze sempre significative tra le due varietà, l’unica differenza osservata riguarda il diametro del bocciolo della varietà Free Spirit che è risultato più piccolo con 3.6 mM che con 1.8 mM di Si. Infine, alle settimana 32, con 3.6 mM di silicio si sono avuti valori più bassi rispetto al testimone nel caso della varietà Sanremo, mentre la diminuzione è risultata significativa già a 1.8 mM, in “Free Spirit” (Fig. 14).

In definitiva, comunque, nella media dell’intera produzione (Fig. 15) le uniche differenze riscontrate sono quelle dovute alle tesi.

Tabella 9. Diametro del bocciolo: tabella dell'analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Settimana (mm)									
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Free Spirit	Si0	32.2	29.3	27.9	28.7	29.4	27.6	26.3	24.2	23.9	23.4
	Si1	30.8	27.5	28.1	28.9	28.5	28.1	26.3	24.9	24.2	24.3
	Si2	33.6	29.6	27.7	28.8	31.2	27.9	25.7	24.1	23.7	23.9
Sanremo	Si0	41.5	38.6	35.5	37.4	37.2	37.3	31.5	30.9	31.0	32.2
	Si1	41.0	37.0	34.5	38.9	39.4	35.3	31.6	31.0	31.1	31.8
	Si2	41.6	37.0	33.2	36.2	38.4	36.7	31.0	30.8	31.1	33.3
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s..	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	n.s.	n.s.	n.s.	*	**	***	n.s.	n.s.	*	*
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Varietà	Trattamento	Settimana (mm)								
		29	30	31	32	33	34	35	36	37
Free Spirit	Si0	23.0	22.5	21.1	22.2	21.0	21.3	21.8	22.9	22.1
	Si1	23.7	23.3	21.6	21.0	21.4	22.8	22.7	23.7	21.4
	Si2	24.6	23.5	20.1	20.9	21.4	21.7	21.9	22.6	22.2
Sanremo	Si0	30.4	28.4	27.2	26.9	27.0	28.1	28.0	29.3	31.5
	Si1	32.3	29.3	27.1	25.8	26.7	27.8	26.3	28.8	30.8
	Si2	29.2	27.2	26.5	24.0	27.0	28.2	26.3	27.8	30.1
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	***	***	***	***	***	***	*	***	***
	Tratt x Var	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

[^] = *, **, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$ (Test di Tukey). n.s. = non significativo

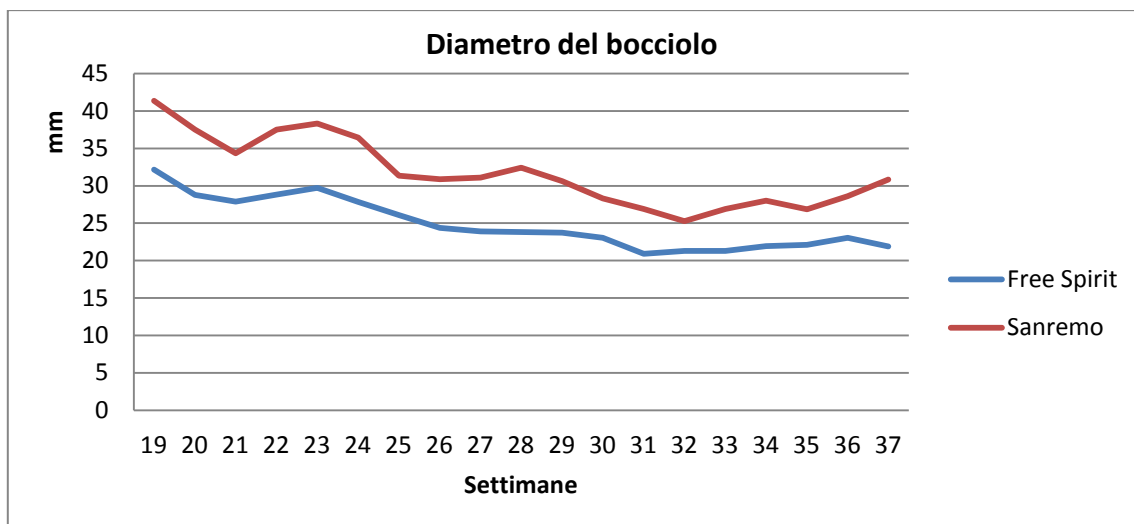


Figura 12. Diametro dei boccioli delle due varietà, durante la prova.

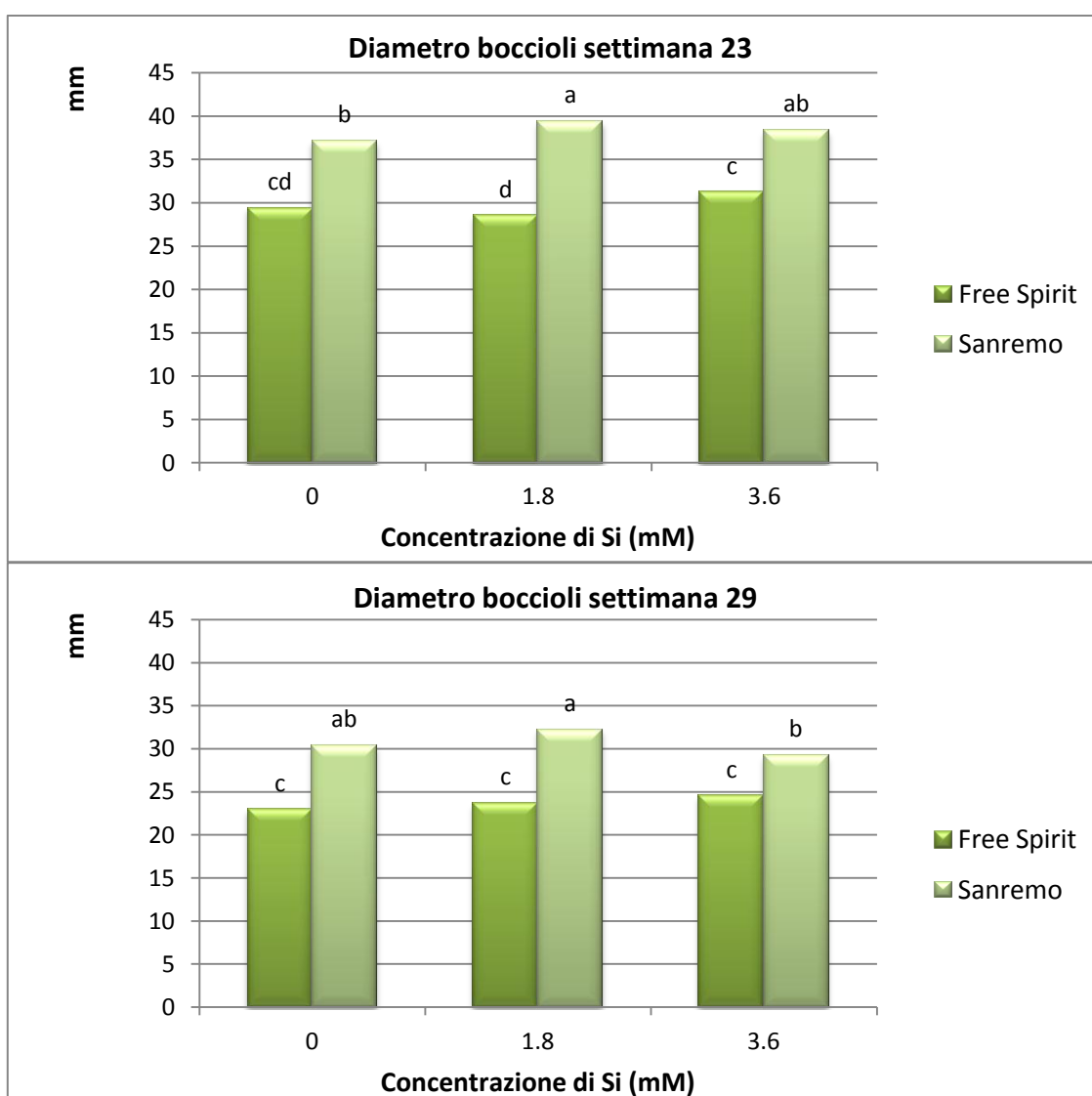


Figura 13. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul diametro dei boccioli nelle settimane 23 e 29.

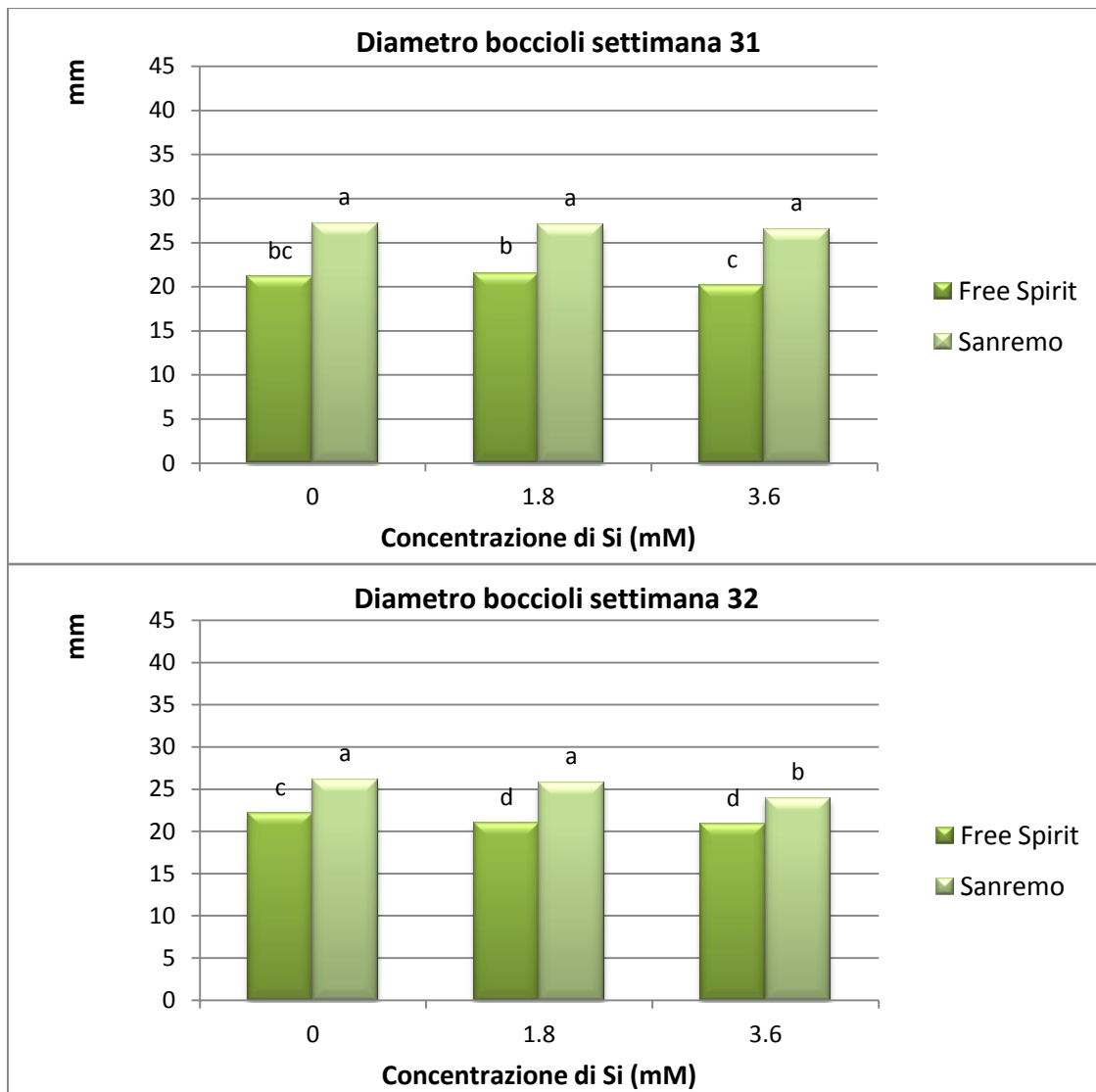


Figura 14. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul diametro dei boccioli nelle settimane 31 e 32.

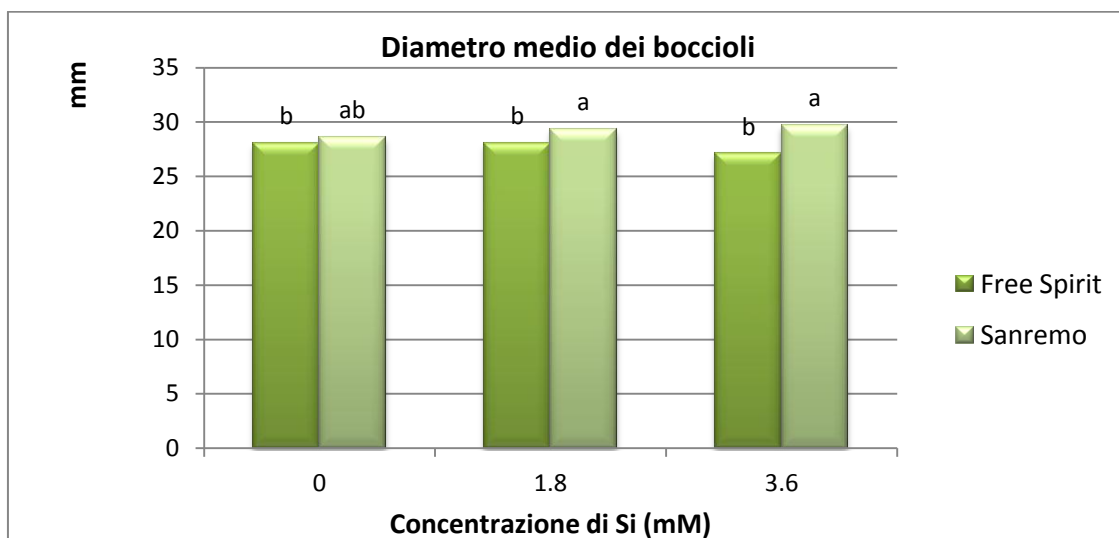


Figura 15. Effetto di interazione “trattamento × varietà” sul diametro medio dei boccioli.

Per quanto riguarda la risposta delle piante in termini di contenimento delle infezioni fungine, durante la prova sono stati osservati solamente attacchi di oidio. I sei rilievi condotti hanno talora mostrato una maggiore sensibilità a questo fungo patogeno da parte della varietà “Free Spirit”. Non è stato, invece, osservato alcun effetto del trattamento (Tab. 10).

Tabella 10. Analisi del livello di infezione dell’oidio: tabella dell’analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Livello infestazione oidio					
		03/05	24/05	01/07	14/07	14/08	29/09
Free Spirit	Si0	2.3	3.8	2.5	3.0	2.2	2.3
	Si1	4.0	4.3	2.0	4.2	2.2	1.9
	Si2	4.0	4.0	2.3	3.0	2.3	2.6
Sanremo	Si0	0.7	1.2	2.2	2.5	2.5	1.2
	Si1	1.3	1.0	1.7	2.0	2.5	1.8
	Si2	0.7	0.8	1.2	1.3	2.8	1.0
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	***	***	n.s.	*	n.s.	n.s.
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

[^] = *, *** significatività rispettivamente con $P \leq 0.05$ e 0.001 . (Test di Tukey). n.s.=non significativo

Relativamente alla prova di conservazione post-raccolta degli steli, in tabella 11 vengono riportati i rilievi ottenuti con materiale vegetale prelevato tre settimane dalla fine della prova. Il diametro massimo dei fiori di rosa è stato, ancora una volta, influenzato solamente dalla varietà con fiori più larghi in “Free Spirit” rispetto a “Sanremo” (in media 77.4 contro 57.0 mm). La durata del fiore, invece, non è stata diversa nemmeno nelle due varietà e, in media, si è attestata sui 11.2 giorni.

Tabella 11. Durata degli steli recisi: tabella dell’analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Shelf life fiore reciso	
		Massima apertura fiorale (mm)	Durata stelo reciso (giorni)
Free Spirit	Si0	75.5	9.9
	Si1	79.5	10.0
	Si2	77.1	9.8
Sanremo	Si0	59.3	12.3
	Si1	56.7	12.4
	Si2	54.9	12.5
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.
	Varietà	***	n.s.
	Tratt x Var	n.s.	n.s.

[^] = *** = significatività per $P \leq 0.001$ (Test di Tukey). n.s.= non significativo

In tabella 12 vengono infine riportate le concentrazioni nei tessuti fogliari di tre elementi: il silicio, elemento somministrato nella prova, il fosforo e il manganese, elementi che interagiscono con all'assorbimento di questi. Per quanto riguarda il silicio, in "Free Spirit" si è notato un tendenziale aumento del suo contenuto, sebbene non sia risultato statisticamente significativo; il fosforo invece è sembrato diminuire con 1.8 mM più che 3.6 mM di Si, mentre per il manganese si è verificato l'effetto opposto ovvero un incremento con 1.8 mM di Si maggiore che con 3.6 mM. Per quanto riguarda le varietà, Sanremo ha presentato un significativo maggior contenuto di manganese rispetto a "Free Spirit". Non sono, invece, state riscontrate differenze statisticamente significative né di silicio né di fosforo.

Tabella 12. Concentrazione fogliare di silicio, fosforo e manganese: tabella dell'analisi della varianza.

Varietà	Trattamento	Concentrazione ($\mu\text{g/g s.s.}$)		
		Silicio	Fosforo	Manganese
Free Spirit	Si0	241	2392	341
	Si1	258	2058	270
	Si2	264	2378	261
Sanremo	Si0	262	2467	418
	Si1	287	2117	375
	Si2	277	2130	503
Significatività [^]	Trattamento	n.s.	n.s.	n.s.
	Varietà	n.s.	n.s.	**
	Tratt x Var	n.s.	n.s.	n.s.

[^] = ** = significatività per $P \leq 0.01$ (Test di Tukey). n.s.= non significativo

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.

Dai risultati ottenuti in oltre cinque mesi di prova, non emergono, salvo alcuni casi, differenze statisticamente significative dovute ai trattamenti. Secondo la sperimentazione condotta da Mattson e Leatherwood (2010), la risposta produttiva di piante annuali da fiore, coltivate in vaso, dell'apporto di silicio a livello radicale, è fortemente influenzata dalla specie e, spesso, anche dalla varietà. Solamente metà delle specie considerate hanno riportato incrementi del contenuto di silicio a livello tissutale, e ancor meno sono state le specie che hanno risposto positivamente all'apporto di silicio. Tra queste begonia (*Begonia x tuberhybrida*), calibrachoa (*Calibrachoa x hibryda*), impatiens (*Impatiens walleriana*), geranio edera (*Pelargonium peltatum*), geranio edera, geranio zonale (*Pelargonium hortorum*) e vinca variegata (*Vinca major*) per le quali è migliorato ad esempio l'altezza della pianta, il diametro del fiore o lo spessore fogliare. Altre, addirittura, hanno visto peggiorato il loro accrescimento come ad esempio bacopa (*Sutera grandiflora*) che ha visto ridursi il diametro del fiore, o Nuova Guinea (*Impatiens Nuova Guinea*) e portulaca (*Portulaca grandiflora*) per le quali si è ridotto lo spessore fogliare. E' bene comunque evidenziare che gli studi condotti sono stati eseguiti su piante annuali erbacee e a partire da giovani plantule e si è protratto per tutto il ciclo produzione che è stato di 67 giorni.

Su rosa, studi condotti da Gillman e Zlesak (2000) su tipologie miniatura, hanno invece evidenziato una risposta positiva di questa specie alla somministrazione di silicio in termini di accrescimento radicale. Anche in questo caso, però, si è operato su giovani piante o, meglio, su talee non ancora radicate. Inoltre, il silicio è stato somministrato come silicato di sodio e per via fogliare, tramite mist. Nella presente sperimentazione, invece, la prova è stata condotta su piante che avevano già due anni, con un apparato radicale formato che, verosimilmente, sono meno reattive ai trattamenti.

Anche per quanto riguarda la risposta difensiva della pianta agli attacchi fungini, in particolare *Podosphaera pannosa*, non sono state evidenziate differenze significative dovute ai trattamenti. Gli studi condotti da Shetty *et al.* (2012) hanno invece riportato di fenomeni di aumento della resistenza della pianta ad attacchi fungini a seguito di apporti, tramite fertirrigazione, di silicato di potassio. Anche in questo caso tuttavia la sperimentazione è stata condotta su rose miniatura, quindi piante molto giovani, poco lignificate e molto reattive ai trattamenti. Inoltre l'attacco fungino è stato indotto

mediante inoculo, mentre nel nostro caso sono state valutate le risposte difensive ad attacchi fungini spontanei. Infine va sottolineato che nello studio di Shetty e collaboratori oltre al silicio, i trattamenti hanno variato anche il contenuto di potassio (catione che accompagna l'anione silicato). Seppure i quantitativi di potassio apportati siano stati bassi, anche la maggiore disponibilità di questo elemento può aver contribuito ad incrementare le risposte difensive della pianta (Mengel e Kirkby, 1987). Nella nostra prova, invece, le soluzioni nutritive sono state bilanciate per cui tutti gli elementi nutritivi, escluso il silicio, sono stati somministrati alla medesima concentrazione.

La durata della conservazione degli steli in post-raccolta non ha dato risultati statisticamente significativi, dimostrando che tale elemento non sembra influenzare nemmeno i fenomeni di senescenza fiorale.

Infine, osservando l'accumulo di silicio a livello fogliare, si può notare come vi sia stato un tendenziale incremento del suo contenuto nella varietà Free Spirit, sebbene non significativo. Lo stesso è stato osservato in "Sanremo", con un incremento però inferiore con 1.8 mM di Si rispetto alle 3.6 mM. Questo sembra avvalorare la tesi che un periodo più lungo di trattamento avrebbe potuto dare risultati differenti. Se si valuta il manganese inoltre, si nota come il suo assorbimento sia stato, in entrambe le varietà, tendenzialmente diminuito, seguendo in modo opposto l'andamento dell'assorbimento del silicio. Lo stesso si può dire per il fosforo, ad eccezione di "Free Spirit" con 3.6 mM di Si, in quanto le concentrazioni, in entrambe le varietà, sono tendenzialmente aumentate alla tesi con 1.8 mM di Si. Nonostante questi dati siano esclusivamente tendenziali, e non statisticamente significativi, il fenomeno a cui si è assistito con il manganese è in accordo con quanto detto da Mengel (1987), su riso, e da Ma e Takahashi (1991), secondo cui gli apporti di silicio diminuirebbero l'assorbimento a livello radicale del manganese. Tuttavia gli stessi autori riportano un fenomeno inverso rispetto a quanto riscontrato con il fosforo.

Concludendo, l'apporto di silicio a piante di rose di due anni, delle varietà Sanremo e Free Spirit, coltivate per la produzione di fiori recisi, per un periodo maggiore di cinque mesi, non ha dato risultati statisticamente significativi né in senso produttivo (numero di steli), né in termini di qualità estrinseca (lunghezza e robustezza degli steli) e né nei riguardi della qualità intrinseca (durata e qualità della vita in vaso degli steli raccolti). Per potere esprimere un parere conclusivo sulla effettiva utilità di impiegare il silicio nella fertirrigazione delle rose, comunque, è chiaro che occorre

continuare la sperimentazione per periodi più lunghi e, ancor meglio, iniziare una nuova sperimentazione iniziando il trattamento subito dopo la messa a dimora delle piante e proseguendo per l'intera durata della coltura.

5. BIBLIOGRAFIA

- Accati Garibaldi, E. 1993. Trattato di floricoltura. Edagricole. 25-43.
- Adataia, M. H. e Besford, R. T. 1986. The effect of silicon on cucumber plants grow in recirculating nutrient solution. *Ann Bot.* 56:343-351.
- Agarie, S., Uchida, H., Qgata, W., Kubota, F., Kaufman, P.B., 1998. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Jpn. J. Crop Sci.* 1(2):89–95.
- Anderson, D.L. 1991. Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane. *Fertilizer Research.* 30:9-18.
- Baas, R., Nijssen, H.M.C., van den Berg, T.J.M., e Warmenhoven, M.G., 1995. Yield and quality of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) and gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) in a closed nutrient system as affected by sodium chloride. *Sci. Hort.* 61:273–284.
- Balasta, M. L. F. C., Perez C. M., Juliano B. O., Villareal C. P., Lott J. N. A. e Roxas D. B., 1989. Effect of silica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hull. *Can. J. bot.* 67:2356-2363.
- Belanger, R.R., Bowen, P.A., Ehret, D.L. e Menzies, J.G. 1995. Soluble silicon, its role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis.* 79:329-336.
- Bensa, S. 1986. Floricoltura industrial. Edagricole. 217-241
- Boylston, E.K. 1990. Role of silicon in developing cotton fibers. *Journal of Plant back to soil. Greenhouse Product News.* 10(13).
- Buttaro, D., Bonasia, A., Minuto, A., Serio, F. e Santamaria, P. 2009. Effect of silicon in the nutrient solution on the incidence of powdery mildew and quality traits in carosello and barattiere (*Cucumis melo* L.) grown in a soilless system. *Journal of Hort. Science & Biotech.* 84(3):300-304
- Chérif, M., Asselin, A., e Bélanger, R. R. 1994. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology* 84:236-242.
- Crippa, F. 2005. Sulla rosa fuori suolo nel Ponente Ligure : esperienze e studi. Regione Liguria.
- Datnoff, L.E., Snyder, G.H. e Korndörfer, G.H. 2001. Silicon in agriculture. Elsevier, New York.

- Emadian S. F. e Newton R. J. 1989. Growth enhancement of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. *J. Plant Physiol.* 134:98-103.
- Epstein E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 641-644.
- Epstein, E. 1993. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91:11-17
- Fauteux, F., Chain, F., Belzile, F., Menzies, J.G. e Bélanger, R.R. 2006 the protective role of silicon in the Arabidopsis-powdery mildew pathosystem. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103:17554-17559.
- Fawe, A., Abou-Zaid, M., Menzies, J. G. e Bélanger, R. R. (1998). Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins. *Biochemistry and Cell Biology.* 88:397–401.
- Fox, R.H. 1979. Soil pH, aluminium saturation, and corn grain yield. *Soil Sci.* 127:330-334.
- Gillman, J.H. e Zlesak, D.C. 2000. Applications of sodium silicate to rose (*Rosa* “Nearly Wild” cuttings decrease leaflet drop and increases rooting. *HortScience* 35(4):773.
- Gillman, J.H., Zlesak, D.C. e Smith J.A. 2003. Applications of potassium silicate decrease Black Spot Infection in *Rosa* hybrid “Meipelta” (*Fuschia* Meidiland). *HortScience* 38(6):1144-1147.
- Gottardi, S., Iacuzzo, F., Tomasi, N., Cortella, G., Manzocco, L., Pinton, R., Römheld, V., Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L. e Cesco, S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianella locusta* (L.) Laterr) plants. *Plant Physiology and Biochemistry.* 1-10.
- Hemmi, T. 1933. Experimental studies on the relation of environmental factors to the occurrence and severity of blast disease in rice plants. *Phytopath. Zeit.* 6:305–324.
- Hodson, M. J. e Sangster, A. G. 1989. X-ray microanalysis of the seminal rooster, A.G. and Parry, D.W. 1985. An ultrastructural study on the developmental phases and silicification of the glumes of *Phalaris canariensis* L. *Ann. Bot.* 55:649–665.
- Horst, W.J. e Marschner, H. 1978. Effect of silicon on manganese tolerance of beanplants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Soil* 50:287-303.

<http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/6021>

- Hwang, S.J., Hamayun, M., Kim, H.Y., Na, C.I., Kim, K.U., Shin, D.H., Kim, S.Y. e Lee, I.J. 2008. Effect of nitrogen and silicon nutrition on bioactive gibberellin and growth of rice under field conditions. *J. Crop Sci. Biotech.* 10:281-286.
- Iler, R.K. 1979. *The chemistry of silica*. Wiley Interscience. New York.
- Jones, L.H.P. e Handreck., K.A. 1967. Silica in soils, plants, and animals. In A.G. Norman (ed.) *Advances in agronomy*. Academic Press, New York. 19:107–149
- Kamenidou, S., Cavins, T. J e Marek, S. 2010. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Scientia Horticulturae*. 119:297–301.
- Kamenidou, S., Cavins, T. J. e Marek S. 2009. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Scientia Horticulturae* 119:297–301.
- Kaufman, P.B., Soni, S.L., LaCroix J.D., Rosen, J.J. e Bigelow, W.C. 1972. Electron-probe microanalysis of silicon in the epidermis of rice (*Oryza sativa* L.) internodes. *Planta*. 104(1):10-17
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons, New York. 51–54.
- Ma, J. e Takahaschi, E. 1990. Effect of silicon on the growth and Phosphorus uptake of rice. *Plant Soil*. 126:115-119.
- Ma, J., Nishimura, K. e Takahashi, E. 1988. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Sci. Plant Nutr.* 35:347-356.
- Ma, J.F. e Takahashi, E. 2002. *Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan*, 1st ed. Elsevier, Amsterdam.
- Ma, J.F. e Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 11:369-397.
- Mangel, K. e Kirkby, E.A. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. 4° edition. p 577-582.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2rd ed. Academic Press, San Diego, CA. p. 417-422.
- Matoh, T., Murara, S. e Takahashi, E. 1991 Effect of silicate application on photosynthesis of rice plant. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 62:248-251.
- Mattson, N.S. e Roland Lesterwood, W. 2010. Potassium silicate drenches increase leaf silicon content and affect morphological traits of several floriculture crops grown in a peat-based substrate. *HortScience* 45(1):43-47.

- Mengel, K. e Kirkby, E.A. 2001 Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publication, Dordrecht, The Netherlands p 577-582.
- Menzies, J.G., Ehret, D.L., Glass, A.D.M., Helmer, T., Koch, C. e Seywerd, F. 1991. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Phytopathology* 81:84–88.
- Mitani, N. e Ma, J.F. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *J. Expt. Bot.* 56:1255-1261.
- Miyake, Y. e Takahashi, E. 1983. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:71-83.
- Miyake, Y. e Takahashi, E. 1985. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31:625-636.
- Okuda, A. e Takahashi, E. 1965. The role of silicon. The mineral nutrition of the rice plant. The Johns Hopkins Press, Baltimore. 123-146.
- Perez-Alfocea, F., Balibrea, M.E., Santa Cruz, A. e Estan, M.T. 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant Soil.* 180:251-257.
- Raid, R.N. Anderson, D.L. e Ulloa, M.F. 1992. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium slag on foliar disease development and yield of sugar-cane. *Crop Protection.* Vol. 11.
- Raven, J. A. (1983). The transport and function of silicon in plants. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 58:179-207
- Reezi, S., Babalar, M. e Kalantari, S. 2009. Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of saltstressed cut rose (*Rosa hybrida* L.) “Hot Lady”. *African Journal of Biotech.* 8:1502-1508.
- Ren, J., Guo, J., Xing, X., Qi, G. e Yuan, Z.L. 2001. Preliminary study on yield increase effects and yield increase mechanism of silicate fertilizer on maize. *J. of Maize Sci.* 10(2):827-832.
- Richmond, K. E. e Sussman, M., 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology.* 6:268–272.
- Rodrigues, F.A., McNally, D.J., Datnoff, L.E., Jones, J.B., Labbé, C., Benhamou, N., Menzies, J.G. e Bélanger, R.R. 2004. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. *Phytopathol.* 94:177-183.

- Russel, E.W. 1973. Conditions and Plant Growth, 10th Edition, Longman.
- Samuels, A.L., Glass, A.D.M., Ehret, D.L. e Menzies, J.G. 1991. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. *Plant Cell Environ.* 14:485–492.
- Sangster A. G. 1970. Intracellular silica deposition in immature leaves in three species of the *Gramineae*. *Ann. Bot.* 34:245-257.
- Sangster, A.G., Hodson, M.J. e Wynn Parry, D. 1983. Silicon deposition and anatomical studies in the inflorescence tracts of four *Phalaris* species with their possible relevance to cancerogenesis. *New Phytol.* 93:105-122.
- Sangster, A.G., Hodson, M.J., Parry, D.W. e Rees, J.A. 1983. A developmental study of silicification in the trichomes and associated epidermal structures of the inflorescence bracts of the grass, *Phalaris canariensis* L. *Ann. Bot.* 52:171–187.
- Savant, N.K., Korndörfer, G.H., Datnoff, L.E. e Snyder, G.H. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. *J. Plant Nutr.* 22:1853–1903.
- Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M. e Patakioutas, G. 2009. Silicon supply in soilless cultivation of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany.* 65: 11-17.
- Shettya, R., Jensena, B., Shettya, N. P., Hansena, M., Hansenb, C. W., Starkeyb, K. R. e Jørgensena, H. J. L. 2012. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. 61:120-131.
- Sposito, G. 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press, New York.
- Takahashi, E. e Miyake, Y. 1977. Silica and plant growth. *Proc. Int. Semin. Soil Environ. Fet. Manage. Intensive Agric.*, 603-611.
- Takeota Y., Wada T., Naito K. e Kaufman P.B. 1984. Studies on silification of epidermal tissues of grasses as investigated by soft X-ray image analysis. II. Difference in frequency of silica bodies an bulliform cells at different positions in the leaves of rice plants. *Jpn. J. Crop Sci.* 53:197-203.
- Tesi, R. 2008. Colture protette, ortoflorovivaiismo in ambiente mediterraneo. *Edagricole.* 250-257.
- Ueda, K. e Ueda, S. 1961. Effect of silicon acid on bamboo growth. *Bulletin Kyoto Univ. Forests.* 33:70-99.
- Violante, P. 2002. Chimica del suolo e della nutrizione delle piante. *Edagricole.*

- Vlamiš, J. e Williams, D.E. 1967. Manganese an silicon interaction in the *Gramineae*. *Plant Soil*. 27:131-140.
- Voogt, W. 1989a. Silicium voedingselement voor olantegroei? *Groenten en Fruit*. 44-45:32-33.
- Voogt, W. 1989b. Silicium als meststof toedienen nog niet mogelijk in praktijk. *Groenten en Fruit*. 44-45:34-35.
- Voogt, W. 1990. Praktijkonderzoek; Komkommer regaeert goed op silicium. *Tuinderij*. 70-20:50-53.
- Voogt, W. 1992. Silicium zinvol bij roos in steenwol. *Vakblad Bloemisteri* 47-33:28-29.
- Voogt, W. e Bloemhard, C. 1992. Silicium toedienen zonder vingerafdrukken. *Groenten en Fruit*. 9-22:23.
- Voogt, W. e Kreuzer, A. 1989. Silicium verhoogt produktie maar is moeilijk te doseren. *Groenten en Fruit*. 45-21:48-49.
- Voogt, W. e Sonneveld, C. 1984. Silicium applications for cucumbers in rockwool. *Glasshouse crops research and experiment station, Annual Report 1983, Naaldwijk The Netherlands*. 26
- Voogt, W. e van Elderen, C. 1991. Silicium in de plantevoeding, meeldauwbestrijding bij roos? *Vakblad Bloemisterij*. 46-8:52-53.
- Williams, R.F. e R.E. Shapter. 1955. A comparative study of growth and nutrition in barley and rye as affected by low-water treatment. *Australian J. Biol. Sci.* 8:435-466.
- www.istat.it
- Yoshi, H. (1941). Studies on the nature of rice blast resistance. *Kyusu. Imp. Univ. Sci. Fakultato Terkultura Bull.* 9:277-307.
- Zancan, S., Cesco, S. e Ghisi, R. 2006. Effect of UV-B radiation on iron content and distribution in maize plants. *Environ. Exp. Bot.* 55:266-272.
- Zhou, Q., Pan, G., Shi, Z., Meng, Y. e Xie, Y. 2002. Effects of Si fertilizer application on maize yield and quality of maize population. *J. of Maize Sci.* 10(1):81-93.