

ANALISI TEORICA DEGLI SPRAY TRAMITE SIMULAZIONE SU CARTINE IDROSENSIBILI

C. AGLIECO, E. CERRUTO

Dipartimento GeSA—Sezione Meccanica
Università degli Studi—Via S. Sofia 100, 95123 Catania
claudiaaglieco@virgilio.it

RIASSUNTO

Il presente lavoro riporta i risultati di prove simulate di applicazione di agrofarmaci con spray caratterizzati da diverso grado di polverizzazione (fine, medio e grossolano) e differente coefficiente di variazione. Utilizzando il software *open source R* e assumendo alcune semplificative ipotesi di lavoro, si sono prodotte varie serie di immagini per ogni tipo di spruzzo e per diversi livelli di copertura superficiale. Tali immagini, considerate come ottenute da reali cartine idrosensibili a seguito di un trattamento, sono state analizzate con un altro software *open source* specifico per l'analisi di immagine (*ImageJ*), così da studiare le correlazioni tra il volume delle gocce usate per generarle e le caratteristiche delle immagini stesse. Lo studio ha mostrato che le coperture superficiali teoriche ed effettive sono legate da una stessa legge quadratica a prescindere dal tipo di spruzzo e che sussiste una stretta correlazione tra il volume effettivo e il volume calcolato partendo dalle singole impronte, purché si disponga di una stima del diametro medio delle gocce. In definitiva, l'analisi delle sole cartine idrosensibili può essere in grado di fornire indicazioni sia sulla misura del deposito sia sulla sua distribuzione in termini di superficie coperta e di numero di impronte per centimetro quadrato.

Parole chiave: agrofarmaci, analisi di immagini, polverizzazione gocce

SUMMARY

THEORETICAL ANALYSIS OF SPRAYS BY SIMULATION ON WATER SENSITIVE PAPERS

The paper reports the results of some simulations of trials concerning the application of pesticides by means of sprays with different levels of pulverisation (fine, medium and coarse) and different coefficients of variation. By using the open source software *R* and making some simplifying assumptions, we produced several images for each type of spray and for different levels of superficial coverage. These images, regarded as obtained from real water sensitive papers after a pesticide application, were analysed by means of another open source software, the *ImageJ*, specific for image analysis, so to examine the correlations between the volume of the drops used to produce them and their features. The study showed that theoretical and effective covered surfaces are correlated by means of the same quadratic relation, apart from the spray type, and that there is a significant correlation between effective volume and volume calculated from the single spots, provided that an estimate of the drop's average diameter is available. Ultimately, the analysis of the water sensitive papers can convey indications both on the measurement of the deposition and on its distribution in terms of surface coverage and number of spots per square centimetre.

Keywords: pesticides, image analysis, drop's atomisation

INTRODUZIONE

Numerosi lavori di ricerca condotti negli ultimi anni hanno evidenziato che, sebbene la valutazione delle applicazioni degli agro farmaci sia strettamente connessa con il risultato dei test biologici, un'accurata regolazione delle macchine irroratrici dovrebbe comunque mirare ad

una distribuzione uniforme della miscela fitoiatrica sulle colture (Vanella *et al.*, 2010). Per valutare questo aspetto si impiegano sia metodi quantitativi, basati sulla misura del volume di liquido o della massa di opportuni microelementi che raggiungono il bersaglio, rilevati poi tramite appropriate tecniche (Cerruto, 2007), sia metodi qualitativi, basati sull'analisi degli impatti prodotti dalle gocce su opportuni bersagli artificiali (Salyani e Fox, 1999; Cerruto e Failla, 2003; Pergher *et al.*, 2008). Tra i bersagli artificiali più utilizzati sono da annoverare le cartine idrosensibili e quelli in PVC ricoperti da un velo di silicone spray. Le prime vengono soprattutto utilizzate per una rapida stima della copertura superficiale, mentre i secondi mantengono meglio separate le impronte e consentono una loro analisi anche con volumi elevati. Le informazioni deducibili dai due supporti sono comunque strettamente correlate fra loro (Cerruto *et al.*, 2009), soprattutto in termini di distribuzione della popolazione di impronte.

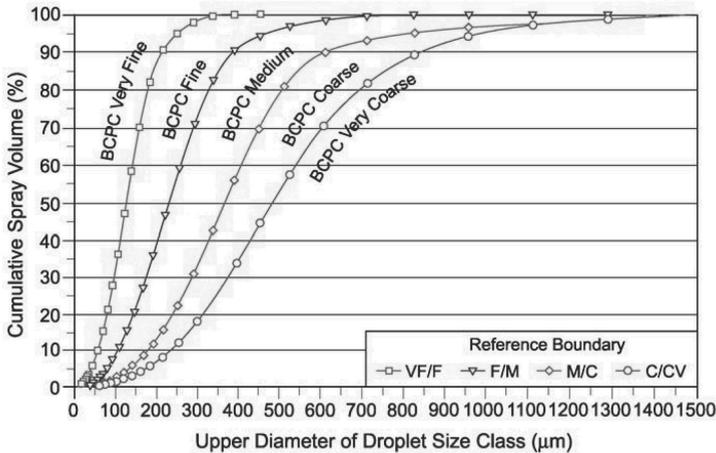
Nell'ambito del presente lavoro si è simulato il comportamento delle cartine idrosensibili, così da trarre dalla loro analisi ottica anche informazioni sulle caratteristiche dello spruzzo e sul deposito intercettato, parametri strettamente correlati all'efficacia di un trattamento fitosanitario.

MATERIALI E METODI

Il piano sperimentale

L'attività di ricerca svolta è incentrata sulla simulazione di trattamenti fitosanitari eseguiti tramite spruzzi di caratteristiche diverse e sulla successiva analisi dei corrispondenti depositi rilevati tramite ipotetiche cartine idrosensibili. Precisamente, con riferimento alla classificazione degli spruzzi secondo il *British Crop Protection Council* (BCPC), si sono considerati tre spruzzi aventi diametro medio pari a 100 μm (*Fine*), 160 μm (*Medium*), e 250 μm (*Coarse*) (figura 1).

Figura 1. Curva di classificazione degli spray secondo la BCPC



Per ogni diametro medio si sono considerati tre diversi coefficienti di variazione (CV) (40%, 50% e 60%) e per ogni diametro medio e CV sei valori di percentuale di superficie coperta delle ipotetiche cartine idrosensibili, variabili dal 10% al 60% a passi di 10. Infine, per ognuna delle condizioni predette si sono effettuate tre ripetizioni, producendo un totale di 162 immagini. La distribuzione della popolazione dei diametri delle gocce è stata fissata secondo la legge log-normale, descritta dalla funzione densità di probabilità:

$$p(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_g D} e^{-\frac{(\ln D - \mu_g)^2}{2\sigma_g^2}} \quad (1)$$

La simulazione è stata sviluppata in accordo ai seguenti passi principali:

1. Fissato il tipo di spruzzo, ovvero il diametro medio delle gocce μ e il coefficiente di variazione CV assunti come riferimento, generare la corrispondente popolazione di gocce. I parametri μ_g e σ_g che caratterizzano la distribuzione log-normale sono stati calcolati in funzione di μ e CV in accordo a:

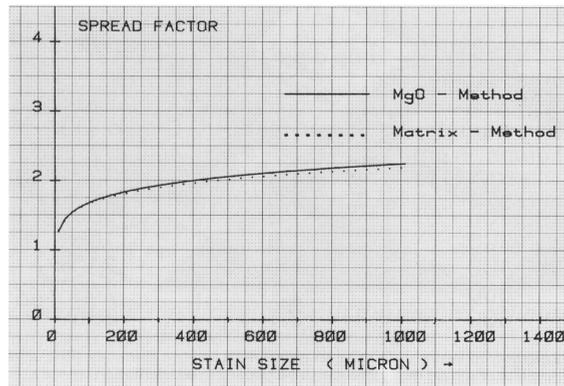
$$\mu_g = \frac{1}{2} \ln \frac{\mu^2}{1 + CV^2}; \quad \sigma_g = \sqrt{\ln(1 + CV^2)} \quad (2)$$

2. Determinare il diametro D_i dell'impronta prodotta su una cartina idrosensibile da una goccia di diametro D_g . A tal fine si è utilizzata l'equazione ricavata dall'andamento della curva dello *spread factor* (rapporto tra il diametro dell'impronta e il diametro della goccia) fornita nella documentazione tecnica delle cartine idrosensibili (Novartis)(figura 2):

$$D_i = 0,9377 \cdot D_g^{1,1429} \quad (3)$$

ove i diametri sono espressi in micrometri.

Figura 2. Andamento dello *spread factor* in funzione del diametro dell'impronta (Novartis)



3. Generare le immagini delle cartine idrosensibili (2 cm × 7 cm) disponendo casualmente le impronte nere, considerate circolari, su sfondo bianco, fino a raggiungere il valore teorico di percentuale di superficie coperta, valutato in assenza di sovrapposizione. Le immagini sono state prodotte con una risoluzione di 1200 dpi, sufficiente a discriminare impronte aventi diametro minimo pari a circa 24 μm . In figura 3 è riportato un esempio di immagine di cartina prodotta dalla simulazione.
4. Calcolare il volume trasportato dalle gocce utilizzate per produrre l'immagine della cartina (volume effettivo V_E , μl) e riferirlo all'unità di superficie della cartina (cm^2), così da ottenere il deposito unitario ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$).

Per la realizzazione della suddetta procedura sono state scritte alcune funzioni in *R*, fra cui:

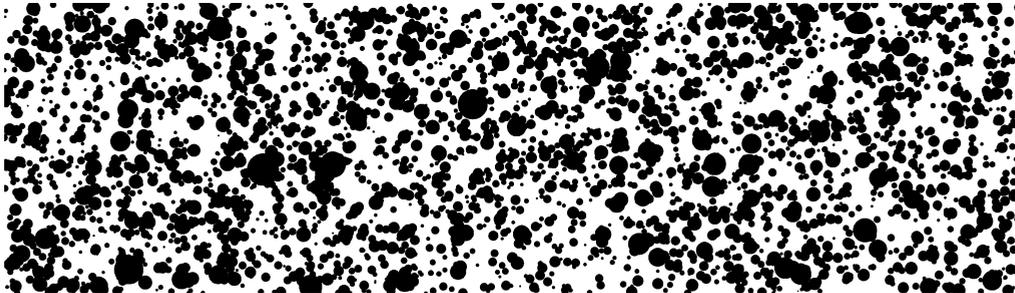
- Una funzione per generare una popolazione di n diametri di gocce di media μ , coefficiente di variazione CV e distribuiti secondo la distribuzione log-normale:

$$\text{diametri} = \text{diametri}(\mu, CV, n)$$

- Una funzione che, ricevendo in ingresso gli n diametri precedentemente generati e la percentuale di superficie coperta teorica PSCT, genera le immagini delle cartine:

immagini = immagini (PSCT, diametri)

Figura 3. Immagine di cartina con spruzzo *Coarse* e copertura superficiale teorica del 60%



Analisi dei dati

Le immagini prodotte con le simulazioni in *R* sono state successivamente analizzate tramite un altro software di pubblico dominio, l'*ImageJ* (Abramoff *et al.*, 2004), specifico per simili applicazioni, come fossero immagini di reali cartine idrosensibili ottenute da un reale trattamento. L'*ImageJ* fornisce per ogni immagine una serie di dati che è possibile correlare tra di loro e con i valori teorici utilizzati per generarla. I principali dati di sintesi utilizzati sono stati la percentuale di superficie coperta dalle impronte, il numero di impronte per centimetro quadrato di superficie, l'area media di ciascuna impronta e l'indice di circolarità medio, un parametro compreso fra zero e uno che indica quanto la forma individuata si avvicina a quella di un cerchio. Poiché il software non distingue gli oggetti sovrapposti, le impronte individuate possono derivare dalla sovrapposizione di più gocce. Tali dati (in particolare la percentuale di superficie coperta, la grandezza di più immediata lettura), sono stati posti in correlazione fra di loro, con la percentuale di superficie coperta teorica, con il numero di impatti per centimetro quadrato, e con il volume per centimetro quadrato trasportato dalle gocce utilizzate per produrre le immagini.

Successivamente, è stato calcolato il diametro del cerchio equivalente (cioè di pari area) di ogni impronta individuata da *ImageJ*, il diametro della goccia in grado di produrre un'impronta con quel diametro, e il volume da essa trasportato. Per determinare il diametro della goccia partendo dal diametro dell'impronta, si è utilizzata la relazione:

$$D_g = 1,0579 \cdot D_i^{0,8749} \quad (4)$$

inversa all'equazione (3) e con i diametri sempre espressi in micrometri.

I dati così calcolati sono stati correlati con quelli teorici per studiarne la variazione in funzione del tipo di spruzzo (diametro medio e coefficiente di variazione), utilizzato per produrre le immagini delle cartine.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Copertura superficiale

La prima correlazione esaminata è stata quella fra la percentuale di superficie coperta teorica, in assenza di sovrapposizione, e quella misurata sulle immagini. Le due grandezze sono risultate correlate da una legge quadratica (figura 4) altamente significativa, caratterizzata da un coefficiente di determinazione pari a 0,9997. A fronte di una variazione della prima dal 9,7% al 60,1%, la seconda è variata dal 9,1% al 45,4% a causa delle sovrapposizioni fra le im-

pronte. Pertanto si può stimare una sovrapposizione delle impronte crescente dallo 0,6% al 14,7% al crescere della copertura superficiale sulle cartine.

La legge quadratica ottenuta è risultata indipendente dalle caratteristiche dello spruzzo utilizzato per produrre le immagini. Nel grafico di figura 4 sono infatti riportati i dati di tutte le immagini analizzate (i tre tipi di spruzzo, ognuno con i tre coefficienti di variazione, e le tre ripetizioni) e i punti sono praticamente sovrapposti.

Successivamente è stata esaminata la correlazione fra la percentuale di superficie coperta e il deposito unitario ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$) utilizzato per produrre le immagini. Si è riscontrato (figura 5) che il deposito tende a crescere, con legge approssimativamente lineare, al crescere della percentuale di superficie coperta misurata, con andamenti però influenzati dal tipo di spruzzo e dal coefficiente di variazione CV. L'influenza esercitata dal CV è più marcata al crescere del diametro medio dello spruzzo, in quanto le differenze fra le pendenze delle rette si accentuano. Ne segue che per stimare il volume di liquido effettivamente depositato su una cartina idrosensibile, la conoscenza della sola copertura superficiale è insufficiente, ma occorrono anche informazioni sulle caratteristiche dello spruzzo, in particolare sul diametro medio delle gocce e sul coefficiente di variazione dei diametri.

Figura 4. Correlazione tra copertura superficiale misurata e teorica

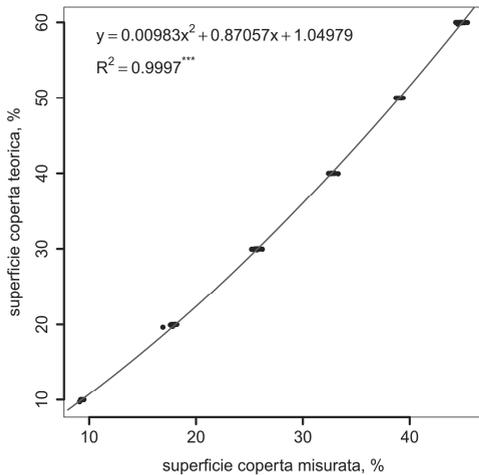
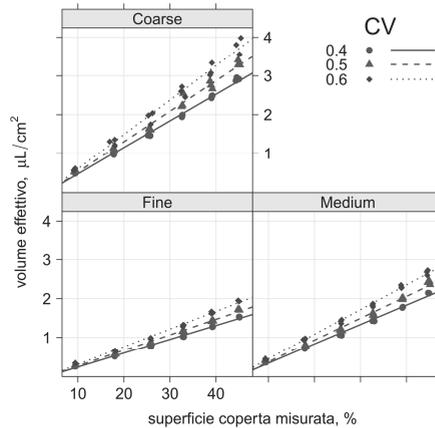


Figura 5. Correlazione tra copertura superficiale misurata e volume effettivo



Per quanto riguarda la correlazione tra percentuale di superficie coperta e diametro equivalente medio delle impronte, è emersa una tendenza crescente del secondo al crescere della prima (figura 6). Ciò è da imputare all'effetto della sovrapposizione delle impronte, più accentuato quando la copertura superficiale è maggiore. L'effetto del coefficiente di variazione cresce al crescere del diametro medio degli spruzzi.

Infine, i valori dell'indice di circolarità delle impronte decrescono al crescere della percentuale di superficie coperta: ciò dipende dal fatto che, crescendo la copertura superficiale, aumentano le sovrapposizioni delle impronte e quindi le loro forme tendono a discostarsi maggiormente da quella circolare (figura 7). Inoltre è da notare come l'indice di circolarità decresca più rapidamente negli spruzzi più uniformi (minore coefficiente di variazione): in tal caso, infatti, la sovrapposizione di due gocce simili produce un'impronta che si discosta maggiormente da un cerchio.

Figura 6. Correlazione tra copertura superficiale misurata e diametro medio equivalente

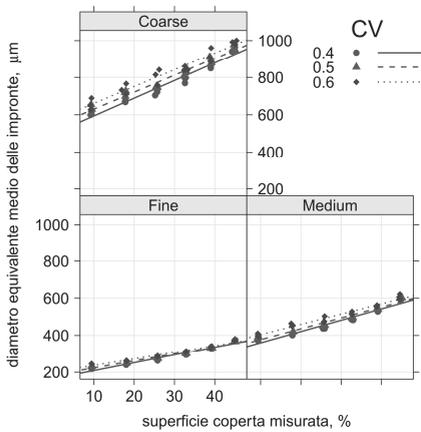
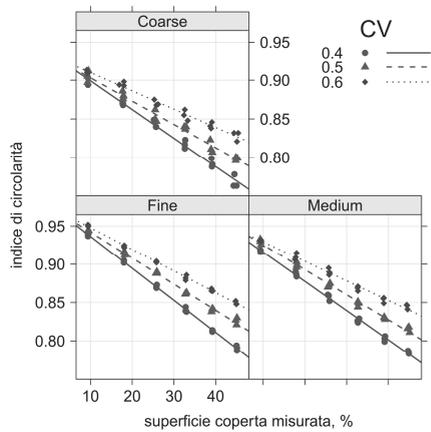


Figura 7. Correlazione tra copertura superficiale misurata e indice di circolarità



Densità delle impronte e degli impatti

In analogia al volume effettivo, anche la densità di impatti, ovvero il numero di impatti per centimetro quadrato, cresce linearmente al crescere della percentuale di superficie coperta misurata, con legge diversa in funzione del tipo di spruzzo e del coefficiente di variazione (figura 8). In particolare, le variazioni di densità all’aumentare della copertura superficiale tendono ad appiattirsi al crescere del diametro medio degli spray, mentre l’influenza del CV è più evidente con gli spruzzi più fini.

Figura 8. Correlazione tra copertura superficiale misurata e densità di impatti

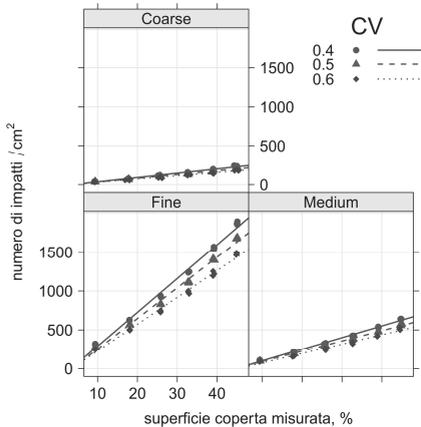
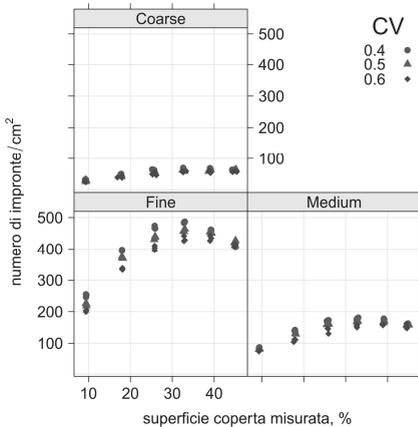


Figura 9. Correlazione tra copertura superficiale misurata e densità delle impronte



La densità delle impronte, pur con comportamento analogo alla densità degli impatti, è legata alla percentuale di superficie coperta misurata da una relazione curvilinea (figura 9): il nu-

mero di impronte per centimetro quadrato cresce fino a che la percentuale di superficie coperta non raggiunge valori dell'ordine del 35%, per poi decrescere. Tale andamento è conseguenza della sovrapposizione delle impronte, che determina una diminuzione del numero di impronte distinte al crescere della superficie coperta.

Sia il diametro equivalente medio delle impronte, sia il volume effettivo non mostrano invece alcuna tendenza ben definita in funzione della densità di impronte (figure 10 e 11). In particolare, la figura 10 evidenzia che, specialmente per gli spruzzi più grossolani, a valori simili di densità di impronte corrispondano valori alquanto diversi di volume per unità di superficie. Ciò porta a concludere che la sola conoscenza della densità di impronte è inadeguata a stimare il volume di liquido depositato sulle cartine.

Figura 10 Correlazione tra densità di impronte e diametro medio equivalente

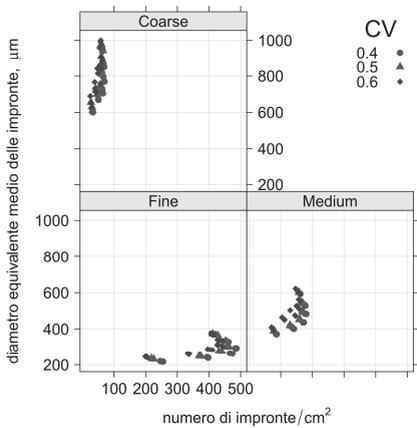
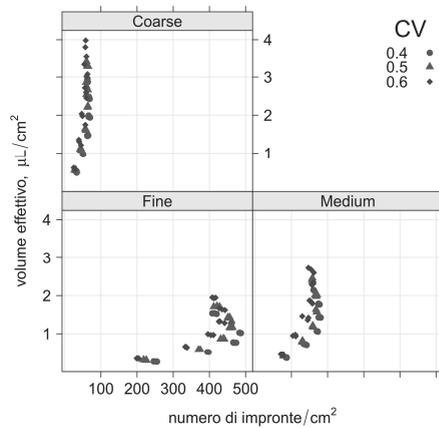


Figura 11. Correlazione tra densità di impronte e volume effettivo



Analisi delle impronte

Stimato il volume (V_C) di liquido intercettato da ogni cartina sulla base delle singole impronte rilevate da *ImageJ*, lo si è correlato con quello (V_E) effettivamente utilizzato per produrre le immagini. Il risultato è mostrato nella figura 12, che evidenzia una stretta correlazione fra le due grandezze, con scarsa influenza del CV, suggerendo la possibilità di pervenire ad una stima abbastanza precisa del volume effettivo a partire dall'analisi delle impronte, quando la percentuale di superficie coperta non supera il 45% circa. La figura, oltre alla scarsa influenza del coefficiente di variazione, evidenzia anche solo una leggera incidenza del tipo di spruzzo. Ciò è evidente sia nel grafico di figura 13, che riporta i tre spruzzi insieme, sia nelle equazioni di regressione riportate in tabella 1, considerate in prima approssimazione di tipo lineare.

Tabella 1. Equazioni di regressione tra volume calcolato V_C e volume effettivo V_E ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$)

Spruzzo	Equazione	R^2	Range V_C	Range V_E
Fine	$V_E=0,6344 V_C+0,1339$	0,9823	0,266 - 3,102	0,250 - 1,951
Medium	$V_E=0,7377 V_C+0,1852$	0,9844	0,358 - 3,594	0,351 - 2,727
Coarse	$V_E=0,7712 V_C+0,2307$	0,9863	0,482 - 4,857	0,479 - 3,981

Le figure 12 e 13, così come la tabella 1, evidenziano anche che il volume calcolato a partire dalle singole impronte è maggiore di quello effettivamente utilizzato per produrre le immagini delle cartine. Ciò risulta sia dal fatto che il range di variazione di V_C è da 1,67 (spruzzo *Fine*) a 1,25 volte (spruzzo *Coarse*) quello di V_E , sia dal fatto che i coefficienti angolari delle rette di regressione sono sempre inferiori a 1. Questo risultato è da imputare all'effetto di sovrapposizione delle impronte, che porta a considerare gocce di diametro maggiore di quelle effettive e quindi alla determinazione di volumi superiori. Probabilmente per pervenire a una determinazione più precisa occorrerebbe includere nella procedura di calcolo anche alcuni descrittori della forma dell'impronta, come l'indice di circolarità.

Figura 12. Correlazione tra volume calcolato e volume effettivo separatamente per ogni spruzzo

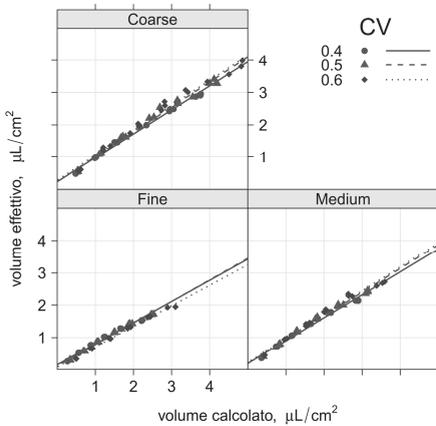
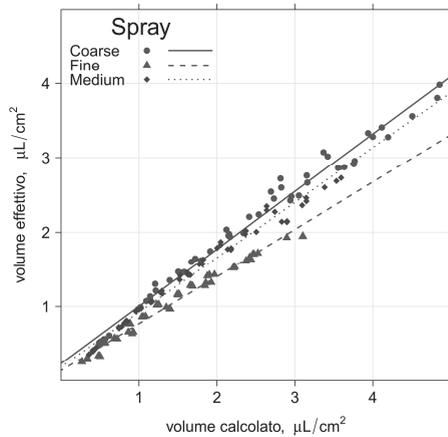


Figura 13. Correlazione tra volume calcolato e volume effettivo sovrapponendo i tre spruzzi



Se, infatti, si include nel modello di regressione il valore dell'indice di circolarità medio di ogni cartina, risulta che la sua influenza è statisticamente significativa per gli spruzzi *Fine* e *Coarse* e pertanto il coefficiente di determinazione aumenta, come riportato in tabella 2. Probabilmente considerando l'indice di circolarità delle singole impronte, il calcolo del volume effettivo diventerebbe ancora più preciso.

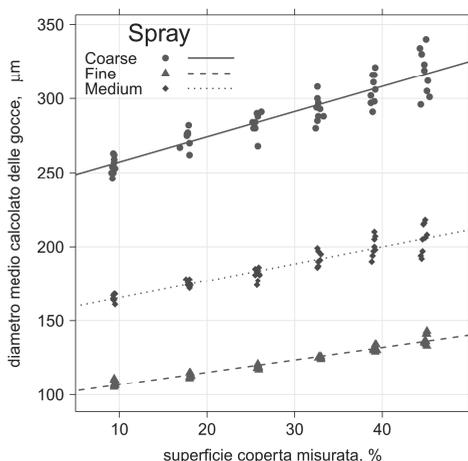
Tabella 2. Parametri della regressione lineare del volume effettivo V_E sul volume calcolato V_C e sull'indice di circolarità IC (volumi in $\mu\text{L}/\text{cm}^2$)

Spruzzo	Intercetta		V_C		IC		R^2
	Stima	p -level	Stima	p -level	Stima	p -level	
<i>Fine</i>	1,8140	0,0000	0,5558	0,0000	-1,7892	0,0000	0,9929
<i>Medium</i>	-0,0523	0,9086	0,7471	0,0000	0,2567	0,6016	0,9845
<i>Coarse</i>	-0,7952	0,0859	0,8008	0,0000	1,1322	0,0270	0,9871

Nel complesso, le equazioni di regressione consentono di stimare con buona precisione il volume per centimetro quadrato intercettato da ciascuna cartina idrosensibile, purché si disponga di una stima del diametro medio delle gocce utilizzate per produrla. Tale stima può essere ottenuta analizzando l'andamento del diametro medio delle gocce intercettate da ogni car-

tina, calcolato analizzando le singole impronte, in funzione della percentuale di superficie coperta misurata (figura 14).

Figura 14. Correlazione tra copertura superficiale misurata e diametro medio calcolato delle gocce



La figura 14 evidenzia che il diametro medio calcolato cresce linearmente al crescere della percentuale di superficie coperta misurata sulle cartine, indipendentemente dal coefficiente di variazione. Estrapolando le rette di regressione a valori bassi di percentuale di superficie coperta (circa il 5%), si ottengono tre stime di diametri medi (103, 160 e 249 μm rispettivamente per *Fine*, *Medium* e *Coarse*) che corrispondono con ottima approssimazione a quelli utilizzati per produrre i tre spruzzi (100, 160 e 250 μm).

In definitiva, la procedura per la determinazione del deposito unitario può così essere sintetizzata:

1. analizzare le singole impronte di ogni cartina, ricavare l'indice di circolarità medio e stimare il diametro delle gocce che le hanno prodotte;
2. calcolare per ogni cartina il diametro medio delle gocce individuate al punto (1) e valutare il suo andamento in funzione della percentuale di superficie coperta della stessa cartina;
3. estrapolare la retta di regressione a valori di superficie coperta pari a circa il 5% e calcolare così il diametro medio effettivo delle gocce realmente utilizzate per produrre le cartine;
4. stimare, sulla base dei diametri individuati al punto (1), il volume di liquido V_C che ha colpito ogni cartina;
5. stimare il volume effettivo V_E in funzione di V_C , dell'indice di circolarità e del diametro medio effettivo determinato al punto (3), applicando le equazioni di regressione riportate nella tabella 2 o nella tabella 1, a seconda che si consideri o meno il contributo dell'indice di circolarità.

Estendendo nel proseguimento della ricerca le simulazioni ad altri spruzzi caratterizzati da diversi diametri medi, forse si potrebbe giungere ad esplicitare in un'unica equazione di regressione la dipendenza del volume effettivo dal volume calcolato, dall'indice di circolarità e dal diametro medio delle gocce presenti nello spruzzo stesso, rendendo così più agevole la procedura di calcolo.

CONCLUSIONI

Le simulazioni condotte nel presente lavoro hanno evidenziato che l'analisi delle cartine idrosensibili può essere in grado di fornire un'informazione completa sulle caratteristiche di un trattamento, ovvero può permettere di stimare sia il deposito unitario sia la sua distribuzione in termini di superficie coperta e di numero di impronte per centimetro quadrato. Nel dettaglio, e nell'ambito delle condizioni di lavoro esaminate, è emerso che:

- L'andamento della superficie coperta teorica in funzione di quella effettiva varia con legge quadratica, indipendentemente dalle caratteristiche dello spruzzo impiegato per produrre le immagini delle cartine idrosensibili;
- Il numero di impatti per unità di superficie e il deposito unitario tendono a crescere linearmente al crescere della percentuale di superficie coperta. Le velocità di crescita sono però condizionate dal tipo di spruzzo e dal coefficiente di variazione CV. Si desume, quindi, che per stimare il deposito unitario su una cartina idrosensibile è necessario conoscere, oltre alla copertura superficiale, anche le caratteristiche dello spruzzo che l'ha prodotta;
- Il numero di impronte per centimetro quadrato presenta un legame curvilineo rispetto alla percentuale di superficie coperta: cresce fino a che la percentuale di superficie coperta non raggiunge valori dell'ordine del 35% per poi decrescere per effetto della sovrapposizione delle impronte;
- Sia il diametro equivalente medio delle impronte sia il volume teorico non mostrano alcuna tendenza ben definita in funzione della densità delle impronte. Quindi la sola informazione della densità di impronte è inadeguata per stimare il deposito sulle cartine;
- La stretta correlazione tra il volume effettivo V_E e il volume V_C calcolato a partire dalle singole impronte, suggerisce la possibilità di pervenire ad una stima del deposito dall'analisi delle immagini delle cartine.

Occorre, nel prosieguo della ricerca, estendere le simulazioni ad altre distribuzioni delle popolazioni dei diametri, ad altri diametri medi degli spruzzi, a più elevati valori di percentuale di superficie coperta e, soprattutto, verificare l'applicabilità dei modelli individuati a dati sperimentali di reali cartine.

LAVORI CITATI

- Abramoff M.D., Magelhaes P.J., Ram S.J., 2004. Image Processing with ImageJ. *Biophotonics International*, 11 (7), 63–42.
- Cerruto E., Failla S., 2003. Prove di distribuzione in vigneto con irroratrice a polverizzazione meccanica. Parte II: analisi di bersagli artificiali. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 3, 13–22.
- Cerruto E., 2007. Influence of Airflow Rate and Forward Speed on the Spray Deposit in Vineyard. *J. of Ag. Eng. - Riv. di Ing. Agr.* 1, 7–14.
- Cerruto E., Balloni S., Conti A., Caruso L. 2009. Caratteristiche di bersagli artificiali per lo studio delle gocce in prove di irrorazione. *Atti su CD-ROM del IX Convegno Nazionale AIIA 2009 "Ricerca e innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali"*, Ischia (NA), 12–16 settembre 2009.
- Novartis, Water-sensitive paper for monitoring spray distribution. 5th edition.
- Pergher G., Petris R., Biocca M., Menesatti P., 2008. Prime verifiche in campo di un'irroratrice schermata ad aereo convezione di nuova concezione. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 2, 51–58.
- Salyani M., Fox R.D., 1999. Evaluation of Spray Quality by Oil- and Water Sensitive Papers. *Transactions of the ASAE*, 42 (1), 37–43.
- Vanella G., Marucco P., Balsari P., 2010. È possibile ottenere il numero di impatti (gocce) per unità di superficie desiderato? *Atti Giornate Fitopatologiche*, 2, 27–34.