

EFFETTI DELL'ARIA E DELLA VELOCITÀ SUL DEPOSITO FOGLIARE NEI TRATTAMENTI IN VIGNETO¹

Cerruto E., Emma G.

Dipartimento di Ingegneria Agraria - Sezione Meccanica - Via S. Sofia, 100 - 95123 Catania,
Tel +39 095 7147510, Fax +39 095 7147600, ecerruto@unict.it

Riassunto

La presente ricerca riporta i risultati di prove sperimentali finalizzate a valutare come la velocità di avanzamento e la portata d'aria del ventilatore, a parità di volume ad ettaro distribuito, influenzano il deposito fogliare nei trattamenti in un vigneto a spalliera. I trattamenti sono stati eseguiti impiegando un'irroratrice a torretta con ventilatore assiale e ugelli Albus ATR a polverizzazione meccanica per pressione. È stato impostato un piano sperimentale a blocchi randomizzati completamente fattoriale, con due livelli di portata d'aria (14000 e 27000 m³/h) e tre livelli di velocità di avanzamento (3,4, 5,0 e 10,1 km/h). Per tenere conto della morfologia delle piante, il piano di lavoro è stato ripetuto in due stadi vegetativi: "acini iniziano a chiudere il grappolo" e "inizio maturazione".

Dalle prove è emerso che nel primo stadio l'aumento della portata d'aria ha determinato una riduzione significativa del deposito medio sulle foglie, senza peraltro migliorare la penetrazione del prodotto all'interno della chioma. Nel secondo stadio, invece, ha favorito l'aumento del deposito nella parte interna della chioma, senza determinare significative riduzioni del deposito medio. Questi risultati, parzialmente contrastanti, sono probabilmente conseguenza delle operazioni di potatura verde eseguite sulle piante pochissimi giorni prima delle prove. Per quanto riguarda l'altra variabile, è emerso che le tre velocità provate nei due stadi non hanno influenzato significativamente il deposito medio. Tuttavia alla velocità più elevata sono aumentate le disuniformità di deposito sulle piante (in altezza e fra esterno e interno della chioma).

Parole chiave: Difesa, Vite, Irroratrici.

Summary

This research reports the results of experimental tests on pesticide distribution in a spur-cordon vineyard. The trials were aimed at evaluating the influence of forward speed and airflow rate on leaf deposition, keeping the applied volume rate equal. The tests were carried out using a mechanical pulverisation sprayer equipped with an axial fan and a vertical spray boom with Albus ATR nozzles. The experimental plan was established according to a full factorial randomised block design, with two airflow rates (14,000 e 27,000 m³/h) and three forward speeds (3.4, 5.0, and 10.1 km/h). To take into account the morphological aspect of the trees, the experimental plan was repeated during two different growth stages: "beginning of berry touch" and "beginning of ripening".

The results of the first stage show that increasing the airflow rate induced a significant reduction in the average leaf deposition, with no benefit to the inner part of the canopy. In the

¹ Ricerca svolta nell'ambito del progetto MIUR "Miglioramento dell'efficienza di distribuzione delle macchine irroratrici in viticoltura", anno 2001 - prot. 2001073192.

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

second growth stage, on the contrary, it favoured an increase in the inner leaf deposition, without significant reduction in the overall deposition. These partially contradictory results are probably due to the fact the trees were pruned a few days before the second trials. The results also show that, in both growth stages, the forward speed doesn't significantly influence the average leaf deposit. Nevertheless, differences in leaf deposition between the inner and outer part, as well as among the height zones in the canopy, increase at the highest speed.

Key words: Crop Protection, Vineyard, Sprayers.

1. INTRODUZIONE

Per garantire la buona riuscita di un trattamento fitosanitario, oltre a conoscere le caratteristiche dei prodotti chimici impiegati, è fondamentale utilizzare razionalmente e in uno stato di ottimale funzionalità le macchine per la distribuzione. Difatti, tra tutte le operazioni colturali, la difesa fitosanitaria assume un'importanza primaria, perché dalla buona riuscita di un trattamento dipendono sia la qualità e la quantità del prodotto raccolto, sia, in funzione della modalità di distribuzione, l'incidenza dell'operazione sui costi di produzione e sulla salvaguardia dell'ambiente. La questione è di grande attualità anche a livello transnazionale, tanto che il Sesto programma di azione per l'ambiente, adottato dal Parlamento europeo e dal Consiglio, prevede, fra l'altro, l'elaborazione di "una strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi", finalizzata a ridurre l'impatto di tali sostanze sull'ambiente e sulla salute dell'uomo, compatibilmente con la necessaria protezione delle colture.

Al fine di ridurre l'impatto negativo dei presidi fitosanitari a carico dell'ambiente e mantenere i residui tossici sulle derrate alimentari entro i limiti consentiti dalle normative vigenti, nell'ultimo ventennio sono stati compiuti numerosi passi avanti, sia con la revoca di diversi principi attivi nocivi per l'uomo e per l'ambiente, sia con la sintesi di nuovi prodotti, dotati di un'alta selettività nei riguardi dei patogeni, nonché con la messa a punto di tecniche d'intervento mirato. Parallelamente, anche le macchine per la distribuzione dei prodotti fitosanitari hanno seguito processi evolutivi sempre più avanzati, tanto che oggi esistono modelli di irroratrici dotati di dispositivi di regolazione e di protezione che consentono loro di adattarsi alle esigenze della coltura da trattare, limitando al massimo le perdite fuori bersaglio e cercando di raggiungere l'uniformità di deposizione (Doruchowski *et al.*, 1996; Bellissima *et al.*, 2000; Moltò *et al.*, 2001; Pergher *et al.*, 2002; Furness *et al.*, 2003; Holowinichi *et al.*, 2003; Lakota *et al.*, 2003; Wenneker *et al.*, 2003). La percentuale di prodotto fuori bersaglio dipende, oltre che dalla coltura, dall'epoca vegetativa e dalla forma di allevamento, certamente anche dalla regolazione e dalle modalità di impiego delle macchine irroratrici. Alcuni studi (Pergher e Gubiani, 1995; Pergher *et al.*, 1997) hanno evidenziato che, in vigneti a spalliera, impiegando irroratrici tradizionali a polverizzazione meccanica e ventilatore assiale, il deposito varia, in funzione dello sviluppo fogliare delle piante, da circa il 6% a circa il 68% del prodotto distribuito. Su questo aspetto, oltre che sull'uniformità di distribuzione, incidono molto le caratteristiche e le modalità di impiego delle irroratrici. Irroratrici a recupero di prodotto, ugelli antideriva, ventilatori a flusso tangenziale, sistemi per rilevare la presenza della vegetazione, sono tutti accorgimenti, sia sperimentali sia già disponibili sulle nuove irroratrici, volti a limitare gli effetti negativi sull'ambiente dei trattamenti antiparassitari.

Nonostante la disponibilità di queste migliorie, la stragrande maggioranza del parco macchine rimane vetusta e carente di manutenzione, anche se sono sempre più numerose le Regioni che offrono servizi di controllo e taratura delle irroratrici (Biocca e Vannucci, 2000). Spesso, più che la non corretta taratura delle macchine utilizzate nei trattamenti fitosanitari, le

principali cause della carente efficacia sono da imputarsi alla scarsa manutenzione e, non ultimo, ad una non sempre adeguata preparazione degli addetti ai lavori. Con la presente nota, svolta nell'ambito di un programma di ricerca biennale di rilevante interesse nazionale (PRIN), si intende fornire un contributo allo studio di regolazioni delle macchine irroratrici per i trattamenti in vigneti a spalliera, con il fine di individuare portate d'aria e velocità di avanzamento in grado di assicurare uniformità di distribuzione e ridurre le perdite fuori bersaglio per deriva aerea.

2. MATERIALI E METODI

2.1. IL VIGNETO

Il vigneto sede delle prove si trova nel comune di Mazzarrone (CT) in c/da Biddine Sottana, a circa 110 m s.l.m.; è esposto prevalentemente a sud-est, in parte pianeggiante, con orientamento dei filari est-ovest. La cultivar, Nero d'Avola, è allevata a cordone speronato con sesto d'impianto di 2,50 m × 1,25 m. Da indagini effettuate è emerso che, nei vigneti della zona, caratterizzati da una densità d'impianto di 3.200-4.000 piante/ha e sestri regolari, la patologia più diffusa è l'oidio, mentre raramente si verificano attacchi di peronospora e botrite. Pertanto, la fase più critica dal punto di vista della difesa è quella di pre-fioritura (fine aprile-maggio), durante la quale vengono effettuati 2-3 trattamenti con zolfo polverulento tramite impolveratrice. Nei mesi di giugno-agosto la difesa continua con altri 2-3 trattamenti con prodotti triazolici, mediante l'impiego di irroratrice di tipo trainato a polverizzazione meccanica, barra ad arco, ventilatore assiale, ugelli in ceramica o Albus ATR e distribuendo circa 650 l/ha. L'irroratrice a torretta usata per queste prove rappresenta pertanto una novità nella zona. La scelta è motivata dal fatto che la barra verticale appare più idonea, rispetto ad una ad arco, per una forma di allevamento a spalliera.

Le prove sono state condotte in due stadi vegetativi, denominati, secondo la scala BBCH, "77 - acini iniziano a chiudere il grappolo" (12 giugno 2002) e "81 - inizio maturazione" (11 luglio 2002). Il giorno prima delle prove sono state rilevate le principali grandezze morfologiche delle piante, ovvero l'altezza massima e minima della vegetazione, l'altezza del cordone, l'altezza massima e minima dei grappoli, lo spessore della vegetazione a diverse altezze, l'indice di area fogliare (LAI).

Per valutare come il prodotto irrorato si distribuisce sulla chioma, la parete fogliare è stata suddivisa in tre fasce di uguale ampiezza (alta, media, bassa) e, considerando il lato irrorato, in due fasce di profondità (foglie esterne del lato irrorato, foglie interne del lato irrorato), individuate in funzione dell'altezza massima e minima della vegetazione e del suo spessore. Per il calcolo del LAI medio di ciascuna zona si è provveduto a contare, su 24 piante, il numero di foglie in essa presenti, prelevandone una ogni dieci. Successivamente, in laboratorio, per mezzo di un sistema di analisi di immagini costituito da una telecamera digitale (Pixera da 1,2 Mpixel) e un software di misura (Image Pro Plus), calibrato acquisendo un'immagine di dimensioni note, è stata misurata la superficie media delle foglie prelevate, da cui si è risalito, moltiplicandola per il numero di foglie precedentemente contate, a una stima della superficie fogliare media della zona considerata e a quella dell'intera pianta. Tali dati sono stati anche utilizzati per calcolare il numero di strati fogliari, definito come rapporto tra la superficie fogliare misurata nella zona e la superficie della sua sezione verticale.

2.2. L'IRRORATRICE

L'irroratrice utilizzata per le prove è prodotta dalla ditta Agrimaster ed è commercializzata come modello AT 1000 HF Charlie; è del tipo trainato, ad aereoconvezione, polverizzazione meccanica per pressione e ventilatore assiale del diametro di 0,80 m con 8

pale orientabili e cambio di velocità a due rapporti di trasmissione (3,5 e 4,4). Il serbatoio principale ha una capacità di 1000 l e le due barre verticali portano 7 ugelli per lato. La torretta è dotata nella sezione di efflusso di deflettori regolabili, orientati, in occasione delle prove, concordemente con la geometria delle piante.

Su di essa sono state effettuate numerose misure preliminari atte a determinare la portata d'aria in aspirazione, la velocità dell'aria in uscita, la portata alla barra, il profilo verticale di distribuzione. La misura della portata d'aria in aspirazione è stata effettuata in accordo al protocollo per il rilievo delle caratteristiche funzionali e della sicurezza delle macchine irroratrici, curato dal CONAMA. È stato utilizzato un tubo con diametro di 1 m e lunghezza di 10 m collegato alla zona di aspirazione del ventilatore e la velocità dell'aria, necessaria per risalire alla portata, è stata misurata con un anemometro a filo caldo in una sezione distante 3,3 m dal ventilatore, ogni 5 cm e in direzione diametrale. Le misure sono state ripetute a diversi regimi di rotazione della ventola, in modo da calcolare la correlazione tra portata d'aria e velocità di rotazione del ventilatore. La velocità dell'aria in uscita dalla torretta è stata misurata al coperto per limitare le influenze dell'aria esterna, utilizzando sempre un anemometro a filo caldo. Le misure sono state effettuate ogni 0,20 m, da 0,30 m a 2,10 m, ponendo l'asse della ventola a una distanza prima pari a metà interfilare (1,25 m), poi più distante di 0,5 m (e quindi a 1,75 m) e infine più vicino di 0,5 m (e quindi a 0,75 m): ciò per avere un'idea sull'andamento della velocità dell'aria a cavallo della parete vegetale. In più, le misure sono state effettuate sia nella sezione centrale di efflusso, sia in sezioni spostate a sinistra e a destra di 0,25 m: ciò per valutare la zona effettivamente interessata dall'aria erogata. La misura della portata alla barra è stata effettuata cronometrando il tempo di riempimento di provette di 3 litri collegate agli ugelli tramite tubi flessibili. Infine, i profili di distribuzione sono stati documentati con un banco prova a vassoi prodotto dalla Ditta Mibo (Balsari e Tamagnone, 1997). Tale banco ha 20 elementi captanti di forma approssimativamente quadrata e superficie di 374 cm², collegati ciascuno a una provetta di raccolta da 100 ml. I captatori sono fissati su un sostegno verticale ogni 0,2 m, da 0,5 m fino a 4,5 m da terra. La struttura è ancorata su una base d'appoggio che, grazie ad un motore elettrico alimentato a 12 V, trasla alla velocità costante di 0,13 m/s lungo un binario di 5,7 m. Le misure sono state effettuate mantenendo l'irroratrice ferma, con l'asse posto a una distanza dalla parete captante pari alla metà della larghezza dell'interfila del vigneto, e facendo traslare il banco parallelamente ad essa. Sono state eseguite all'interno di un capannone per limitare l'influenza delle condizioni ambientali esterne. Per ciascuna configurazione sono state eseguite quattro ripetizioni e, per ognuna di esse, da quattro a otto passate del banco davanti all'irroratrice in funzione della portata alla barra.

2.3. IL PIANO SPERIMENTALE

In accordo agli scopi della ricerca, si è impostato un protocollo di prova prevedente di operare con due portate d'aria, approssimativamente pari a quella massima erogata dal ventilatore e a una ridotta di circa il 50%, e con tre velocità di avanzamento comprese fra 3 e 10 km/h, mantenendo costanti i volumi distribuiti, approssimativamente pari a 350 l/ha. Inoltre, per limitare le variabili in gioco, si è stabilito di impiegare ugelli a turbolenza del modello "a cono Albus ATR" e di mantenere inalterata la pressione.

Per cercare di rispettare tali requisiti, si è scelto di operare a 12 bar con ugelli lilla (foro da 0,8 mm), marrone (foro da 1,0 mm) e arancione (foro da 1,5 mm), mantenendone aperti solo 5, chiudendo il primo e l'ultimo, e orientandoli coerentemente allo sviluppo vegetativo delle piante. I due valori di portata d'aria che si è riusciti a provare sono stati pari a circa 14000 m³/h (A1) e 27000 m³/h (A2), ottenuti agendo contemporaneamente sul numero di giri

del motore e sul cambio del ventilatore, in modo da avere approssimativamente le stesse tre velocità di avanzamento per ogni portata. Tenuto conto di questi vincoli, il piano sperimentale messo in atto è quello riportato nella tabella 1.

Tab. 1. Prospetto del piano sperimentale.

| Tesi | Pdp [giri/min] | Velocità [km/h] | Ugelli | Portata ⁽¹⁾ [l/min] | Cambio ventola | Volume aria [m ³ /h] | Volume acqua [l/ha] |
|------|-------------------|--------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------|
| T1 | 325 | 3,4 | Lilla | 2,70 | 1 | 14000 | 384 |
| T2 | 260 | 5,0 | Marrone | 3,56 | 2 | 14000 | 341 |
| T3 | 325 | 10,1 | Arancione | 7,60 | 1 | 14000 | 363 |
| T4 | 505 | 3,4 | Lilla | 2,70 | 2 | 27000 | 380 |
| T5 | 505 | 5,2 | Marrone | 3,56 | 2 | 27000 | 327 |
| T6 | 505 | 10,1 | Arancione | 7,60 | 2 | 27000 | 363 |

(1) Riferita a una semibarra.

I trattamenti sono stati eseguiti distribuendo una soluzione al 2% di colorante alimentare rosso E124 con aggiunta del bagnante Agral alla concentrazione dello 0,05%. Per ogni tesi sono state effettuate quattro ripetizioni secondo lo schema a blocchi randomizzati, considerando ciascuna parcella costituita da un tratto di filare, sufficientemente distanziato dagli altri per evitare contaminazioni dei dati dovute alla deriva. Il trattamento è stato eseguito transitando con l'irroratrice negli interfilari e irrorando le piante con un'unica passata solo con il lato destro. Al momento dei trattamenti sono stati rilevati i principali parametri ambientali (temperatura, umidità dell'aria e velocità del vento).

2.4. IL CAMPIONAMENTO E L'ANALISI DEI DATI

Per valutare il deposito fogliare, il campionamento è stato effettuato su una pianta posta nella parte centrale di ogni tratto di filare irrorato, così da evitare gli effetti di bordo. In ciascuna delle fasce d'altezza e di profondità precedentemente individuate sulla pianta sono state prelevate casualmente, in modo da rappresentare l'intera vegetazione, 6 foglie, per un totale di 36 foglie/pianta e, considerate le quattro ripetizioni, 144 foglie/tesi.

Il volume di soluzione pervenuto sulle foglie campionate è stato determinato per via spettrofotometrica. A tal fine ciascuna delle foglie raccolte è stata conservata singolarmente dentro un sacchetto di plastica opportunamente siglato e trasportata in laboratorio dove ne è stata innanzitutto misurata la superficie mediante lo stesso sistema di analisi di immagine utilizzato per il calcolo del LAI. Successivamente si è provveduto a lavarla, dentro lo stesso sacchetto, con un volume V_c pari a 50 ml di acqua distillata per estrarre il colorante su di essa depositato. L'acqua di lavaggio è stata lasciata a decantare in provetta per qualche giorno, quindi, prelevatane circa 5 ml tramite pipetta graduata, si è proceduto a leggerne l'assorbanza A_c tramite spettrofotometro. La lunghezza d'onda cui effettuare la lettura è stata determinata sperimentalmente, variandola fino ad individuare il picco di massimo assorbimento. Misurata l'assorbanza A_m della soluzione irrorata in campo, è stato infine calcolato il volume di soluzione v_c pervenuta sulla foglia campionata in accordo alla relazione:

$$v_c = \frac{A_c}{A_m} V_c \quad (1)$$

Il volume così calcolato ed espresso in microlitri, è stato riferito alla superficie complessiva della foglia (considerando entrambe le pagine), espressa in centimetri quadrati, ottenendo così i depositi unitari d_c espressi in microlitri al centimetro quadrato. Per rendere

confrontabili i risultati delle tesi, i dati sono stati normalizzati allo stesso volume V_N di 350 l/ha in accordo alla relazione:

$$d_n = \frac{V_N}{V_d} d_c \quad (2)$$

ove V_d indica il volume distribuito in campo.

I dati acquisiti sono stati elaborati separatamente per i due stadi vegetativi, applicando l'analisi di varianza (ANOVA) secondo lo schema split-plot, considerando velocità di avanzamento e portata d'aria come fattori principali randomizzati nelle parcelle all'interno di ciascun blocco e le posizioni di campionamento sulla pianta come fattori secondari randomizzati all'interno delle parcelle. Ad essi sono state applicate opportune trasformazioni matematiche al fine di renderli normalmente distribuiti, rispettare l'omogeneità delle varianze ed evitare la presenza di correlazioni significative fra medie e varianze, al fine, cioè, di soddisfare le condizioni di applicabilità dell'analisi di varianza. Le medie ottenute sono state poi confrontate applicando il test di Tukey.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. MISURE SULL'IRRORATRICE

I valori misurati della portata d'aria in aspirazione hanno mostrato un'ottima linearità rispetto al regime di rotazione della ventola, testimoniata da un coefficiente di determinazione pari a 0,998, altamente significativo. La retta di regressione, di equazione:

$$\text{Portata d'aria [m}^3/\text{h]} = 12,275 \times \text{Regime ventola [giri/min]} - 151 \quad (3)$$

è stata utilizzata in sede di definizione del piano sperimentale per determinare i regimi di rotazione della ventola, e quindi della presa di potenza, corrispondenti ai due valori di portata d'aria fissati per le prove in campo: (14000 m³/h, 1153 giri/min, valore estrapolato ai bassi regimi) e (27000 m³/h, 2212 giri/min).

Considerando la velocità dell'aria in uscita, è emerso che solo nei punti centrali della bocca d'uscita l'aria presenta velocità significativamente diversa da zero: a destra e a sinistra di appena 25 cm, essa si riduce drasticamente. Ciò vale in particolar modo nei punti vicini all'irroratrice, mentre man mano che ci si allontana da essa, si misurano valori di velocità di pochi metri al secondo per effetto dell'allargamento del flusso e soprattutto con la portata maggiore. Limitando l'esame ai valori misurati nei punti centrali, la velocità media fra 0,50 m e 1,70 m, cioè nell'intervallo di altezza corrispondente allo sviluppo della parete vegetativa del vigneto, è risultata, in corrispondenza del filare, pari a circa 9 m/s con la portata d'aria minore e a circa 18 m/s con la portata superiore.

Infine, i profili di distribuzione al banco prova per le due portate d'aria sono riportati nella figura 1, ove il volume di prodotto raccolto da ciascun vassoio per ogni passata del banco davanti all'irroratrice è espresso in termini percentuali rispetto al totale captato dal banco. Sono gli stessi per i due stadi, in quanto la configurazione dell'irroratrice è stata lasciata invariata, non avendo riscontrato sostanziali differenze geometriche nella vegetazione passando dal primo stadio al secondo. Un esame della figura mostra che, in termini relativi, i tre profili sono abbastanza sovrapponibili, coprono un intervallo compreso fra 0,5 m e poco più di 2,0 m, con un picco intorno a 1 m, ove si aveva il massimo spessore della vegetazione. La portata d'aria superiore (A2) tende ad un loro livellamento nella zona centrale, certamente per effetto del maggior trascinarsi delle gocce esercitato dall'aria a velocità più elevata.

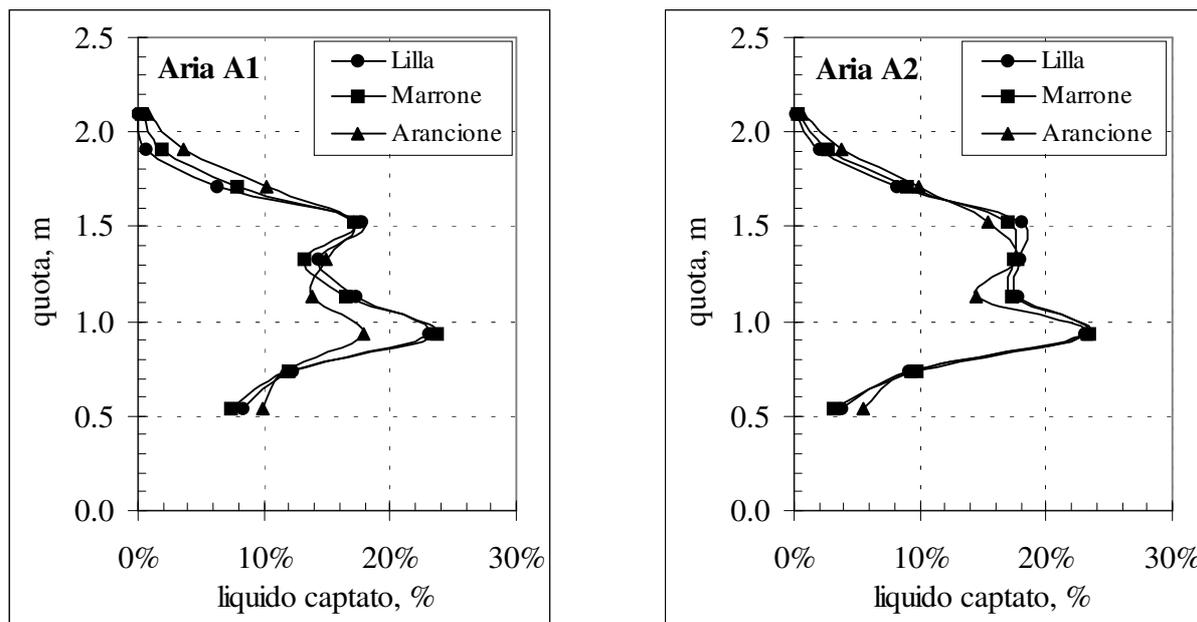


Fig. 1. Profili di distribuzione al banco prova per le due portate d'aria.

3.2. MISURE SUL VIGNETO

Le principali caratteristiche geometriche del vigneto misurate in occasione delle prove sono riportate nella tabella 2. Da essa emerge, nonostante il mese di intervallo, una sostanziale similitudine delle piante nei due stadi. È però da dire che qualche giorno prima delle prove del secondo stadio, nel vigneto era stato effettuato un intervento di potatura verde e di legatura dei tralci che aveva ricondotto le piante alla loro forma e dimensioni tipiche.

Tab. 2. Valori medi e coefficienti di variazione delle principali caratteristiche del vigneto⁽¹⁾.

| | Stadio 1 | | Stadio 2 | |
|--|----------|-------|----------|-------|
| | media | CV, % | media | CV, % |
| Altezza massima vegetazione, m | 1,62 | 3,4 | 1,61 | 2,6 |
| Altezza minima vegetazione, m | 0,65 | 8,1 | 0,60 | 11,0 |
| Altezza cordone, m | 0,78 | 6,2 | 0,74 | 7,0 |
| Spessore massimo vegetazione, m | 0,51 | 12,1 | 0,52 | 10,5 |
| LAI fascia alta esterna, m ² /m ² | 0,13 | 65,1 | 0,13 | 67,5 |
| LAI fascia media esterna, m ² /m ² | 0,25 | 44,9 | 0,28 | 36,1 |
| LAI fascia bassa esterna, m ² /m ² | 0,21 | 52,9 | 0,22 | 39,4 |
| LAI fascia alta interna, m ² /m ² | 0,14 | 71,4 | 0,18 | 55,3 |
| LAI fascia media interna, m ² /m ² | 0,21 | 56,9 | 0,24 | 47,9 |
| LAI fascia bassa interna, m ² /m ² | 0,19 | 38,1 | 0,21 | 32,5 |
| LAI totale | 1,13 | 16,4 | 1,25 | 21,5 |

(1) Media su 24 piante.

La tabella 2 riporta pure la distribuzione del LAI per fascia d'altezza e di profondità, ed evidenzia un aumento di circa il 10% del LAI complessivo passando dal primo stadio al secondo. La tabella 3 riporta infine il numero di strati fogliari, pari a poco più di 2 nella fascia alta, quasi 4 nella media e poco più di 3 nella bassa. Passando dal primo al secondo stadio, il maggior incremento si è registrato nella fascia centrale (da 3,52 a 3,92, pari all'11%).

Tab. 3. Numero di strati fogliari⁽¹⁾.

| Profondità | Stadio 1 | | | Stadio 2 | | |
|--------------|----------|---------|--------|----------|---------|--------|
| | Esterno | Interno | Totale | Esterno | Interno | Totale |
| Fascia bassa | 1,64 | 1,48 | 3,12 | 1,58 | 1,53 | 3,11 |
| Fascia media | 1,90 | 1,62 | 3,52 | 2,10 | 1,82 | 3,92 |
| Fascia alta | 1,00 | 1,08 | 2,08 | 0,98 | 1,30 | 2,28 |

(1) Media su 24 piante.

3.3. MISURE DEL DEPOSITO FOGLIARE

I risultati essenziali dell'analisi di varianza sui dati del deposito fogliare sono riportati nella tabella 4, limitata ai fattori principali e alle interazioni del primo ordine, non essendo significative le interazioni di ordine superiore. I valori di deposito nelle diverse condizioni di prova sono riportati nella tabella 5.

Tab. 4. Prospetto della tabella ANOVA per i depositi fogliari.

| Sorgente di variazione | Gradi di libertà | Stadio 1 | Stadio 2 |
|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | Significatività ⁽¹⁾ | Significatività ⁽¹⁾ |
| Velocità (v) | 2 | 0,405 ^{ns} | 0,853 ^{ns} |
| Aria (A) | 1 | 0,049 [*] | 0,843 ^{ns} |
| v × A | 2 | 0,646 ^{ns} | 0,127 ^{ns} |
| Altezza (H) | 2 | 0,000 ^{***} | 0,000 ^{***} |
| H × v | 4 | 0,005 ^{**} | 0,022 [*] |
| H × A | 2 | 0,256 ^{ns} | 0,071 ^{ns} |
| Profondità (P) | 1 | 0,000 ^{***} | 0,000 ^{***} |
| P × v | 2 | 0,280 | 0,031 [*] |
| P × A | 1 | 0,796 ^{ns} | 0,000 ^{***} |
| H × P | 2 | 0,011 [*] | 0,010 [*] |

(1) ns: non significativo; *: significativo per p=0,05; **: significativo per p=0,01; ***: significativo per p=0,001.

Tab. 5. Depositi fogliari ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$) nei due stadi normalizzati a 350 l/ha⁽¹⁾.

| | Velocità, km/h | | | Volume aria, m ³ /h | | Media |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|-------|
| | 3,4 | 5,0-5,2 | 10,1 | 14000 | 27000 | |
| Stadio 1 | 0,355 ^{ns} | 0,313 ^{ns} | 0,360 ^{ns} | 0,374 ^a | 0,312 ^b | 0,343 |
| Stadio 2 | 0,305 ^{ns} | 0,327 ^{ns} | 0,296 ^{ns} | 0,309 ^{ns} | 0,309 ^{ns} | 0,309 |
| | Fascia d'altezza | | | Profondità | | Media |
| | Bassa | Media | Alta | Esterno | Interno | |
| Stadio 1 | 0,293 ^b | 0,329 ^b | 0,406 ^a | 0,414 ^a | 0,272 ^b | 0,343 |
| Stadio 2 | 0,243 ^c | 0,294 ^b | 0,392 ^a | 0,399 ^a | 0,220 ^b | 0,309 |

(1) Medie con la stessa lettera non differiscono per p=0,05; ns: non significativo.

Da un esame della tabella 4 si evince innanzitutto che, relativamente al primo stadio e in merito ai fattori principali, la velocità di avanzamento non influenza significativamente il deposito, ovvero che si ottengono depositi mediamente uguali alle tre velocità (Tab. 5). Questo risultato complessivo suggerirebbe di operare in campo con le velocità più elevate (prossime ai 10 km/h), al fine di ridurre i tempi di lavoro e quindi assicurare una maggiore tempestività di intervento. La portata d'aria tende invece ad avere un'influenza significativa (significatività pari a 0,049): passando dalla portata d'aria minore (14000 m³/h) a quella maggiore (27000 m³/h), il deposito medio complessivo subisce una riduzione di circa il 17%

(da 0,374 a 0,312 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$), certamente a causa di una maggior deriva. Quest'altro risultato suggerisce di operare in campo con la portata d'aria ridotta, sia per contenere la deriva ambientale, sia per ridurre i costi (il ventilatore rappresenta il componente a più alta richiesta energetica a bordo di un'irroratrice). Infine, l'interazione portata d'aria \times velocità di avanzamento non è risultata statisticamente significativa. Ciò significa che il risultato medio non è influenzato dai livelli dell'altra variabile, ovvero che il deposito con la portata d'aria maggiore è sempre inferiore, qualunque sia la velocità, e che il deposito alle tre velocità è sempre mediamente costante, qualunque sia la portata d'aria.

Passando ad esaminare la distribuzione del prodotto sulla pianta (Tab. 5), la tabella 4 dell'ANOVA evidenzia innanzitutto, com'era prevedibile, differenze significative legate alla profondità di campionamento: il deposito medio sulle foglie esterne (0,414 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$) è 1,52 volte quello sulle foglie interne (0,272 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$). La tabella evidenzia anche differenze statisticamente significative fra le tre fasce d'altezza: il deposito sulla fascia alta è mediamente maggiore che sulle altre due. Ciò potrebbe dipendere dai valori del LAI delle tre fasce: il LAI della fascia alta (0,27 m^2/m^2) è infatti poco più della metà di quello delle altre due, per cui la quantità di prodotto su di essa irrorato, sebbene minore di quella distribuita sulle altre due fasce (profili di distribuzione al banco prova), si distribuisce su una superficie inferiore e ne risultano depositi unitari più elevati.

Queste differenze legate alla fascia d'altezza e alla profondità di campionamento si influenzano però reciprocamente (interazione altezza \times profondità statisticamente significativa per $p = 0,01$): una rappresentazione grafica dell'interazione (Fig. 2) mostra che all'interno il deposito tende ad essere costante, mentre all'esterno decresce dall'alto verso il basso. Ciò potrebbe essere spiegato, oltre dal fatto che nelle fasce media e bassa le piante presentavano i più elevati valori del LAI e del numero di strati fogliari, anche dalle inevitabili oscillazioni verticali dell'irroratrice in presenza di suolo non perfettamente sistemato. Tali sobbalzi, specie in presenza di elevate velocità, fanno sì che proprio la fascia bassa abbia maggiormente a risentirne in termini di irrorazione. A conferma di ciò, la tabella dell'ANOVA evidenzia la significatività per $p = 0,005$ proprio dell'interazione altezza \times velocità. La rappresentazione grafica di tale interazione (Fig. 3) mostra chiaramente che con la velocità più elevata si esaltano le differenze fra le tre fasce d'altezza. Questi risultati, al fine di salvaguardare l'uniformità di distribuzione sulla pianta, suggeriscono dunque che la velocità ottimale di avanzamento in campo si attesta sui 5-6 km/h.

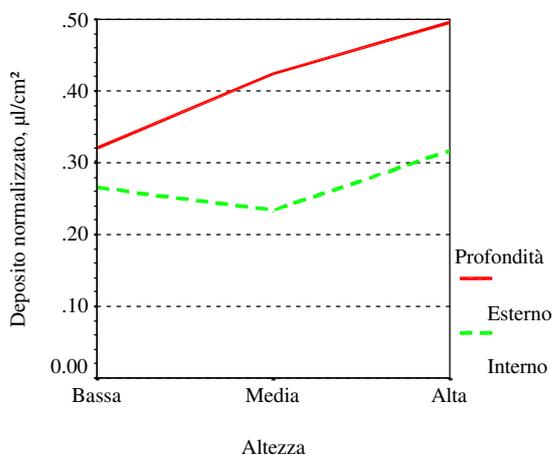


Fig. 2. Deposito fogliare in funzione dell'altezza e della profondità nello stadio 1

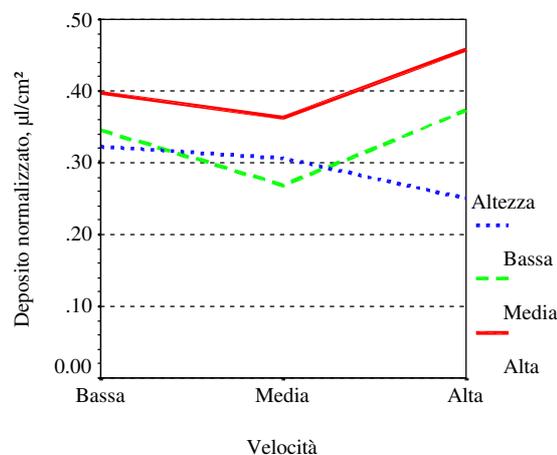


Fig. 3. Deposito fogliare in funzione della velocità e dell'altezza nello stadio 1

Da evidenziare, infine, l'assenza di interazione significativa tra aria e profondità: l'aumento di portata d'aria non favorisce la penetrazione del deposito all'interno della vegetazione, anzi, con la portata d'aria superiore, il deposito si riduce, oltre che all'esterno, anche all'interno. La riduzione complessiva, come già detto, potrebbe dipendere da un aumento della deriva. Oltre a ciò, quando l'aria arriva sulle foglie ad elevata velocità, esercita su di esse un'azione "dilavante", nel senso che "soffia" via le gocce, andando così ben al di là della funzione di trasporto ad essa richiesta. Inoltre, le stesse foglie più esterne, anziché venire mosse per favorire la bagnatura di entrambe le pagine e l'ingresso del prodotto verso l'interno, spesso vengono spinte dall'aria ad alta velocità contro i tralci e le altre foglie retrostanti, costituendo una sorta di barriera che blocca l'accesso del getto all'interno della vegetazione. Tutte queste osservazioni mostrano ancora una volta la necessità di dedicare alla portata d'aria la giusta attenzione, perché è una delle variabili maggiormente in grado di influenzare la riuscita di un trattamento.

Passando ad esaminare i risultati del secondo stadio, è innanzitutto da osservare che il deposito medio complessivo (la grande media, tabella 5) è sceso, dal primo al secondo stadio, da 0,343 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ a 0,309 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ e ciò certamente a causa dei valori di LAI più elevati, per cui lo stesso prodotto irrorato andava a distribuirsi su una superficie fogliare superiore.

L'analisi di varianza ha confermato molti dei risultati ottenuti nel primo stadio, con qualche indicazione diversa per la portata d'aria, per cui saranno necessari ulteriori approfondimenti. In merito ai fattori principali (Tabb. 4 e 5), la velocità di avanzamento, così come nel primo stadio, continua a non influenzare significativamente il deposito, mentre l'aumento della portata d'aria, che nel primo stadio lo aveva sensibilmente ridotto, anche se al limite della significatività, nel secondo stadio non ne produce alcun calo significativo. Si conferma così l'opportunità di operare in campo con la velocità più elevata e la portata d'aria ridotta. In merito alla distribuzione del prodotto sulla pianta (Tabb. 4 e 5), si riconfermano le differenze significative legate alla profondità di campionamento e alla fascia d'altezza. Relativamente al primo aspetto, il deposito medio sulle foglie esterne (0,399 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$) è risultato 1,81 volte quello sulle foglie interne (0,220 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$), rapporto maggiore di quello ottenuto nel primo stadio (1,52), certamente a causa dell'incremento dell'11% nei valori del LAI, circostanza che rende più difficile al getto l'attraversamento della chioma. La maggior riduzione di deposito si è infatti verificata proprio sulle foglie interne, dove si è mediamente passati da 0,272 a 0,220 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ (-19%). Sulle foglie esterne l'analoga riduzione è stata invece molto più contenuta (poco meno del 4%). Riguardo alla distribuzione del deposito in altezza, si conferma la tendenza crescente dal basso verso l'alto, probabilmente per gli stessi motivi già discussi nel primo stadio. Come nel primo stadio, anche nel secondo le differenze legate alla fascia d'altezza e alla profondità di campionamento si influenzano reciprocamente (interazione altezza \times profondità statisticamente significativa per $p = 0,01$): una rappresentazione grafica dell'interazione produce un diagramma del tutto simile a quello ottenuto nel primo stadio, e pertanto spiegabile con le stesse motivazioni. Un'ultima riconferma dei risultati del primo stadio riguarda la significatività per $p = 0,02$ dell'interazione altezza \times velocità. La rappresentazione grafica di tale interazione mostra che ancora una volta la velocità media, sui 5-6 km/h, assicura la migliore uniformità di deposito sulle tre fasce d'altezza individuate sulla vegetazione. Le uniche due differenze degne di nota rispetto al primo stadio riguardano la significatività statistica delle interazioni profondità \times velocità e profondità \times portata d'aria. Un esame della prima (Fig. 4) mostra chiaramente che con la velocità più elevata si riduce il deposito sulle foglie interne, probabilmente perché si riduce il tempo di trasporto delle gocce da parte del flusso d'aria emesso dal ventilatore, ulteriore motivo per operare in campo a velocità non superiori ai 5-6 km/h. L'altra interazione

indica che la portata d'aria ha un effetto significativo sulla penetrazione del getto all'interno della chioma. Precisamente (Fig. 5) risulta che, a fronte di una diminuzione non significativa del deposito sulle foglie esterne (da 0,422 a 0,377 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$, pari a un calo dell'11%), l'aumento della portata d'aria ha consentito un incremento significativo del deposito sulle foglie interne (da 0,197 a 0,242 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$, pari al 23%). Questo risultato potrebbe rendere preferibile lavorare in campo con la portata d'aria più elevata, perché comunque essa ha favorito un maggior deposito medio all'interno della vegetazione. Tuttavia, esaminando più in dettaglio i risultati, è emerso che tale aumento ha interessato essenzialmente le foglie interne della parte alta della chioma, mentre sulle foglie esterne il deposito è stato sempre maggiore con la portata d'aria inferiore. Questo risultato potrebbe spiegarsi tenendo conto che il trattamento è stato eseguito in uno stadio vegetativo relativamente avanzato (inizio maturazione, a metà luglio), dopo che sulle viti erano state effettuate da qualche giorno operazioni di potatura verde (cimatura, legatura dei tralci), riguardanti maggiormente proprio la fascia alta della vegetazione. La sistemazione della parte alta della chioma potrebbe quindi aver localmente favorito un incremento del deposito sulle foglie interne, mentre l'effetto è scarso o nullo sulla fascia media e bassa, più spesse e cariche di foglie e grappoli.

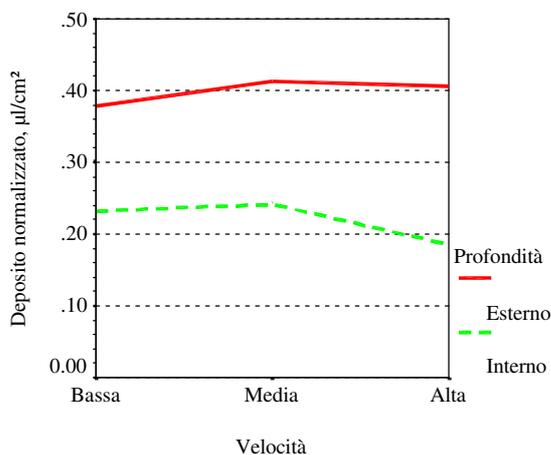


Fig. 4. Deposito fogliare in funzione della velocità e della profondità nello stadio 2.

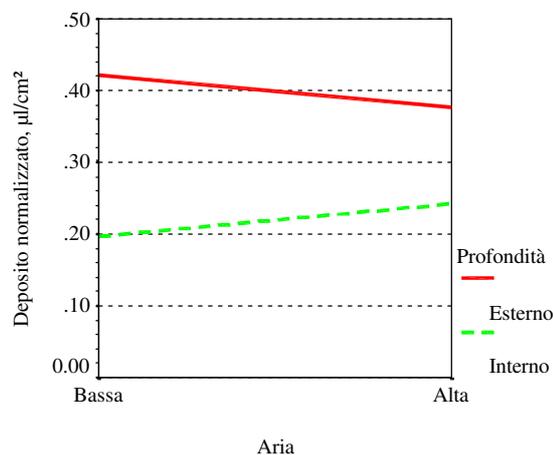


Fig. 5. Deposito fogliare in funzione dell'aria e della profondità nello stadio 2.

4. CONCLUSIONI

Le sperimentazioni effettuate consentono di trarre le seguenti conclusioni:

- l'aumento della portata d'aria da 14000 a 27000 m^3/h nel primo stadio ha determinato una riduzione significativa del deposito medio sulle foglie, senza migliorare la penetrazione del prodotto all'interno della chioma. Nel secondo stadio, invece, a fronte di nessuna riduzione del deposito medio, ha favorito l'aumento del deposito nella parte alta-interna della chioma, probabilmente in conseguenza delle operazioni di potatura verde effettuate sulle piante qualche giorno prima delle prove. Sebbene possano essere necessarie ulteriori sperimentazioni in tal senso, la tendenza che emerge spinge verso una riduzione dei volumi d'aria;
- le velocità provate nei due stadi (3,4, 5,0-5,2 e 10,1 km/h) non hanno influenzato significativamente il deposito medio. Tuttavia alla velocità più elevata sono aumentate le disuniformità di deposito sulle piante (fra esterno e interno e fra le tre fasce d'altezza), per cui la velocità ottimale per l'esecuzione dei trattamenti si attesta sui 5-6 km/h.

Bibliografia

Balsari P., Tamagnone M., (1997), *Una attrezzatura mobile per il controllo della distribuzione delle macchine irroratrici per le colture arboree*, Rivista di Ingegneria Agraria, 1, 27-35.

Bellissima C., Cerruto E., Failla S., (2000), *Valutazione di irroratrici per trattamenti in agrumeto*, Atti del convegno nazionale delle sezioni III, IV, V e VI dell'AIIA su "La ricerca multidisciplinare ed integrata per la valutazione e la gestione dei sistemi agricoli", Campobasso, 27-28 giugno 2000, 349-361.

Biocca M., Vannucci D., (2000), *Verso il controllo obbligatorio delle macchine irroratrici*, supplemento a l'Informatore Agrario, 20, 15-18.

Commissione delle Comunità Europee (2002), *Verso una strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi*, Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento europeo e al Comitato economico e sociale, Bruxelles, COM 349 definitivo, 1 luglio 2002.

Doruchowski G., Holowinicki R., Godyn A., (1996), *Air Jet Setting Effect on Spray Deposition within Apple Tree Canopy and Loss of Spray in Orchard*, Ageng96, Madrid, 23-26 settembre 1996, Paper 96-A-139.

Furness G., Bollenhagen L., Packer J., (2003), *The Influence of Fan Design on Power Efficiency, Spray Coverage and Work Rate with Multi-Fan Sprayers*, Atti del VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Cuneo, 25-27 giugno 2003, 19-33.

Holowinicki R., Doruchowski G., Swiechowski W., Godyn A., (2003), *VarioWindSelect System for Automatic Adjustment of Nozzle Type to the Wind Velocity*, Atti del VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Cuneo, 25-27 giugno 2003, 51-58.

Lakota M., Stajanko D., Bercic S., (2003), *Reduction of Pesticides Consumption with a Two-Stream Sprayer Application*, Atti del VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Cuneo, 25-27 giugno 2003, 163-170.

Moltò E., Martin B., Gutierrez A., (2001), *Pesticide Loss Reduction by Automatic Adaptation of Spraying on Globular Trees*, J. Agric. Engng Res., 78 (1), 35-41.

Pergher G., Balsari P., Cerruto E., Vieri M., (2002), *The Relationship between Vertical Spray Patterns from Air-Assisted Sprayers and Foliar Deposits in Vine Canopies*, Aspects of Applied Biology, 66, 323-330.

Pergher G., Gubiani R., (1995), *The Effect of Spray Application Rate and Airflow Rate on Foliar Deposition in a Hedgerow Vineyard*, J. Agric. Engng Res., 61, 205-216.

Pergher G., Gubiani R., Tonetto G., (1997), *Foliar Deposition and Pesticide Losses from three Air-Assisted Sprayers in a Hedgerow Vineyard*, Crop Protection, vol. 16, n. 1, 25-33.

Wenneker M., Heijne B., Van De Zande J.C., (2003), *Drift Reduction and Efficacy of Orchard Spraying with a Sensor-Equipped Cross-Flow Sprayer*, Atti del VII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing, Cuneo, 25-27 giugno 2003, 247-255.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Dott. Giuseppe Tornello per il valido aiuto fornito durante le prove in campo.