

PRIMI RISULTATI DI PROVE DI TRATTAMENTO SU POMODORO IN SERRA MEDIANTE IRRORATRICE SEMOVENTE

E. CERRUTO, S. BALLONI, L. CARUSO, A. CONTI
Dipartimento GeSA — Sezione Meccanica
Università degli Studi — Via S. Sofia 100, 95123 Catania
ecerruto@unict.it

RIASSUNTO

Il lavoro riporta i primi risultati di alcune prove di trattamento eseguite su pomodoro da mensa in serra utilizzando un'irroratrice semovente. La macchina è stata appositamente progettata e realizzata grazie alla cooperazione di un costruttore locale ed è ancora in fase di ottimizzazione. Il ricorso a una simile attrezzatura semplifica il cantiere di lavoro rispetto ai tradizionali cantieri con lance manuali e, soprattutto, migliora la sicurezza dell'operatore, poiché riduce enormemente la sua esposizione cutanea agli agrofarmaci durante la fase di applicazione. Le prove sono state finalizzate a valutare la distribuzione del deposito fogliare sulle piante e le perdite a terra al variare della pressione di esercizio (15 e 25 bar). In particolare, si è voluto accertare se l'aumento di pressione può avere un'influenza positiva sulla penetrazione del getto all'interno della vegetazione, compensando così, almeno parzialmente, l'attuale assenza di ventilatore a bordo della macchina. I risultati hanno mostrato differenze significative di deposito sia rispetto alla quota (maggior deposito sulla fascia bassa delle piante) sia rispetto alla profondità (maggior deposito sugli strati esterni della vegetazione). Inoltre, l'aumento di pressione ha favorito l'incremento di deposito nelle parti interne della chioma, seppur non significativamente. Infine, le perdite a terra sono risultate pari al 60% con la pressione di 15 bar e al 44% con la pressione di 25 bar, differenza prossima alla significatività ($p = 0,06$).

Parole chiave: difesa fitosanitaria, tracciante, deposito fogliare, analisi colorimetrica

SUMMARY

FIRST RESULTS OF SPRAYING TRIALS ON GREENHOUSE TOMATO PLANTS WHEN USING A SELF-PROPELLED SPRAYER

The paper reports the first results of some spraying trials conducted on greenhouse tomato plants by using a self-propelled sprayer. The machine was purpose-designed and built thanks to the cooperation of a local constructor and it is still under optimisation. This sprayer simplifies the working conditions with respect to the spray lances and improves the operator safety, as greatly reduce his or her dermal exposure during spray applications. The spraying tests were aimed at measuring foliar deposition and ground losses during a simulation of a pesticide application at varying the working pressure (15 and 25 bar). Specifically, we intended to assess whether the increase in the working pressure may positively affect the spray penetration inside the canopy, so compensating for the actual fan absence. The results showed that the foliar deposits were significantly different among the sampling locations on the canopy (higher deposits on the lower part of the canopy and on the external layer). Moreover, the increase in the pressure level improved, even if not statically significant, the foliar deposition in the inner part of the canopy. Finally, ground losses were 60 per cent when the pressure was 15 bar and 44 per cent when the pressure was 25 bar (difference significant for $p = 0.06$).

Keywords: plant protection, tracer, foliar deposit, colorimetric analysis

INTRODUZIONE

Nonostante la crisi del settore, la produzione orticola in serra rappresenta pur sempre una delle voci più importanti dell'economia agricola siciliana. Secondo i dati ISTAT, la superficie dedicata alle colture protette nel 2009, sebbene in calo rispetto agli anni precedenti, è stata pari a 5379 ha, di cui 2029 ha (il 38% del totale regionale) concentrati nella sola provincia di Ragusa. Si tratta di un modello produttivo che richiede frequenti interventi fitosanitari, anche 15–20 per ciclo colturale secondo indagini effettuate in loco (Cerruto e Emma, 2009; Cerruto *et al.*, 2011), con gravi rischi di esposizione per gli operatori, i consumatori e l'ambiente.

Le attrezzature più diffuse per i trattamenti sono per lo più lance e pistole manuali ad alta pressione, di diversa lunghezza e con uno o più ugelli secondo la coltura da trattare. Come riscontrato nella letteratura scientifica (Cerruto *et al.* 2009; Bjugstad e Torgrimsen, 1996; Tuomainen *et al.*, 2002), l'uso di attrezzature manuali per l'applicazione di agrofarmaci pone gli operatori ad alto rischio di esposizione cutanea ed inalatoria, rischio acuito dal non sempre diffuso e corretto uso dei dispositivi di protezione individuale (DPI), anche a causa delle non confortevoli condizioni climatiche all'interno delle serre (Ergonen *et al.*, 2005; Sánchez-Hermosilla *et al.*, 1998).

L'esposizione può essere fortemente ridotta cambiando modalità operative (ad esempio indietreggiando piuttosto che avanzando quando si usano attrezzature manuali) oppure adottando irroratrici semoventi con barre verticali tipo il modello "Fumimatic" (Nuyttens *et al.*, 2005) o il modello "Fisher Turbomobil" (Planas de Martí *et al.*, 2001), specificamente progettati per operare in serra, oppure ancora eseguendo i trattamenti in assenza dell'operatore (Oggero *et al.*, 2010).

Un modello di irroratrice semovente idoneo per operare in serra è stato anche sviluppato da un costruttore della provincia di Ragusa con il supporto scientifico della Sezione Meccanica del Dipartimento GeSA dell'Università di Catania. Il modello è ancora in fase di ottimizzazione, ma i primi studi sulla riduzione dell'esposizione dell'operatore rispetto all'uso di lance (Balloni *et al.*, 2008) e sui profili di distribuzione delle barre al variare di alcuni parametri operativi (Schillaci *et al.*, 2009), hanno fornito risultati molto incoraggianti. Infatti, distribuendo 1000 l/ha su piante di pomodoro in pieno sviluppo, è emerso che l'esposizione dell'operatore è stata di 1653 ml/h con la lancia e di solo 11 ml/h con questa irroratrice.

Nel presente lavoro si riportano i risultati di successive prove effettuate con questa macchina sempre su piante di pomodoro, con il fine di valutare la distribuzione del deposito fogliare sulla chioma e le perdite a terra al variare della pressione di esercizio.

MATERIALI E METODI

La coltura

L'attività sperimentale è stata svolta in una serra sita in agro di Vittoria (RG) su piante di pomodoro da mensa della varietà Shiren. La serra aveva una struttura portante in metallo coperta da film plastico e si componeva di 20 campate lunghe 25 m e larghe 8 m, per una superficie coperta complessiva di circa 4000 m². L'altezza minima di ogni campata era pari a 3,3 m, la massima pari a 5,3 m; lateralmente era presente una corsia di servizio larga 1,2 m.

La coltura era stata trapiantata in file binate lunghe 24 m, con distanza fra i filari di una bina pari a 0,60 m, distanza fra le bine pari a 1,40 m e distanza lungo la fila pari a 0,38 m. La densità d'impianto era pertanto pari a 26.315 piante/ha. Al momento delle prove le piante erano a fine produzione, e pertanto potevano essere considerate in pieno sviluppo fogliare.

Prima dell'esecuzione delle prove, si è provveduto a caratterizzarle da un punto di vista geometrico e morfologico. A tal fine sono stati misurati l'ampiezza della fascia vegetativa da

trattare, il suo spessore a diverse altezze, l'indice di area fogliare (*LAI*) e il numero teorico di strati fogliari (*FLN*). Le misure geometriche sono state effettuate su 16 piante appartenenti ad entrambi i filari di 8 bine diverse, mentre il *LAI* è stato stimato defogliando 4 piante e misurando in laboratorio la superficie delle foglie. La misura è stata ottenuta acquisendo l'immagine di ogni foglia tramite uno scanner piano e poi analizzandola tramite il software open source *ImageJ* (Abramoff *et al.*, 2004).

Il numero teorico di strati fogliari è stato calcolato in funzione del *LAI* tramite la relazione:

$$FLN = \frac{a \cdot LAI}{\Delta h}$$

dove $a = 1$ m è la distanza media fra i due filari di ogni bina e Δh l'altezza della fascia di vegetazione considerata.

La macchina irroratrice

La macchina oggetto di prova (figura 1) consiste in un piccolo trattore cingolato, con cingoli di gomma, di lunghezza pari a 1650 mm, altezza pari a 1100 mm, e larghezza pari a 730 mm, compreso il serbatoio. Il trattore è azionato da un motore a benzina monocilindrico, raffreddato ad aria, in grado di fornire una potenza continua di 2,6 kW a 3000 giri/min e una potenza massima di 4,2 kW a 4000 giri/min.

Figura 1. L'irroratrice semovente oggetto di prova



Sul telaio trovano posto, oltre al sedile di guida per il conducente, il serbatoio in PVC da 120 l, una pompa volumetrica con regolatore di pressione, e due barre verticali dotate di ugelli a turbolenza. La macchina, nella sua configurazione attuale molto semplificata, non è dotata di ventilatore, né degli altri dispositivi usualmente presenti nelle irroratrici commerciali più recenti, tipo sistema lava impianto o serbatoio ausiliario con acqua pulita a disposizione dell'operatore. Il sedile e le barre sono sufficientemente distanziati così da mantenere

l'operatore lontano dai getti e quindi ridurre al minimo la sua esposizione cutanea. La distanza reciproca fra le barre, la loro altezza da terra e l'orientamento degli ugelli, possono essere variati secondo la necessità delle colture.

Le prove sperimentali per la presente ricerca sono state condotte utilizzando la sola barra destra. Essa è stata opportunamente modificata in modo da permettere anche la modifica della spaziatura degli ugelli.

Il piano sperimentale

In accordo agli scopi della ricerca, in questa fase si è voluto accertare l'influenza della pressione di lavoro sulla distribuzione dei depositi fogliari sulla chioma delle piante, oltre che sulle perdite a terra. Più specificamente, si è voluto accertare se l'aumento di pressione poteva influenzare positivamente la penetrazione del getto all'interno della vegetazione, così da compensare, almeno parzialmente, la mancanza di una corrente d'aria generata da un ventilatore.

Pertanto si è simulato un trattamento a due diverse pressioni, 15 e 25 bar, distribuendo una soluzione al 2% di colorante alimentare rosso *Red Poinceau E124* utilizzato come tracciante, cui era stato aggiunto un bagnante alla concentrazione dello 0,05% per rendere il comportamento della soluzione simile a quello di una miscela fitoiatrice.

Durante le prove la barra era equipaggiata con 4 ugelli Albus ATR marrone distanziati fra loro di 50 cm, avendo riscontrato da misure al banco verticale (Schillaci *et al.*, 2009) che tale configurazione forniva la migliore uniformità del profilo. La barra è stata regolata in modo che l'altezza da terra del primo ugello fosse pari a 30 cm e la distanza dalla vegetazione pari a circa 40 cm. La portata erogata dagli ugelli è stata misurata raccogliendo in recipienti graduati il volume erogato in 120 s ad entrambe le pressioni.

La velocità di avanzamento dell'irroratrice è stata rilevata in serra su un percorso di 20 m ed è risultata pari a 0,94 m/s. Tenuto conto di tale velocità, del sesto d'impianto della coltura e della portata erogata dalla barra, il piano sperimentale posto in atto è stato quello riportato in tabella 1.

Tabella 1. Prospetto del piano sperimentale

Pressione, bar	Portata, l/min	Velocità, m/s	Volume, l/ha
15	3,25	0,94	575
25	4,10	0,94	725

Acquisizione ed analisi dei dati

L'esperimento in campo è stato impostato secondo uno schema a blocchi randomizzati, con tre ripetizioni per ogni trattamento. Ciascun blocco era costituito da un'intera bina suddivisa in due metà, ciascuna irrorata a 15 o 25 bar. I tre blocchi erano intervallati da almeno due bine di rispetto non irrorate per evitare sovrapposizioni dei depositi. L'irroratrice transitava nell'interfila e irrorava solo il tratto di filare alla sua destra alla pressione prefissata.

Per la misura delle perdite a terra si è fatto uso di capsule petri, base e coperchio, disposte a cavallo della bina trattata, su due file distanziate di circa 3 m, come schematizzato in figura 2. La base delle capsule petri aveva un diametro di 147 mm, e quindi una superficie di 169,6 cm², il coperchio un diametro di 151 mm, e quindi una superficie di 179,0 cm².

Dopo il passaggio dell'irroratrice, si è provveduto a campionare alcune foglie dalle piante che si trovavano nella zona centrale del tratto di bina irrorato, così da limitare gli effetti di bordo. Il campionamento è stato effettuato su entrambi i filari della bina trattata, su tre livelli di profondità (P1, P2 e P3) e su quattro fasce d'altezza (Q1, Q2, Q3 e Q4) di uguale ampiezza,

come rappresentato in figura 3.

Da ciascuna delle 12 zone così definite (4 altezze × 3 profondità) sono state prelevate 4 foglie su cui misurare il deposito, per un totale di 144 foglie per tesi. La misura è stata effettuata per via spettrofotometrica, utilizzando uno spettrofotometro modello Jenway, Jenway Ltd. I valori di deposito sono stati espressi in microlitri per centimetro quadrato di superficie fogliare (di entrambe le pagine). La superficie delle foglie (di una sola pagina) è stata stimata tramite la legge di regressione massa-superficie calcolata sulle stesse foglie utilizzate per la misura del LAI. Un campione di 25 foglie non trattate è stato utilizzato per misurare il “rumore di fondo”, con il quale correggere il deposito misurato sulle foglie trattate. Per tenere conto della differenza di volume applicato con le due pressioni, tutti i valori sono stati normalizzati a 650 l/ha, il volume medio distribuito.

Figura 2. Schema di posizionamento delle capsule petri per la misura delle perdite a terra

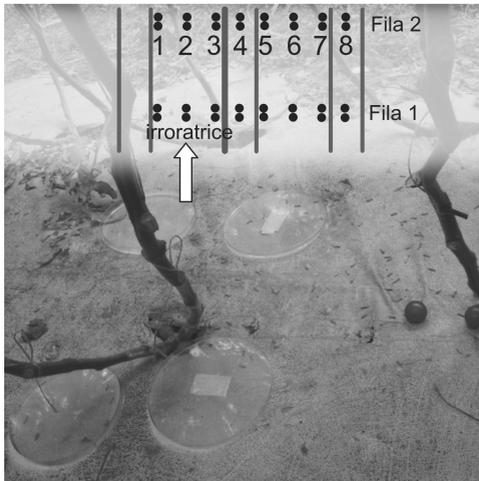
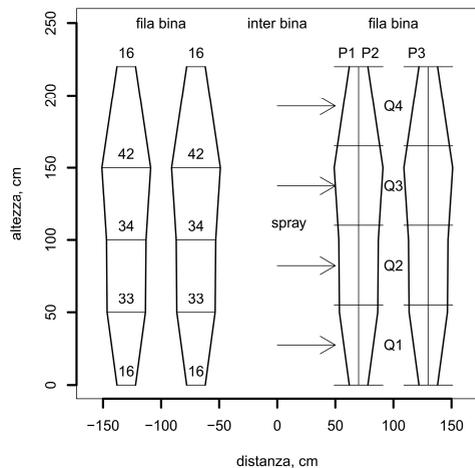


Figura 3. Schema delle piante e delle zone di campionamento



I valori di deposito sulle capsule petri sono stati misurati come per le foglie, salvo riferirli alla superficie di un solo lato (base o coperchio). Sono stati ponderati in funzione dell’ampiezza della fascia di terreno rappresentata da ciascuna capsula e quindi utilizzati per calcolare la frazione di volume dispersa a terra rispetto a quella applicata.

Tutti i dati acquisiti sono stati elaborati statisticamente tramite l’analisi di varianza (Anova). I depositi fogliari sono stati elaborati secondo lo schema split-plot, assumendo la pressione come fattore principale randomizzato all’interno dei blocchi e le posizioni di prelievo delle foglie come fattore secondario pseudo-randomizzato sulle piante campionate. La frazione di volume dispersa a terra è stata semplicemente confrontata per i due livelli di pressione. Quando necessario, i dati grezzi sono stati trasformati al fine di soddisfare i prerequisiti necessari per l’applicabilità dell’Anova, ovvero distribuzione normale dei residui e omogeneità delle varianze. Nelle rappresentazioni grafiche sono tuttavia stati riportati i valori medi non trasformati. Tutte le elaborazioni e le rappresentazioni grafiche dei risultati sono state eseguite con il software *open source R* (R Development Core Team, 2009).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Caratteristiche delle piante

Dalle misure geometriche delle piante è emerso che l'ampiezza della fascia vegetativa da trattare si estendeva dal terreno fino a $(2,20 \pm 0,17)$ m (media \pm deviazione standard), per cui l'ampiezza delle fasce di campionamento era di circa 0,55 m. Lo spessore massimo della vegetazione, misurato a 1,50 m dal suolo, era pari a $(0,42 \pm 0,13)$ m.

La distribuzione verticale del *LAI* e del numero di strati fogliari è riportata nella figura 4. Entrambe le quantità erano crescenti dal basso verso l'alto: la fascia più densa di foglie era quella alta (da 1,65 a 2,20 m), il cui *LAI* era pari a $0,90 \text{ m}^2/\text{m}^2$ e il cui numero teorico di strati fogliari pari a 1,64. Il *LAI* complessivo della vegetazione era pari a $2,55 \text{ m}^2/\text{m}^2$, il numero di strati fogliari complessivo pari a 1,16.

La figura 5 riporta i risultati della regressione della superficie sulla massa delle foglie adoperate per il calcolo del *LAI*. Essa è ben approssimata dalla relazione:

$$S = 23,4731 \times m^{0,8327},$$

con la superficie *S* espressa in centimetri quadrati e la massa *m* espressa in grammi. Il coefficiente di determinazione R^2 pari 0,95, altamente significativo, ne consente l'impiego a scopo predittivo e pertanto essa è stata utilizzata per stimare la superficie delle foglie campionate per misurare il deposito.

Figura 4. Distribuzione in verticale del *LAI* e del numero teorico di strati fogliari delle piante

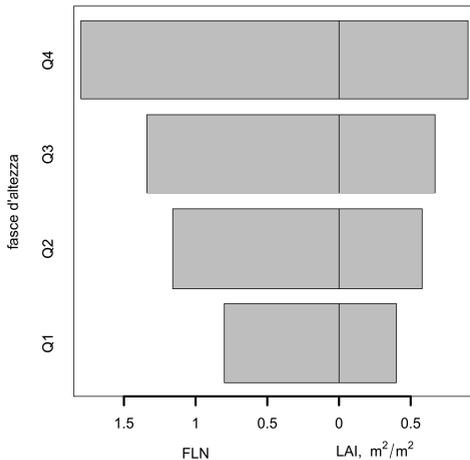
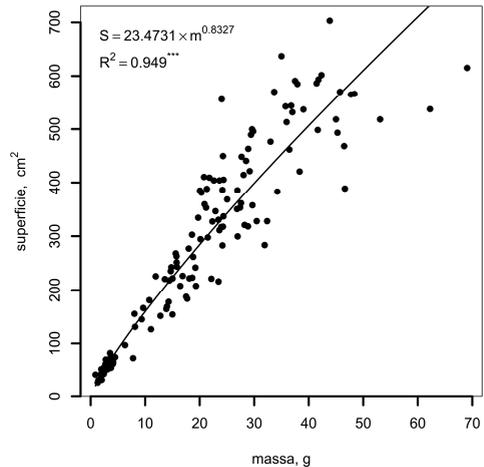


Figura 5. Regressione massa superficie delle foglie campionate



Depositi fogliari

L'Anova, applicata ai dati trasformati secondo la relazione $y = x^{0,2}$, ha fornito i risultati sintetizzati nella tabella 2.

Esso evidenzia che l'aumento di pressione non ha prodotto differenze significative di deposito fogliare medio. Il deposito normalizzato, infatti, è risultato pari a $0,45 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ con la pressione di 15 bar e a $0,40 \mu\text{l}/\text{cm}^2$ a 25 bar: l'aumento di pressione ha dunque prodotto un leggero calo ($-10,5\%$) del deposito medio, anche se non statisticamente significativo. Esaminando più in dettaglio tale aspetto, si riscontra (figura 6) che circa il 90% delle foglie presenta un deposi-

to normalizzato inferiore a circa $1 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ con entrambe le pressioni e che il rimanente 10% di foglie presenta depositi maggiori, che si estendono oltre i $5 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ con la pressione di 15 bar e fino a circa $2 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ con la pressione di 25 bar. Tale risultato potrebbe anche essere conseguenza della differente polverizzazione del getto determinata dalle due pressioni: è da attendersi, infatti, che la minore polverizzazione che si realizza a 15 bar, causa la formazione di gocce di maggiori dimensioni, che più plausibilmente si fermano sugli strati più esterni della vegetazione.

Tabella 2. Anova dei dati di deposito fogliare

Sorgente di variazione	Gradi di libertà	Statistica F	p-level ^(a)
pressione	1	1,2718	0,3765 ^{ns}
residui (1)	2		
quota	3	16,5743	2,381e-07 ^{***}
profondità	2	44,7227	2,508e-11 ^{***}
pressione×quota	3	0,4560	0,7144 ^{ns}
pressione×profondità	2	1,4451	0,2467 ^{ns}
quota×profondità	6	0,9167	0,4921 ^{ns}
pressione×quota×profondità	6	0,6248	0,7095 ^{ns}
residui (2)	44		

(a)***: significativo per $p=0,001$; ns: non significativo

Ciò trova riscontro nella distribuzione cumulata dei depositi alle tre profondità (figura 7): emerge, infatti, che le foglie con il deposito maggiore si ottengono sempre a 15 bar e sono quasi tutte concentrate sullo strato più esterno (P1). Sul secondo strato di campionamento (P2), la distribuzione dei depositi è praticamente identica con entrambe le pressioni, mentre sul terzo strato (P3) la presenza di deposito è dovuta quasi esclusivamente alla pressione maggiore.

Figura 6. Distribuzione cumulata dei depositi fogliari per le due pressioni

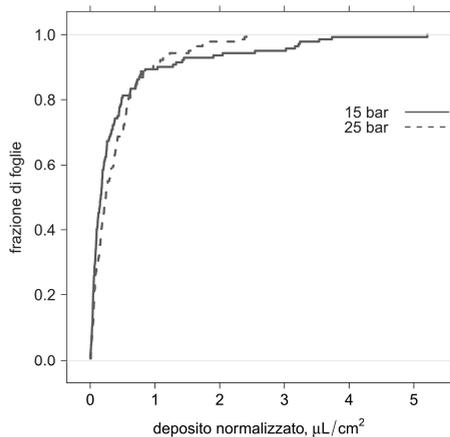
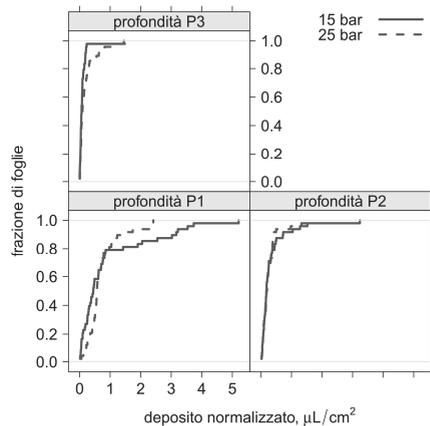


Figura 7. Distribuzione cumulata dei depositi fogliari per le due pressioni ad ogni profondità



I valori medi di deposito alle tre profondità per ognuna delle due pressioni sono riportati in tabella 3. Mediando fra le due pressioni, i depositi normalizzati decrescono significativamente passando dal primo (0,81 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$) al secondo (0,30 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$, -62,5%) e al terzo strato (0,16 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$, -47,5% rispetto al secondo strato e -80,3% rispetto al primo). Inoltre, i dati indicano che sui primi due strati il deposito medio è leggermente superiore con la pressione di 15 bar, mentre, anche se l'interazione pressione \times profondità non è statisticamente significativa, sul terzo strato, a conferma di quanto emerso analizzando le distribuzioni cumulate, il deposito è maggiore con la pressione di 25 bar. Sembrerebbe quindi che l'aumento di pressione tenda a favorire un incremento di deposito negli strati interni della chioma. Detto incremento potrebbe essere dovuto a due concause: da un lato, con una pressione maggiore le gocce acquistano più energia e quindi possono penetrare meglio all'interno della vegetazione (l'irroratrice è a getto proiettato), dall'altro l'accresciuta polverizzazione favorisce una modesta deriva, anch'essa in grado di aiutare il trasporto delle goccioline all'interno della chioma. Queste considerazioni potrebbero trovare riscontro in un'analisi della dimensione delle gocce all'interno della chioma condotta con l'aiuto di appositi bersagli artificiali in PVC o con le cartine idrosensibili.

Tabella 3. Valori medi di deposito ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$) in funzione della pressione e della profondità^(a)

Pressione, bar	Strato P1	Strato P2	Strato P3	Media
15	0,91	0,34	0,11	0,45 ^{ns}
25	0,72	0,27	0,21	0,40 ^{ns}
Media	0,81 ^a	0,30 ^b	0,16 ^c	0,43

(a): separazione delle medie con il test HSD per $p=0,05$

Figura 8. Valori medi dei depositi fogliari per ognuno dei fattori analizzati (separazione delle medie con il test HSD per $p=0,05$)

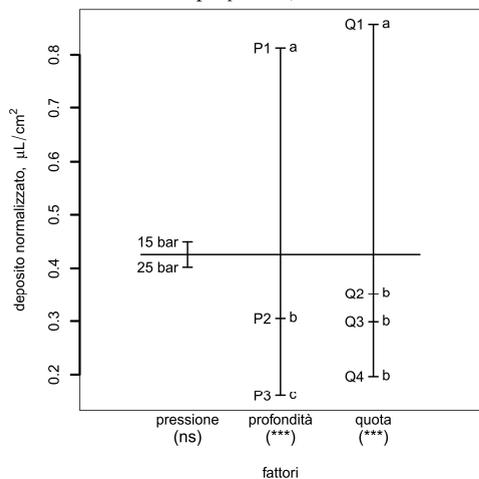
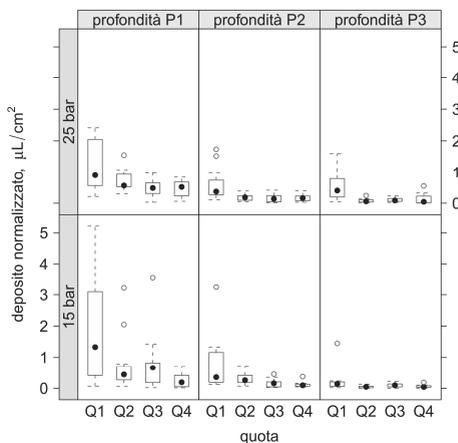


Figura 9. Variabilità dei depositi fogliari per ognuno dei fattori analizzati



Ulteriori differenze fra le zone di campionamento sono quelle fra le quattro fasce d'altezza. Il deposito è risultato decrescente dal basso verso l'alto, con la fascia bassa (Q1) che ha raccolto circa il triplo del deposito mediamente presente sulle altre tre fasce. Anche questo risultato può avere due concause: da un lato l'effetto della gravità che trasporta le gocce verso il basso, e dall'altro la distribuzione del LAI della coltura, decrescente dall'alto verso il basso. Una pre-

ventiva regolazione della macchina tendente ad uniformare la distribuzione in verticale del deposito sulle piante dovrebbe tenere conto di entrambi questi fattori.

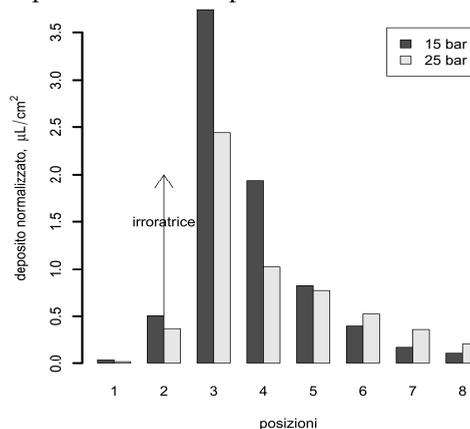
I valori medi di deposito e la loro variabilità sono riassunti nelle figure 8 e 9. Il deposito medio complessivo è risultato pari a $0,43 \mu\text{l}/\text{cm}^2$, con una deviazione standard pari a $0,67 \mu\text{l}/\text{cm}^2$. In accordo al modello interpretativo dei dati, il coefficiente di variazione dei depositi all'interno di ciascuna posizione di campionamento è risultato pari al 17%, quello fra le posizioni di campionamento sulle piante pari all'11% e quello fra le ripetizioni pari al 3%. La variabilità maggiore è quindi quella fra le singole foglie, alla cui riduzione dovranno tendere i futuri sviluppi della macchina irroratrice.

Perdite a terra

La figura 10 riporta l'andamento dei depositi medi normalizzati rilevati in corrispondenza delle posizioni di campionamento a terra per i due valori di pressione. Da essa appare evidente come le perdite siano concentrate essenzialmente in corrispondenza del filare trattato (posizioni 3 e 4, figura 2). Inoltre, nelle posizioni da 1 a 4 il deposito normalizzato è maggiore con la pressione di 15 bar, mentre nelle posizioni da 6 a 8 è superiore con la pressione di 25 bar, segno che la pressione maggiore permette alle gocce di raggiungere con più facilità anche la bina adiacente.

Esprimendo le perdite a terra in termini di percentuale del volume applicato, risultano valori pari a circa il 60% per la pressione di 15 bar e a circa il 44% per la pressione di 25 bar. La differenza fra i due valori percentuali è prossima alla significatività ($p=0,06$), per cui è da ritenere plausibile un'influenza della pressione anche sulle perdite a terra.

Figura 10. Depositati a terra per i due valori di pressione



CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Dalla sperimentazione effettuata emerge che la macchina oggetto di prova si può ritenere una valida soluzione per l'esecuzione dei trattamenti fitosanitari in serra poiché, rispetto all'uso di lance manuali, semplifica il cantiere di lavoro in quanto richiede una sola persona, e riduce fortemente l'esposizione cutanea dell'operatore (Balloni *et al.*, 2008). In assenza di ventilatore, l'incremento di pressione può essere una scelta per favorire la penetrazione delle gocce all'interno della chioma, anche se permangono notevoli differenze di deposito fra i diversi strati di profondità, che però dovrebbero ridursi trattando entrambi i filari delle bine. Le

differenze di deposito fra le diverse fasce d'altezza possono essere ridotte o addirittura annullate regolando preventivamente la macchina con banchi prova verticali, così da tener conto sia della distribuzione fogliare delle piante che dell'effetto della forza gravitazionale.

Sono piuttosto elevate le perdite a terra, mediamente pari al 52% del volume applicato, e che raggiungono il 60% operando a 15 bar. Probabilmente la preventiva regolazione della macchina al banco prova verticale potrà comportare anche una loro riduzione.

LAVORI CITATI

- Abramoff M.D., Magelhaes P.J., Ram S.J. 2004. Image Processing with ImageJ. *Biophotonics International*, 2004, volume 11, issue 7, 36–42.
- Balloni S., Caruso L., Cerruto E., Emma G., Schillaci G. 2008. A Prototype of Self-Propelled Sprayer to Reduce Operator Exposure in Greenhouse Treatment. *Atti su CD-ROM dell'International Conference on "Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems"*, Ragusa, 15–17 settembre 2008.
- Bjugstad N., Torggrimsen T. 1996. Operator Safety and Plant Deposits when using Pesticides in Greenhouses. *J. Agric. Engng Res.* (1996) 65, 205–212.
- Cerruto E., Emma G. 2009. Indagine sulla sicurezza ambientale e degli operatori nei trattamenti fitosanitari in serra. *Atti su CD-ROM di AIIA 2009 "Ricerca e innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali"*, Ischia (NA), 12–16 settembre 2009.
- Cerruto E., Emma G., Manetto G. 2009. Spray Application to Tomato Plants in Greenhouses: Part 1: Effect of Walking Direction. *J. of Ag. Eng.—Riv. di Ing. Agr.*, 3, 41–48.
- Cerruto E., Emma G., Manetto G. 2009. Spray Application to Tomato Plants in Greenhouses: Part 2: Effect of Spray Lance Type. *J. of Ag. Eng.—Riv. di Ing. Agr.*, 3, 49–56.
- Cerruto E., Schillaci G., Caruso L., Emma G., Balloni S., Conti A. 2011. Environmental and Operator Safety during Pesticide Applications in Greenhouses. *Atti su CD-ROM del XXXIV CIOSTA—CIGR V Conference 2011 "Efficient and safe production processes in sustainable agriculture and forestry"*, Vienna - Austria, 29 giugno–1 luglio 2011.
- Ergonen A.T., Salacin S., Hakan Ozdemir M. 2005. Pesticide Use among Greenhouse Workers in Turkey. *Journal of Clinical Forensic Medicine* 12 (2005) 205–208.
- Nuytens D., Windey S., Sonck B. 2005. Comparison of Operator Exposure for Five Different Greenhouse Spraying Applications. *XXXI CIOSTA-CIGR V Congress "Increasing Work Efficiency in Agriculture, Horticulture and Forestry"*, September 19 -21, 2005, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany, 98-105.
- Oggero G., Tamagnone M., Bozzer C., Balsari P., Melloni R. 2010. Un'irroratrice autonoma per i trattamenti in sicurezza alle colture protette. *Atti Giornate Fitopatologiche*, Cervia (RA), 9–12 marzo 2010, 2, 57–64.
- Planas de Martí S., Fillat Morata A., Escolà Agustí A. 2001. Advances on Pesticide Application in Covered Crops. *Atti su CD-ROM di AIIA 2001 "Ingegneria Agraria per lo sviluppo dei Paesi del Mediterraneo"*, Vieste (FG), 11–14 settembre 2001.
- R Development Core Team. 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Sánchez-Hermosilla J., Pérez R., Díaz M. 1998. Study of Labour Risks due to the Application of Phytosanitary Products Protected Crops. *Ageng* 98, Oslo, paper no. 98-G-033.
- Tuomainen A., Mäkinen M., Glass R., Kangas J. 2002. Potential Exposure to Pesticides in Nordic Greenhouses. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 69, 342–349.

Il contributo degli autori al lavoro è da intendersi paritetico sotto ogni aspetto.