

È POSSIBILE OTTENERE IL NUMERO DI IMPATTI (GOCCE) PER UNITÀ DI SUPERFICIE DESIDERATO?

G. VANELLA, P. MARUCCO, P. BALSARI

Dipartimento di Ingegneria Agraria Forestale ed Ambientale (DEIAFA), Sez. Meccanica
Università degli Studi di Torino - Via L. da Vinci, 4, 10095 Grugliasco (TO)
paolo.marucco@unito.it

RIASSUNTO

Vengono riportati i risultati di prove sperimentali condotte in laboratorio, utilizzando diverse tipologie di ugelli e di pressioni di esercizio, al fine di valutare gli elementi distintivi della distribuzione di frequenze per classi di dimensione delle popolazioni di gocce generate durante l'applicazione dei prodotti fitosanitari. I dati interpolati con la curva di distribuzione Rosin-Rammler hanno permesso l'elaborazione di un modello previsionale in grado di determinare il numero di gocce, per unità di superficie, distribuite sul bersaglio durante il trattamento di colture erbacee. Inoltre, il modello ha consentito di calcolare il volume del liquido rappresentato da gocce di ridotte dimensioni e maggiormente suscettibile di deriva.

Parole chiave: ugello impatti, dimensioni gocce, Rosin-Rammler, deriva

SUMMARY

IS IT POSSIBLE TO KNOW THE NUMBER OF DROPLET PER UNIT AREA DURING A TREATMENT?

In this study a series of laboratory tests were conducted to analyze droplet sizes of various kinds of nozzles at different pressures using the ISO protocol. Data obtained were used to analyze the size distribution of droplet population sprayed during pesticide application of herbaceous crops. In this case, data were fitted to a Rosin-Rammler curve and a new model was developed in order to predict the number of droplets per unit square and the volume of droplets more prone to be drifted.

Keywords: nozzle, droplet density, drop size, Rosin-Rammler, drift

INTRODUZIONE

È ampiamente noto come l'applicazione degli agrofarmaci sia un processo estremamente inefficiente, dove solo una piccola frazione del liquido irrorato viene trattenuto sulla pianta per esplicare le proprie funzioni, mentre la restante parte viene dispersa nell'ambiente (Salyani *et al.*, 2007). La quantità di liquido in grado di depositarsi efficacemente sulla superficie vegetale della coltura dipende da molti fattori tra cui possono essere citate: le caratteristiche chimico-fisiche della formulazione utilizzata, le condizioni climatiche, il volume di liquido irrorato, le caratteristiche dell'attrezzatura impiegata e la qualità del getto irrorato (Braekman *et al.*, 2009)

Gli ugelli utilizzati in agricoltura per l'applicazione degli agrofarmaci generano dei getti caratterizzati da popolazioni di gocce le cui dimensioni possono variare da pochi micron a diverse centinaia di micron (Lefebvre, 1993). Diverse funzioni geometriche sono state elaborate per descrivere la rappresentazione volumetrica della popolazione di gocce per dimensioni di diametro. Tra queste, oltre alla distribuzione normale e lognormale, vi è la distribuzione Rosin-Rammler, originariamente sviluppata per le polveri, e che esprime il

volume cumulato del liquido irrorato per ciascun diametro delle gocce, secondo la formula di seguito riportata:

$$1 - Q = \exp \left[- \left(D / \bar{D} \right)^q \right] \quad (1)$$

dove Q è la frazione di liquido composto da gocce di diametro inferiori a D , mentre \bar{D} e q sono delle costanti. In particolare, il valore \bar{D} rappresenta il valore al quale corrisponde il diametro di massima frequenza relativa della popolazione di gocce, mentre l'esponente q fornisce l'indicazione dell'ampiezza tra le dimensioni minime e quelle massime; per valori di q tendenti a infinito la popolazione di gocce tende ad avere dimensioni uniformi. Le diverse tipologie di ugelli utilizzati per l'applicazione degli agrofarmaci sono caratterizzati da diversi valori di \bar{D} e q ; inoltre, tali parametri variano in funzione della pressione di esercizio e delle caratteristiche chimico fisiche del liquido irrorato.

In bibliografia è ampiamente riportato come l'efficacia di un trattamento fitosanitario sia influenzata, già alla fase della sua distribuzione, da parametri quali, la dimensione delle gocce e del volume di liquido depositatosi sulla superficie del bersaglio (Knoche, 1994).

È, pertanto, importante conoscere e, soprattutto, riuscire a controllare questi parametri. È, altresì, noto che in funzione delle caratteristiche della popolazione di gocce erogata da un ugello, varia il numero di gocce che potenzialmente possono raggiungere il bersaglio, e conseguentemente, il livello di copertura della superficie trattata. Una popolazione di gocce caratterizzata da una ridotta e omogenea dimensione delle stesse, potenzialmente consente di garantire una elevata e uniforme copertura del tessuto vegetale trattato (Zhu *et al.*, 2010).

Una parte, anche non trascurabile delle gocce, soprattutto quelle di ridotta dimensione, può non raggiungere il bersaglio in seguito alla sua deriva generata dal vento. Gocce di maggiore dimensione mantengono il momento polare per un periodo superiore, per cui sono meno soggette ad essere allontanate dall'area trattata sotto l'azione del vento.

L'obiettivo del presente studio è stato quello di caratterizzare con un'analisi dimensionale le popolazioni di gocce generate da diverse tipologie di ugelli impiegando differenti pressioni di esercizio, e successivamente di realizzare un modello matematico in grado di predire il numero di impatti (gocce) potenzialmente in grado di raggiungere un bersaglio disposto su una superficie piana. In particolare in tale modello vengono interpolati i parametri della distribuzione di frequenza dimensionale della popolazione di gocce erogata da un ugello con differenti pressioni di esercizio, e con le caratteristiche operative della distribuzione.

MATERIALI E METODI

La curva di distribuzione delle dimensioni delle gocce prodotte da diversi tipi di ugelli è stata determinata seguendo il protocollo ISO 5682-1 (Test methods for sprayer nozzle).

Tali prove sono state eseguite impiegando tre diverse tipologie di ugelli a fessura caratterizzate da un differente potenziale di deriva (Balsari *et al.*, 2000) e ampiamente utilizzate per i trattamenti fitoiatrici alle colture erbacee. Tutti gli ugelli utilizzati hanno un angolo di apertura del getto di 110° e forniscono una portata nominale a 0,3 MPa di 0,79 L/min (classificazione ISO 02). Per ciascuna tipologia di ugello sono state impiegate tre differenti pressioni di esercizio, che rientrano nel campo di impiego consigliato (tabella 1).

Tabella 1. Ugelli impiegati nelle prove, distinti in base alla tipologia costruttiva, e alle pressioni di esercizio

Tipologia costruttiva	Pressione (MPa)		
Teejet XR 11002 VS	0,2	0,3	0,4
Teejet DG 11002 VS	0,2	0,4	0,6
Teejet AI 11002 VS	0,4	0,6	0,8

Le prove sono state condotte presso il laboratorio Crop Protecion Tecnology del DEIAFA in presenza di una temperatura ambientale di $23\pm 0,5$ °C e di un'umidità relativa del $65\pm 5\%$. I dispositivi irroranti, in grado di muoversi alla velocità di 1,5 m/sec, grazie all'applicazione su un apposito carrello mobile, sono stati posizionati ortogonalmente rispetto al bersaglio e ad un'altezza di 500 mm da quest'ultimo. L'alimentazione degli ugelli è avvenuta per mezzo di una elettropompa Annovi Reverberi AR202 EM-ET che prelevava una soluzione di acqua e colorante (Blu Patent) da un apposito serbatoio. Il bersaglio era costituito da una serie di piastre Petri da 50 mm di diametro disposte trasversalmente rispetto alla direzione di avanzamento dell'ugello e contenenti due strati di olio di silicone a diversa viscosità cinematica (10.000 e 10 cSt). La goccia di liquido viene inglobata all'interno dello strato a ridotta viscosità, mentre l'olio a maggiore viscosità serve da supporto e garantisce il mantenimento nel liquido della geometria delle gocce. L'acquisizione delle immagini delle gocce presenti all'interno delle capsule Petri è avvenuta utilizzando una fotocamera digitale e uno specifico software (EPIX[®] XCAP V 3.0), mentre l'analisi delle dimensioni delle gocce è stata effettuata con un analizzatore di immagini dedicato (Image Pro Plus[®]). Per ciascuna prova condotta, sono state analizzate almeno 2000 gocce.

Successivamente sono stati determinati i parametri VMD, D_{10} e D_{90}^* per esprimere le principali caratteristiche dimensionali delle diverse popolazioni di gocce prodotte. In particolare il valore di D_{10} ha consentito di evidenziare la porzione di gocce, all'interno dello spettro erogato da ciascun ugello, più fini e, quindi, più sensibili ai fattori ambientali.

Per determinare le caratteristiche delle curve di distribuzione volumetrica in funzione delle dimensioni, la popolazione di gocce è stata suddivisa in classi da 25 μm . I volumi di ciascuna classe sono stati interpolati, con l'ausilio del software di analisi dei dati SPSS[®], con l'equazione della curva di Rosin-Rammler (1), in modo da estrapolare i valori di \bar{D} e q , e il coefficiente di determinazione corretto per il numero di repressori del modello (R^2_{adj}).

Dati i valori di \bar{D} e q è stato elaborato un modello matematico per la stima del numero di impatti che potenzialmente raggiungono un bersaglio disposto su una superficie piana, che tiene conto dei parametri operativi propri della fase di applicazione (velocità di avanzamento, distanza tra gli ugelli, portata degli ugelli). Il modello, elaborato su un foglio di calcolo in Excel, consente di conoscere, la densità di impatti che potenzialmente possono raggiungere un bersaglio su una superficie piana e la distribuzione dimensionale delle gocce generate. Inoltre, ipotizzando che l'impronta della goccia non subisca distorsioni o agglomerazioni è stato valutato il grado di copertura teorico del bersaglio.

* Il VMD rappresenta il diametro medio volumetrico che divide il campione di gocce esaminato in due classi di pari volume

I valori di D_{10} e D_{90} rappresentano il diametro tale che il 10% e il 90% del volume di liquido irrorato sia formato da gocce più piccole di tale valore.

RISULTATI

Per ciascuna delle tipologie di ugelli impiegate nelle prove sono riportati in tabella 2 i valori relativi al VMD, D_{10} e D_{90} . Per tutti gli ugelli analizzati è emerso come l'incremento della pressione di esercizio determini una maggiore polverizzazione del getto erogato. L'incremento della polverizzazione, nel campo di pressione impiegate per le prove è, tuttavia, risultato di entità maggiore nel caso di impiego degli ugelli a pre-camera (DG - drift guard) e minore con gli ugelli a fessura tradizionale (XR - extended range).

Tabella 2. Valori di D_{10} , VMD e D_{90} riscontrati sperimentalmente alle diverse pressioni di esercizio

Ugello	Pressione (MPa)	Volume specifico erogato ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$)	D_{10} (μm)	VMD (μm)	D_{90} (μm)
Teejet XR 11002 VS	0,2	1,44	150	262	403
	0,3	1,75	138	256	384
	0,4	2,02	134	241	350
Teejet DG 11002 VS	0,2	1,44	192	323	464
	0,4	2,02	151	280	419
	0,6	2,48	142	257	372
Teejet AI 11002 VS	0,4	2,02	234	445	640
	0,6	2,48	195	417	626
	0,8	2,86	152	387	561

Nella tabella 3 vengono riportati i valori di \bar{D} e q calcolati con l'interpolazione dei dati ottenuti dalle prove sperimentali effettuate secondo il protocollo ISO 5682-1 e la curva di distribuzione delle frequenze Rosin-Rammler. I valori di \bar{D} mostrano lo stesso andamento riscontrato per il VMD, confermando che entrambi rappresentano la tendenza centrale della distribuzione di frequenza delle dimensioni di gocce. I valori di q rappresentano, invece, un indice di appiattimento delle distribuzioni di frequenza. L'incremento di pressione determina minori valori di q , e quindi un maggior appiattimento della curva di distribuzione, che assume un andamento platicurtico. Ciò significa che aumentando la pressione di esercizio si riducono le frequenze relative alla classi centrali di dimensioni delle popolazioni delle gocce erogate e si assiste ad un incremento delle classi esterne, più distanti dal valore di \bar{D} .

Tabella 3. Valori di \bar{D} e q relativi alla distribuzione di Rosin-Rammler, e il coefficiente di determinazione (R^2_{adj})

Ugello	Pressione (MPa)	\bar{D} (μm)	q	R^2_{adj}
Teejet XR 11002VS	0,2	298	3,077	0,998
	0,3	292	3,029	0,999
	0,4	275	2,815	0,998
Teejet DG 11002VS	0,2	366	3,300	0,999
	0,4	318	2,957	1,000
	0,6	288	3,278	1,000
Teejet AI 11002VS	0,4	501	2,996	0,999
	0,6	468	2,754	0,998
	0,8	421	2,564	0,994

Dall'applicazione del modello di previsione realizzato, è emerso che il numero di gocce che potenzialmente possono raggiungere il bersaglio durante il trattamento di colture erbacee è significativamente diverso per le tre tipologie di ugelli oggetto della prova (figura 1). In particolare, alla pressione di esercizio di 0,4 MPa utilizzata per tutti gli ugelli impiegati nella prova, ed in cui la portata degli ugelli è simile, il numero di impatti generati dall'ugello antideriva ad induzione d'aria è risultato di circa 6,5 volte inferiore a quello dell'ugello a fessura tradizionale, mentre l'ugello con pre-camera ha evidenziato un valore intermedio (tabella 4).

Il modello di previsione ha consentito, inoltre, di calcolare, in funzione della pressione di esercizio e della tipologia di ugello, il volume di liquido erogato con gocce di dimensioni inferiori a 100 μm (V_{100}) (tabella 4). Tale frazione di liquido è considerata quella più suscettibile ad essere allontanata dall'area trattata a seguito dell'azione del vento (Van de Zande *et al.*, 2002). Il modello ha anche confermato che gli ugelli ad induzione d'aria generando una minore quantità di gocce di ridotta dimensione riescono a ridurre la deriva. Infine, l'analisi del numero di impatti generati per ciascuna classe di dimensione ha evidenziato che le gocce con diametro superiori a 100 μm , definite come impatti utili rappresentano in media il 30% del totale degli impatti che potenzialmente possono raggiungere il bersaglio. Il valore percentuale massimo di impatti utili è stato riscontrato con l'ugello a pre-camera alla pressione di 0,2 MPa (45%), mentre il valore minimo è stato verificato con l'ugello ad induzione d'aria alla pressione di 0,8 MPa (20%).

In merito al grado di copertura teorica, bisogna ricordare che esso è un parametro influenzato dall'angolo di contatto che si instaura tra la superficie della goccia e il tessuto vegetale. Nel modello sono state elaborate due diverse ipotesi; nella prima è stato calcolato il grado di copertura in funzione dell'impronta sull'olio di silicone, nel secondo caso è stato ipotizzato un angolo di contatto θ con il tessuto vegetale di 90°. In entrambi i calcoli è stato possibile definire come a ridotte variazioni volumetriche determinate dal V_{100} corrisponda un'elevata riduzione percentuale dell'area di contatto. Considerando il grado di copertura

fornito dalle diverse tipologie di ugelli è possibile verificare come alla stessa pressione di esercizio (0,4 MPa) gli ugelli ad induzione d'aria forniscano un indice di copertura pari solo al 53% di quello ottenibile con gli ugelli a fessura tradizionale, ma che tale valore incrementa al 61% se viene esclusa la frazione di liquido maggiormente sensibile a generare la deriva (tabella 5). Tuttavia, utilizzando gli ugelli ad induzione d'aria ad una pressione di 0,8 MPa e portata superiore è possibile ottenere il medesimo livello di copertura teorica ottenibile con gli ugelli tradizionali Extended Range a 0,4 MPa (oltre il 20%).

Figura 1. Relazione tra distribuzione del numero di impatti (barre) e volume delle gocce (linee) per classi dimensionali (25 μm), pressione 0,4 MPa

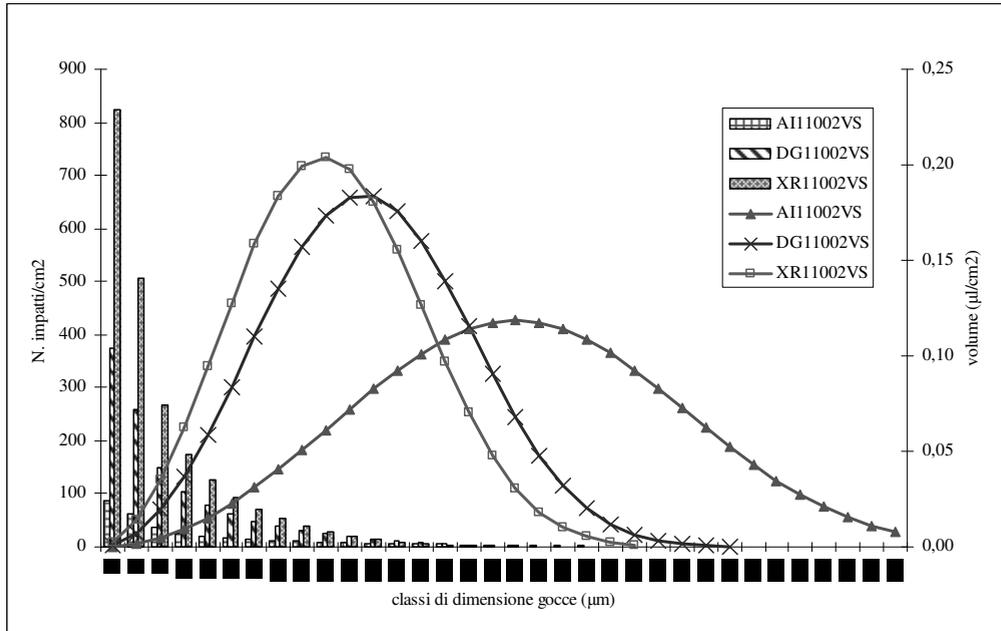


Tabella 4. Numero di impatti che potenzialmente possono raggiungere il bersaglio impiegando il modello previsionale

Ugello	Pressione (MPa)	N. impatti	N. Impatti utili	Impatti $\varnothing < 100 \mu\text{m}$ (%)	V ₁₀₀ (%)
Teejet XR 11002VS	0,2	880	280	68	3,4
	0,3	1215	355	70	3,8
	0,4	2245	470	79	5,6
Teejet DG 11002VS	0,2	370	170	54	1,3
	0,4	1235	350	71	3,2
	0,6	1295	495	61	3,0
Teejet AI 11002VS	0,4	340	130	61	0,8
	0,6	775	205	73	1,4
	0,8	1700	320	81	2,4

Tabella 5. Indici di copertura teorica

Ugello	Pressione (MPa)	Copertura teorica su olio (mm ² /cm ²)	Copertura teorica utile su olio (mm ² /cm ²)	Copertura teorica $\Theta = 90^\circ$ (mm ² /cm ²)	Copertura teorica utile $\Theta = 90^\circ$ (mm ² /cm ²)
Teejet XR 11002VS	0,2	9,7	8,6	15,3	13,7
	0,3	12,1	10,6	19,2	16,9
	0,4	15,3	12,7	24,2	20,2
Teejet DG 11002VS	0,2	7,6	7,2	12,2	11,5
	0,4	12,9	11,5	20,5	18,3
	0,6	16,8	15,2	26,7	24,2
Teejet AI 11002VS	0,4	8,2	7,8	13,0	12,4
	0,6	11,2	10,4	17,7	16,5
	0,8	14,8	13,2	23,6	20,9

CONCLUSIONI

L'applicazione dei prodotti fitosanitari suscita notevole interesse sull'opinione pubblica in merito alla sostenibilità ambientale ed economica dei trattamenti. Negli ultimi anni notevoli sforzi sono stati compiuti per implementare le tecniche per la distribuzione di questi prodotti (Balsari *et al.*, 2008). In questo studio si è cercato, nell'ottica di fornire ulteriori informazioni utili agli addetti del settore, sia di mettere in evidenza come il numero di impatti per unità di superficie e il grado di copertura del bersaglio varino in funzione dei parametri operativi e delle tipologia di ugelli utilizzate, sia, attraverso la realizzazione di un foglio di calcolo, di consentire di individuare le condizioni operative più idonee a raggiungere gli obiettivi prefissati. Questi ultimi devono tener conto delle caratteristiche proprie del fitofarmaco delle condizioni ambientali presenti al momento del trattamento. Ad esempio, nei trattamenti a ridotto volume con applicazione di prodotti a prevalente azione di contatto bisognerà fare attenzione a generare un numero di impatti e un grado di copertura del bersaglio tale da consentire alla miscela di esplicare le proprie funzioni fitoiatriche. Parallelamente, in condizioni ambientali instabili con presenza di vento, sarà necessario, al contempo, contenere i rischi ambientali utilizzando ad esempio volumi maggiori, ma erogati con ugelli antideriva, in grado comunque di garantire il livello di copertura desiderato.

È bene, tuttavia sottolineare che tutte le prove sono state condotte utilizzando una miscela costituita da acqua e da un tracciante. Poiché i prodotti fitosanitari, anche quando utilizzati a concentrazioni ridotte possono modificare le caratteristiche chimico-fisiche della miscela irrorata, si intende, in futuro, verificare quali sono le interazioni dovute alla presenza dei prodotti commerciali sulle caratteristiche delle popolazioni di gocce generate dalle diverse tipologie di ugelli.

Va, infine ma non da ultima ,ricordata la necessità di conoscere, per ogni prodotto commerciale, il numero di gocce e la copertura teorica necessaria affinché il prodotto fitoiatrico possa esplicare le sua azione. Si tratta di indicazioni che, si ritiene, andrebbero riportate in etichetta, al fine di consentire un'oculata scelta dei parametri applicativi sopra descritti, e quindi, un impiego più sostenibile degli agrofarmaci.

LAVORI CITATI

- Balsari P., Marucco P., Tamagnone M., 2000. Valutazione di diverse tipologie di ugelli antideriva. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, 225-230.
- Balsari P., Doruchowski G., Marucco P., Tamagnone M., Van de Zande J., Wenneker M., Bjugstad N., 2008. A system for adjusting the spray application to the target characteristics. Texas A & M University Press, college Station, USA, Agricultural Engineering International.
- Braekman P., Foque D., Messens W., Van Labeke M.C., Pieters J.G., Nuyttens D., 2009. Effect of spray application technique on spray deposition in greenhouse strawberries and tomatoes. *Pest Management Science*, 66, 203-212.
- Knoche M., 1994. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection* 13 (3), 163-178.
- Lefebvre A.H., 1993. In Application Technology for Crop Protection, eds G.A. Matthews e E.C. Hislop, 35-36. CABI.
- Salyani M., Farooq M., Sweeb R.D., 2007. Spray deposition and mass balance in citrus orchard applications. *Trans ASABE*, 50, 1963-1969.
- Van de Zande J.C., Porskamp H.A.J., Holterman H.J., 2002. Influence of reference nozzle choice on spray drift classification. *Aspects of Applied Biology, International Advances in Pesticide Application*, 66, 49-55.
- Zhu H., Yu Y., Ozkan H.E., 2010. Influence of spray formulation and leaf surface structures on droplet evaporation and wetted area. *International Advances in Pesticide Application*, 99, 333-340.