

POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale



**Politecnico  
di Torino**

**Studio sperimentale di un circuito di irrorazione di  
prodotti fitosanitari per vigneto ed analisi dei  
risultati**

**Relatore**

*Prof. Terenziano Raparelli*

**Correlatrice**

*Prof. ssa Gabriella Eula*

**Candidato**

*Tobia Festa Bianchet*

Ottobre 2022



## Sommario

Abstract .....	6
Introduzione .....	7
Capitolo 1 : Scopo della tesi e dello studio effettuato .....	11
1.1 Studio degli ugelli e del sistema di irrorazione.....	11
1.2 Studio del sistema di alimentazione con serbatoio anti-sloshing .....	14
Capitolo 2 : Banco prova.....	15
2.1 Circuito di alimentazione.....	15
2.2 Struttura porta ugelli .....	17
2.3 Bersaglio dell'irrorazione.....	19
2.3.1 Carta .....	20
2.4 Colorante .....	20
Capitolo 3 : Ugelli.....	21
3.1 Classificazione in base alla forma del getto.....	21
3.2 Normative.....	22
3.2.1 Classificazione in base alla taglia dell'ugello: ISO 10625 [12].....	22
3.2.2 Classificazione in base alle dimensioni delle gocce: ASABE 572.1 [7] .....	24
3.3 Ugelli a disposizione durante fase sperimentale.....	25
3.4 Tabella riassuntiva delle caratteristiche degli ugelli utilizzati nella tesi.....	26
3.5 Considerazioni sulle differenze tra valori di VMD riportati a catalogo e valori sperimentali .....	26
Capitolo 4 : Metodologia di prova e strumenti utilizzati per l'analisi dei risultati .....	27
4.1 Procedura sperimentale .....	27
4.2 Acquisizione delle immagini .....	27
4.3 Analisi delle immagini con ImageJ® .....	28
4.4 Parametri del getto.....	30
4.4.1 Gocce /Droplets.....	30
4.4.2 VMD.....	30
4.4.3 Area di copertura / Coverage factor.....	31
4.4.4 Densità di gocce / Droplets density .....	31
4.4.5 Aree di riferimento .....	32
4.4.6 Fattore correttivo/Spread factor .....	32
4.5 Scelta dello spread factor .....	33
4.5.1 Metodo Syngenta [8].....	33
4.5.2 Metodo proposto da uno studio del Dipartimento di Agricoltura dell'Università di Catania [9]	34
4.5.3 Metodo Droplet Scan™ System [10] .....	34
4.5.4 Metodo USDA-ARS [10] .....	34

4.5.5	Metodo Swath Kit™ [10] .....	35
4.5.6	Confronto tra i metodi.....	35
Capitolo 5 : Prove con singolo ugello su foglio di carta verticale .....		37
5.1	Banco prova e procedura sperimentale .....	37
5.2	Prove con ugello a cono pieno HCF80015 e confronto con le prove di Conte.....	40
5.2.1	Prova con ugello a cono pieno HCF80015, con foglio verticale, angolo 45° .....	40
5.2.2	Confronto con risultati prove foglio orizzontale realizzate da Conte.....	41
5.3	Prove su carta verticale con ugelli anti deriva.....	42
5.3.1	Prova con ugello HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio .....	42
5.3.2	Prova con ugello HCA8001 con angolo di 45° rispetto al foglio .....	46
5.3.3	Confronto prova a 90° con prova a 45° .....	49
Capitolo 6 : Prove con tre ugelli su simulatore di vigneto.....		50
6.1	Limiti delle prove a tre ugelli con simulatore di vigneto .....	50
6.2	Banco prova e procedure sperimentali .....	51
6.2.1	Circuito di alimentazione.....	51
6.2.2	Struttura Porta ugelli .....	52
6.2.3	Simulatore di vigneto.....	52
6.2.4	Scelta degli ugelli .....	53
6.2.5	Schema e quote del circuito a tre ugelli .....	54
6.2.6	Procedura sperimentale .....	54
6.3	Prove con ugello a cono HCF80015 in orizzontale e ugelli a ventaglio LDC11001 in verticale .....	56
6.3.1	Risultati prove su foglio verticale .....	59
6.3.2	Risultati prove su foglio orizzontale .....	67
6.4	Prove con ugelli a cono HCF80015 in orizzontale ed in verticale.....	70
6.4.1	Risultati prove su foglio verticale .....	71
6.4.2	Grafici 3D .....	73
6.4.3	Risultati prove su foglio orizzontale .....	75
6.5	Prove con ugelli LDC11001 in orizzontale ed in verticale.....	77
6.5.1	Risultati prove su foglio verticale .....	78
6.5.2	Risultati prove su foglio orizzontale .....	80
6.6	Confronto tra tutte le prove verticali .....	82
6.7	Confronto prove orizzontali .....	85
6.8	Tabelle riassuntive prove con tre ugelli.....	88
6.8.1	Prove.....	88
6.8.2	Risultati delle prove su foglio verticale .....	89
6.8.3	Risultati delle prove su foglio orizzontale .....	89

Capitolo 7 : Differenze tra analisi dati singolo ugello e analisi dati simulatore di vigneto.....	90
7.1    Scopo .....	90
7.2    Differenze sul circuito e modalità di prova.....	90
7.3    Differenze nei calcoli e sull'esposizione dei risultati .....	91
Capitolo 8 : Studio del serbatoio anti-sloshing.....	92
8.1    Il serbatoio anti-sciabordio: vaso di espansione .....	92
8.2    Circuito di prova serbatoio anti-sloshing.....	93
8.3    Prova di scuotimento del serbatoio .....	95
8.4    Prove di svuotamento del serbatoio .....	95
8.4.1    Prove di svuotamento con singolo ugello .....	96
8.4.2    Prove di svuotamento con sistema a tre ugelli .....	98
8.5    Modello matematico p-v .....	101
8.6    Simulazioni eseguite sfruttando il modello matematico.....	102
8.7    Valutazione della portata .....	102
8.8    Possibili configurazioni e soluzioni proposte.....	104
8.8.1    Soluzioni possibili per sistema a tre ugelli con pressione di regolazione di 2 bar .....	105
8.8.2    Soluzioni proposte .....	106
8.8.3    Soluzioni possibili per sistema a tre ugelli con pressione di regolazione di 3 bar .....	106
8.8.4    Soluzioni proposte .....	107
8.8.5    Pro e contro delle soluzioni proposte.....	107
8.9    Conclusioni dello studio del serbatoio anti-sloshing.....	108
Capitolo 9 : Prove preliminari con tre ugelli su simulatore di vigneto alimentati dal serbatoio anti-sloshing e sviluppi futuri.....	109
9.1    Limiti e criticità del banco prova utilizzato per le prove preliminari.....	110
9.2    Prove preliminari effettuate e sviluppi futuri.....	110
9.3    Procedura sperimentale .....	111
9.4    Prove preliminari con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione di alimentazione di 2 bar .....	112
9.5    Risultati prove preliminari con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione di alimentazione di 2 bar 115	
9.5.1    Risultati prove su foglio verticale .....	115
9.5.2    Risultati prove su foglio orizzontale .....	118
9.6    Grafici 3D .....	120
9.7    Tabelle riassuntive dei risultati.....	122
9.7.1    Prove.....	122
9.7.2    Risultati prove su carta verticale .....	123
9.7.3    Risultati prove su carta orizzontale .....	123
Capitolo 10 : Proposte e possibili soluzioni per ridurre il moto di sloshing .....	124

10.1	Vaso di espansione a diaframma.....	124
10.2	Vaso di espansione con tiranti interni.....	125
10.3	Vasi di espansione di forma allungata.....	125
10.4	Conclusione possibili soluzioni per ridurre il moto di sloshing .....	126
	Conclusioni .....	127
	Bibliografia e sitografia.....	129

## Abstract

Il presente lavoro di tesi ha come oggetto lo studio sperimentale di un sistema per l'irrorazione di prodotti fitosanitari su vigneto e l'esposizione dei risultati ottenuti. Il lavoro è inserito in un progetto più ampio, che ha come obiettivo la progettazione di un sistema, basato sull'utilizzo di droni agricoli, che sia in grado di diffondere, in modo mirato ed efficiente, i prodotti fitosanitari sulle coltivazioni di vite. L'attività sperimentale presentata all'interno di questo lavoro è stata svolta tra i mesi di marzo e settembre nel laboratorio di Aeronautica "Modesto Panetti" del Politecnico di Torino.

Buona parte dell'attività sperimentale svolta si basa sull'esecuzione e l'analisi di prove realizzate spruzzando una soluzione di colorante e acqua su fogli di carta fotografica attraverso circuiti dotati di ugelli irroratori. Dall'analisi di queste prove, infatti, è possibile ricavare molte informazioni utili a caratterizzare il circuito di irrorazione, come la dimensione delle gocce che raggiungono le foglie delle vite, la densità di gocce che si depositano sulle foglie e la copertura, in termini percentuali, che esse offrono rispetto alla superficie della foglia. Tramite l'utilizzo di queste prove è possibile ottimizzare alcuni parametri del circuito come la disposizione degli ugelli nello spazio, gli angoli di spruzzo e le pressioni di alimentazione.

Le prove sono state effettuate utilizzando circuiti e banchi prova via via più fedeli all'applicazione finale. In ordine le prove che sono state effettuate sono:

- Prove con un solo ugello disposto perpendicolarmente al foglio orizzontale (prove effettuate precedentemente dai tesisti Antonio Conte e Antonio Frate e quindi non riportate nel presente lavoro).
- Prove con singolo ugello su foglio verticale, con vari angoli di inclinazione tra ugello e foglio.
- Prove con tre ugelli su di una struttura, denominata simulatore di vigneto, che riproduce approssimativamente dimensioni e geometria di una vite.
- Prove con tre ugelli su simulatore di vigneto alimentate da serbatoio anti-sloshing.

Oltre alle prove su carta, infatti, è stato sperimentato un innovativo sistema di alimentazione che utilizza un vaso d'espansione, componente utilizzato solitamente negli impianti termoidraulici, per sostituire serbatoio e pompa sul velivolo. Lo scopo di questa sperimentazione è quello di trovare un componente, leggero e funzionale, che possa sostituire i serbatoi tradizionali in modo da ridurre il problema dello sloshing, ovvero del movimento di sciabordio del liquido all'interno del serbatoio, che può generare problemi di instabilità che il sistema di controllo del drone non è in grado di compensare.

## Introduzione

Il settore primario si trova di fronte ad una nuova e profonda rivoluzione. Le nuove tecnologie promettono di modificare sempre più il modo di “fare agricoltura”, con l’obiettivo di ottimizzare l’uso dei fattori produttivi a vantaggio del reddito degli agricoltori e dell’ambiente.[1] L’innovazione agricola sta aiutando il settore ad affrontare alcune sfide della modernità, soprattutto quelle legate all’impatto ambientale e ai cambiamenti climatici.[2] Tutto ciò viene oggi definito **agricoltura di precisione**. Sintetizzando, per *agricoltura di precisione* si intende quell’insieme di tecnologie che permette di gestire la variabilità in campo, dando ad ogni pianta ciò di cui ha bisogno, esattamente quando ne ha bisogno. L’obiettivo è massimizzare le produzioni o aumentare la qualità delle stesse, eliminando gli sprechi con un conseguente guadagno per l’agricoltore e per l’ambiente.[1]

Sicuramente tra le tecnologie più interessanti e promettenti degli ultimi anni vi è quella degli **UAV** (*Unmanned Aerial Vehicle*), più comunemente conosciuti come **droni**. Le potenzialità dei droni sono enormi e per questo motivo negli ultimi anni il fenomeno è uscito dal perimetro degli appassionati di aeromodellismo per assumere una funzionalità applicata in settori diversi. Anche quello agricolo. I droni rappresentano sicuramente uno degli attori fondamentali per il futuro della agricoltura di precisione. I dispositivi installabili nei velivoli possono infatti raccogliere dati e informazioni che altrimenti non sarebbero ottenibili, con l’obiettivo di rendere più efficiente il lavoro agricolo.[2]

Tra le molte applicazioni in campo agricolo degli UAV, un’applicazione molto promettente ma ancora poco diffusa in Italia è l’utilizzo di questi dispositivi per l’**irrorazione sulle colture di prodotti fitosanitari**. Nell’agricoltura moderna, infatti, i fitofarmaci hanno un ruolo determinante nella difesa delle colture da parassiti, agenti e patogeni (batteri, virus, funghi), nel controllo dello sviluppo di piante infestanti e nell’assicurare l’ottenimento di elevati standard di qualità dei prodotti agricoli.[3] Per questo motivo durante una stagione vengono abitualmente eseguite numerose passate per l’irrorazione di fitosanitari. L’utilizzo di droni per l’irrorazione di questi prodotti potrebbe portare i seguenti benefici [4]:

- Maggiore precisione durante la spruzzatura con risparmio in termini di prodotti utilizzati.
- Riduzione della dispersione dei prodotti spruzzati nell’ambiente.
- Possibilità di intervenire in zone impervie.
- Possibilità di trattare le colture con qualsiasi condizione del terreno.
- Riduzione dei tempi di trattamento.
- Salvaguardia della salute dell’operatore.
- Evitare la compattazione del terreno ed il danneggiamento delle colture in fase lattica.



Figura 0.1 – Drone agricolo per l’irrorazione di fitofarmaci. Fonte: <https://www.eliteconsulting.it/fatti-sorprendenti-sulla-spruzzatura-dei-droni/>

Una tipo di coltura per cui può essere molto interessante l'impiego di droni per l'irrorazione di fitofarmaci è sicuramente quella della vite. I vigneti per la produzione di vino sono infatti una delle coltivazioni più diffuse in Italia, spesso si trovano in zone collinari anche piuttosto scoscese e richiedono diverse passate di prodotti fitosanitari. In questo scenario si inserisce l'attività sperimentale di questa tesi.

L'utilizzo di droni nell'irrorazione di prodotti fitosanitari, infatti, presenta ancora i seguenti difetti [4]:

- Limitata autonomia sia in termini di tempo di volo, che per quanto riguarda la spruzzatura.
- Costi molto elevati.
- Necessità di personale qualificato per manovrare il drone.
- Tecnologia non ancora ottimizzata.

Ai quali si aggiunge il problema riscontrato sul campo di instabilità del velivolo dovuta al movimento del liquido all'interno di serbatoi tradizionali.

L'attività sperimentale si pone dunque lo scopo di ottimizzare questi sistemi al caso specifico dell'irrorazione su vigneto, nonché di provare a risolvere il problema dell'instabilità sperimentando un innovativo serbatoio anti-sloshing.

I riferimenti utilizzati per l'attività sperimentale, sia per quanto riguarda la vite sia per quanto riguarda il drone, provengono dalla Tesi di Laurea Magistrale di Marco Persico [5]. Il modello quotato di vite proposto da Persico è riportato nelle figure 0.2 e 0.3. Ovviamente si tratta di un modello molto semplificato, che è però utile a ricreare in laboratorio una struttura, denominata **simulatore di vigneto**, che simula geometria e dimensioni della vite. Il simulatore di vigneto è stato utilizzato per eseguire le prove sperimentali.

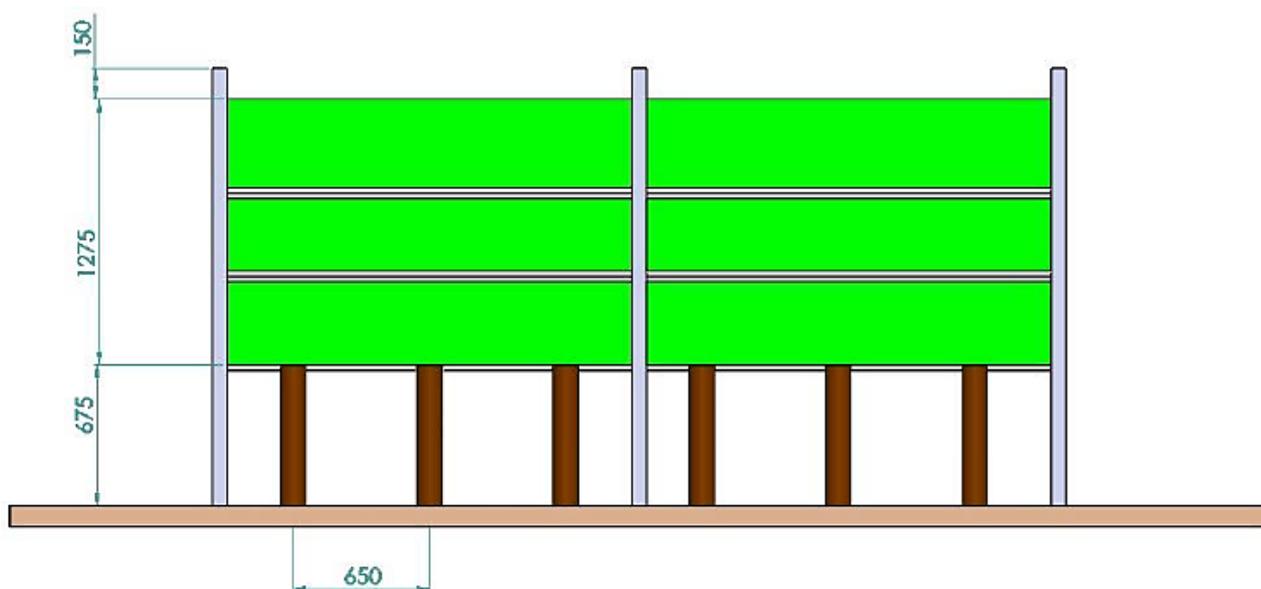


Figura 0.2 – Prospetto laterale del vigneto modellizzato. Quote in mm. [5]

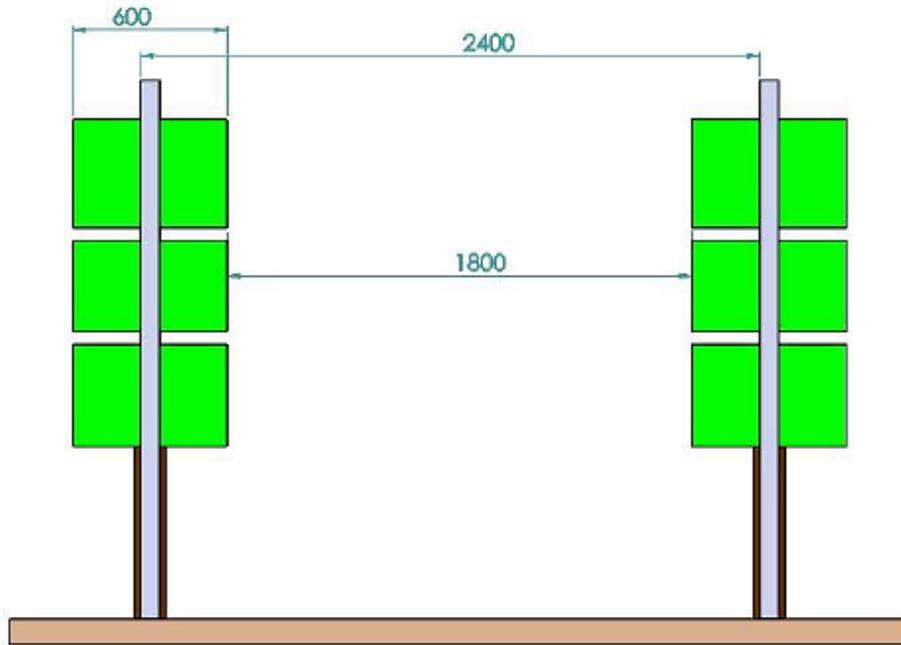


Figura 0.3 - Prospetto frontale del vigneto modellizzato. Quote in mm. [5]

Il drone di riferimento, riportato quotato nelle figure 0.4, 0.5 e 0.6, è un modello già diffuso commercialmente: si tratta del drone AGRAS MG-1 prodotto da DJI. L'MG-1 è un drone a otto rotori resistente alla polvere, all'acqua e alla corrosione; quindi, lavabile senza problemi e perfettamente resistente all'ambiente agricolo; esso può trasportare un carico utile fino a 10 kg. [5]

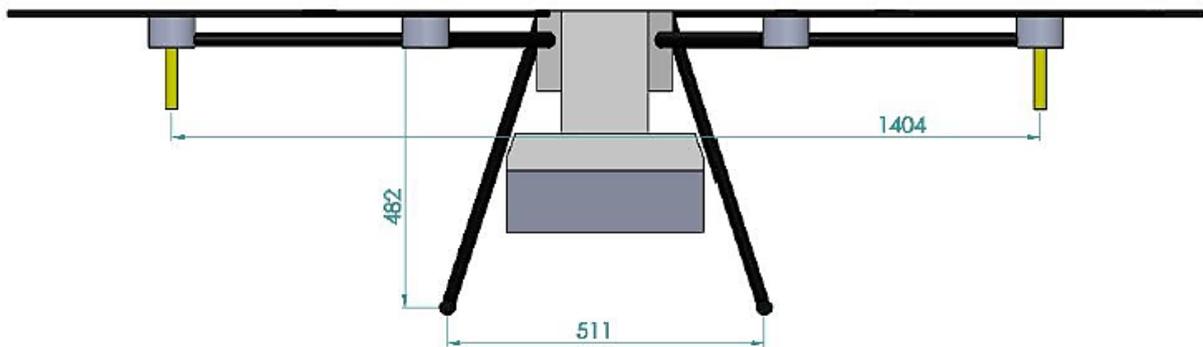


Figura 0.4 - Disegno MG-1, vista frontale. Quote in mm [5]

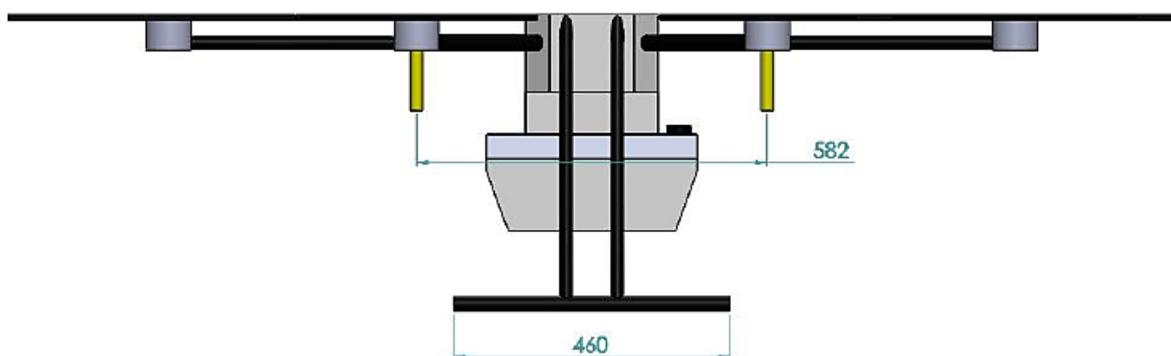


Figura 0.5 - Disegno MG-1, vista laterale. Quote in mm [5]

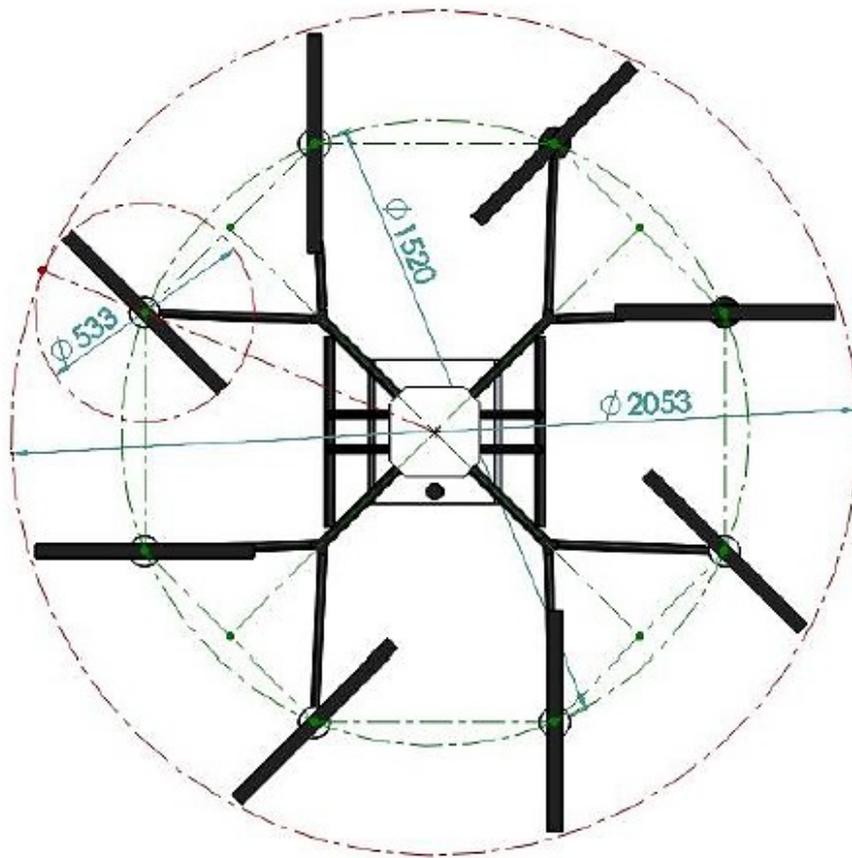


Figura 0.6 - Disegno MG-1, vista dall'alto. Quote in mm [5]

Esistono, infine, diverse modalità di irrorazione a seconda della posizione del drone rispetto al filare. Nell'attività sperimentale ci si è concentrati esclusivamente su una modalità di irrorazione con drone sopra al filare, ossia il caso in cui il drone irroratore vola sulla linea d'asse di un filare, trattando solo il filare in questione, come mostrato in figura 0.7.

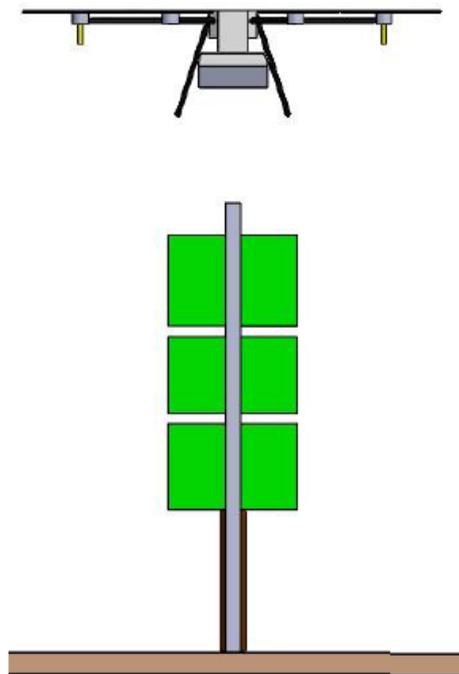


Figura 0.7 - Irrorazione con drone in asse con il filare [5]

## Capitolo 1 : Scopo della tesi e dello studio effettuato

Lo scopo della presente tesi è quello di sperimentare un sistema di irrorazione di prodotti fitosanitari per vigneto da montare su di un drone agricolo. In particolare, all'interno di questo lavoro sono stati studiati nel dettaglio due sistemi:

- **Il sistema di irrorazione** vero e proprio, che dipende essenzialmente dal numero, tipologia, disposizione e pressione di alimentazione degli ugelli.
- **Il circuito di alimentazione con serbatoio anti-sloshing.**

Il sistema di irrorazione è stato studiato eseguendo prove di spruzzatura su carta fotografica, con lo scopo di calcolare alcuni parametri che caratterizzano il getto come la dimensione delle gocce, la quantità di gocce che si depositano sulla foglia per unità di area e la percentuale di area delle foglie coperta dalle gocce.

Sul circuito di alimentazione sono state svolte due diverse tipologie di prove: una volta a verificare il funzionamento anti-sloshing del serbatoio, un'altra con l'obiettivo di studiare le portate e le pressioni che il serbatoio garantisce all'interno del circuito.

### 1.1 Studio degli ugelli e del sistema di irrorazione

È utile fin da subito chiarire che in questo lavoro si vuole **caratterizzare globalmente il getto** e non solo una parte di esso, anche a discapito della precisione dei risultati. Quello che interessa, infatti, è capire come il getto, proveniente dagli ugelli, impatta sulla vite e non la caratterizzazione degli ugelli stessi. Si è scelta quindi una modalità di prova che consentisse di osservare ed analizzare l'intera impronta del getto. La modalità di prova scelta consiste nello spruzzare, attraverso il sistema di irrorazione da studiare, una soluzione di colorante e acqua su di un foglio di carta fotografica, lasciare asciugare ed analizzare le macchie di colore lasciate sul foglio dal colorante attraverso un software di analisi delle immagini. La scelta di usare un foglio di carta fotografica ed analizzare le immagini con un software, in contrapposizione al metodo classico che usa cartine idro-sensibili da analizzare al microscopio, è dovuta proprio al fatto che in questo modo è possibile studiare l'intera impronta del getto. Il tipo di carta è stato scelto per ridurre al minimo l'assorbimento del colore da parte della carta in modo da distorcere il meno possibile forma e dimensione delle gocce. L'acquisizione delle immagini è stata fatta utilizzando una macchina fotografica digitale. In figura 1.1 è riportata, a titolo di esempio, l'immagine ottenuta da una prova su carta, che può essere analizzata con il software di analisi delle immagini.

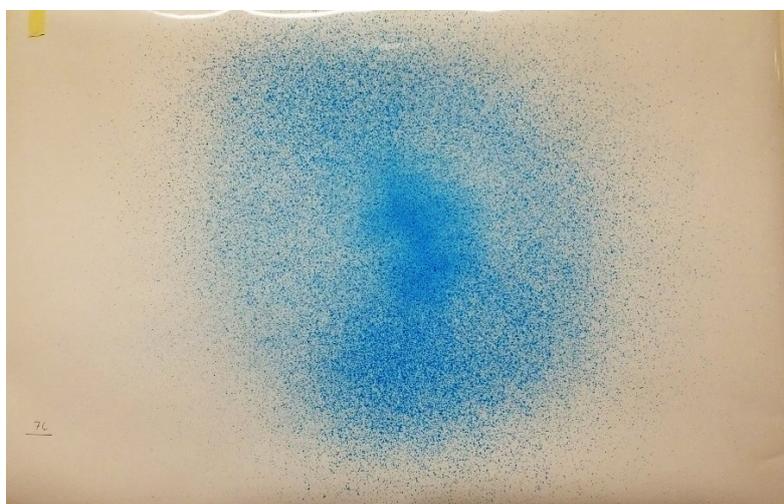


Figura 1.1 – Esempio impronta del getto su foglio di carta.

Analizzando, con un software di analisi delle immagini, una serie di selezioni dell'immagine acquisita è possibile calcolare i parametri di riferimento lungo tutto il getto. In questo modo è possibile creare dei diagrammi che riportano i parametri fondamentali del getto in funzione della posizione sulla vite. Questi diagrammi saranno un utile elemento per confrontare i diversi circuiti sperimentali, in modo da poter scegliere la combinazione ottimale di ugelli da disporre nel circuito. In figura 1.2 è riportata una fotografia che rappresenta l'esecuzione di una prova di spruzzatura su carta per l'analisi del circuito di irrorazione.



Figura 1.2 – Esecuzione di una prova di spruzzatura su carta per lo studio del sistema di irrorazione.

La figura 1.3 riporta, a titolo di esempio un diagramma ricavato dall'analisi di una prova sperimentale.

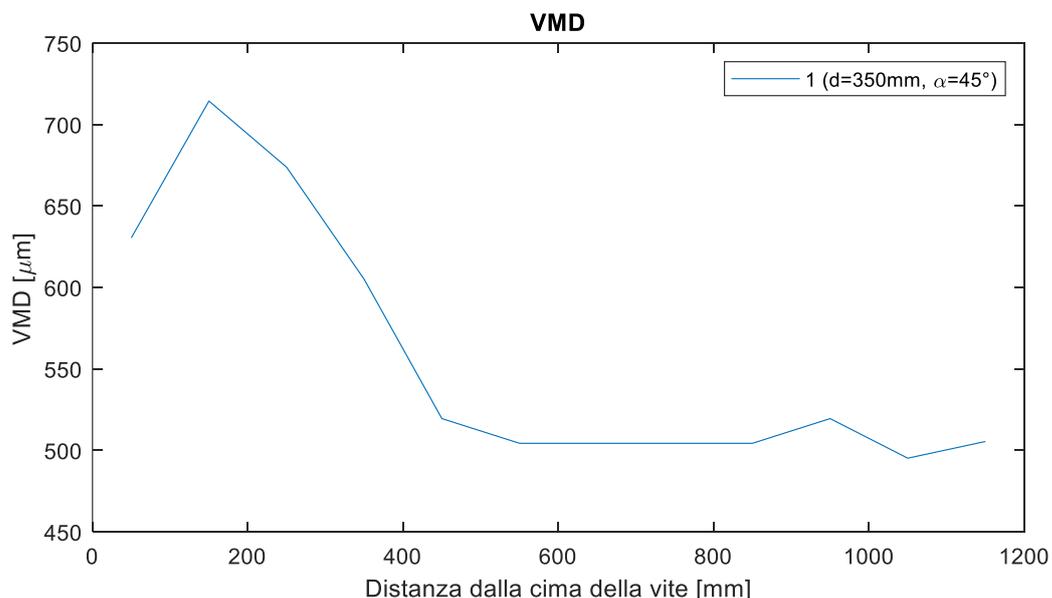


Figura 1.3 – Esempio di digramma che riporta i risultati delle prove sperimentali



Figura 1.4 – Procedura di prova, prove di irrorazione su carta fotografica

In figura 1.4 è riportato uno schema che rappresenta la procedura di prova completa comune a tutte le prove di irrorazione su fogli di carta fotografica. Come si può osservare i passaggi di questa procedura di prova non convenzionale sono molti ed il lavoro richiesto per analizzare ogni singola prova è notevole. Molti dei passaggi riportati in figura 1.4 non sono ancora stati introdotti, ma verranno spiegati nel dettaglio in seguito.

## 1.2 Studio del sistema di alimentazione con serbatoio anti-sloshing

Oltre allo studio del sistema di irrorazione vero e proprio all'interno di questo lavoro è stato studiato un innovativo sistema di alimentazione del circuito, che sfrutta un vaso di espansione come serbatoio anti-sloshing. L'obiettivo è quello di ridurre il moto di sciabordio del liquido all'interno del serbatoio utilizzando questo dispositivo, tipicamente utilizzato negli impianti termoidraulici, in sostituzione di pompa e serbatoio. L'effetto dello sloshing, infatti, può provocare problemi di instabilità difficilmente gestibili dal sistema di controllo del drone.

Sono state quindi effettuate **prove di scuotimento** per verificare il comportamento anti-sloshing del serbatoio e **prove di svuotamento** per studiare gli andamenti di pressione e portata forniti dal componente durante l'utilizzo. Lo scopo finale è quello di trovare un componente che non manifesti l'effetto dello sloshing, ma che possa garantire anche una certa autonomia al sistema di irrorazione, e al contempo di trovare una combinazione di ugelli che possa funzionare al meglio se associata a questo dispositivo.

In figura 1.5 è riportata una fotografia del circuito utilizzato per le prove del serbatoio anti-sloshing.



Figura 1.5 – Circuito utilizzato per le prove su serbatoio anti-sloshing.

## Capitolo 2 : Banco prova

In questo capitolo è illustrata la versione di base del banco prova utilizzato per le prove di spruzzatura su carta, necessarie per lo studio del sistema di irrorazione. Il banco prova e le condizioni nelle quali le prove vengono effettuate variano da esperimento a esperimento, ma vi sono degli aspetti comuni a tutte le prove. **Gli esperimenti consistono di fatto nello spruzzare attraverso un circuito dotato di ugelli una soluzione di acqua e colorante su fogli di carta fotografica.** Analizzando le macchie di colore che rimangono sui fogli, attraverso un software di analisi delle immagini, si possono calcolare i parametri che caratterizzano il getto. La diversa disposizione degli ugelli, del foglio e le condizioni del circuito determinano la differenza tra le varie prove.

Per quanto il banco prova sia differente a seconda della prova effettuata, esso è sempre composto da cinque elementi fondamentali:

- Circuito di alimentazione.
- Struttura porta ugelli, che simula la disposizione degli ugelli sul drone.
- Bersaglio dell'irrorazione, costituito dai fogli di carta fotografica e dalla struttura di sostegno degli stessi.
- Ugelli.
- Liquido di prova, formato da una soluzione di colorante e acqua.

Gli ugelli utilizzati sono descritti nel dettaglio nel capitolo 3, così come le configurazioni dei diversi banchi prova sono descritte in modo approfondito all'inizio di ogni capitolo dedicato ad una specifica modalità di prova. Nel seguito sono descritte in generale le parti comuni a tutti, o quasi, i circuiti di prova.

### 2.1 Circuito di alimentazione

Il circuito di alimentazione descritto in questo paragrafo è comune a tutte le prove, eccetto le prove alimentate dal serbatoio anti-sloshing. Lo schema del circuito è rappresentato in figura 2.1. Come si può osservare gli elementi fondamentali che costituiscono il circuito sono: pompa, serbatoio, regolatore di flusso, manometro e ugelli. Nel caso di circuito a tre ugelli vengono montati tre ugelli anziché uno su tre rami che si dividono subito a monte del manometro, il manometro rimane montato sul ramo che collega il circuito di alimentazione all'ugello centrale, come si può vedere in figura 2.1.

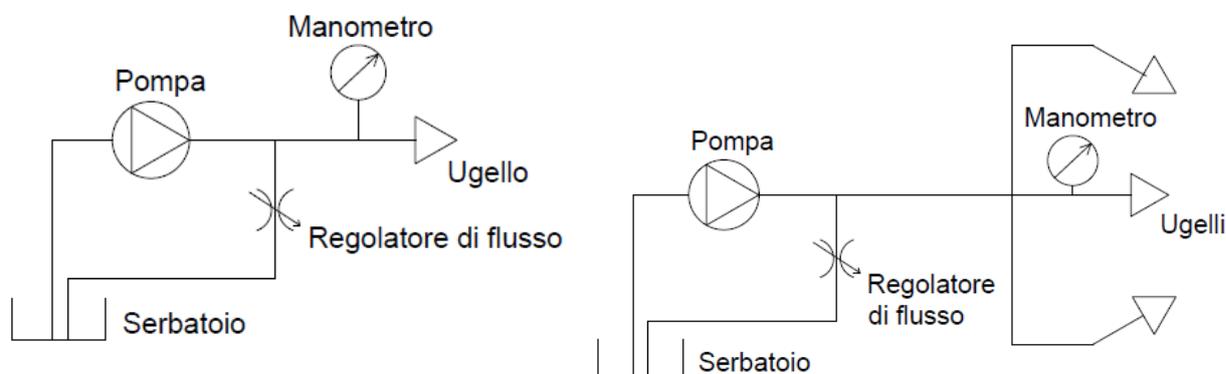


Figura 2.1 – Schema del circuito di alimentazione con uno e tre ugelli

Il circuito di alimentazione, mostrato in figura 2.2, è formato da una **pompa** (1), modello *Remco F2133031E1*, con pressione massima di esercizio di 4 bar, che preleva il liquido da un **serbatoio** (2) e lo manda ad un circuito che termina con l'ugello (3). La pressione all'ugello è regolata tramite un circuito di by-pass che rimanda parte del fluido al serbatoio di alimentazione. Nel tratto di by-pass è montato un **rubinetto** (4), grazie al quale è possibile regolare manualmente la portata che passa nel ramo di by-pass e di conseguenza la pressione all'ugello. A monte dell'ugello è montato un **manometro** per monitorare la pressione.

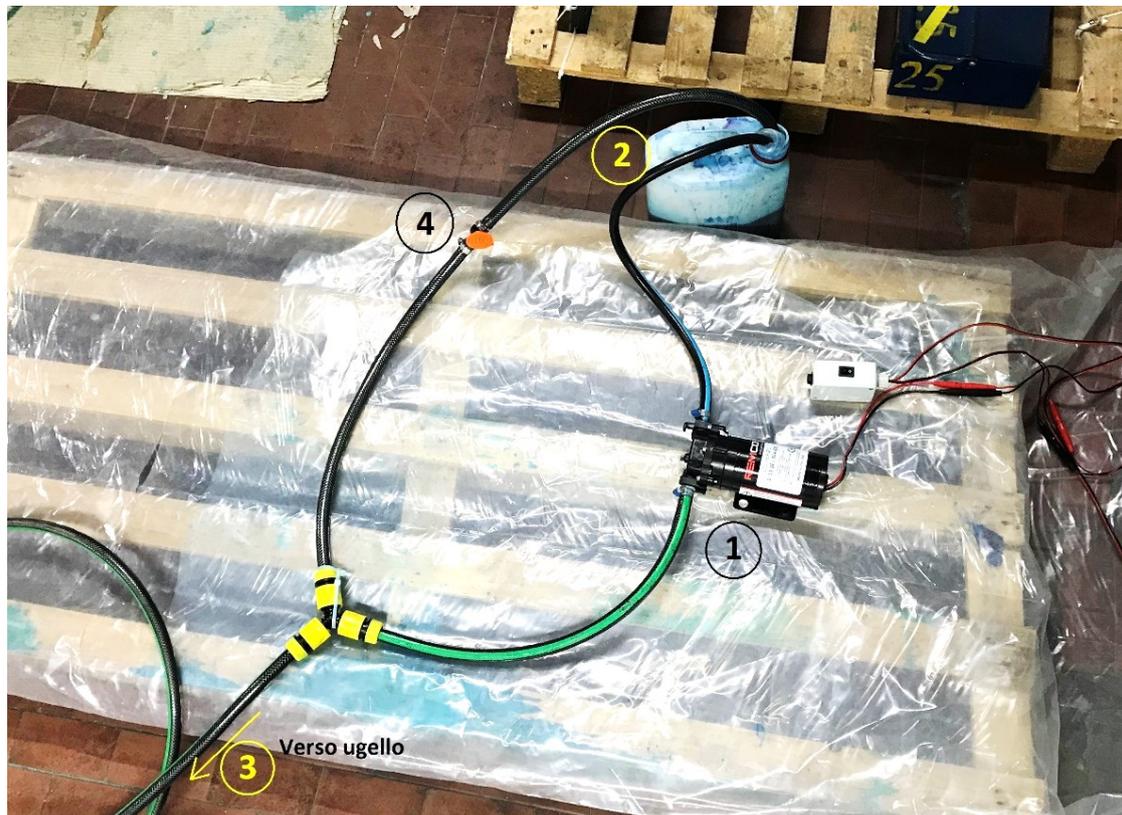


Figura 2.2 – Circuito di alimentazione.

La pompa deve essere alimentata a 12 V in corrente continua, perciò, è necessario utilizzare un alimentatore regolabile per passare dalla tensione di rete ai 12 V in DC necessari al funzionamento della pompa. In aggiunta all'alimentatore è stato previsto un interruttore, visibile in figura 2.2, per poter accendere e spegnere agevolmente la pompa. L'alimentatore regolabile è visibile in figura 2.3.



Figura 2.3 – Alimentatore regolabile

## 2.2 Struttura porta ugelli

Il secondo elemento fondamentale che costituisce il banco prova è la struttura porta ugelli. La funzione della struttura porta ugelli è quella di **mantenere gli ugelli irroratori nella posizione desiderata** durante lo svolgimento delle prove. La struttura porta ugelli deve quindi riprodurre la geometria dei bracci del drone sui quali sono applicati gli ugelli. La struttura cambia a seconda che si svolgano prove a singolo ugello o con tre ugelli, come evidenziano le figure 2.4 e 2.5, ma è sempre composta da tre elementi fondamentali: un **traliccio di sostegno** (1), che regge la **struttura metallica a sbalzo** (2), su cui sono fissati gli ugelli mediante i **porta-ugelli** (3). Il porta-ugello, oltre a permettere l'ancoraggio dell'ugello alla struttura, permette anche di regolare l'angolo di inclinazione dell'ugello.



Figura 2.4 – Struttura porta ugelli, singolo ugello

Come si può osservare in figura 2.4 la struttura porta ugelli nel caso di prova con un solo ugello è abbastanza semplice. La struttura metallica che sostiene l'ugello è costituita da una semplice trave a sbalzo, fissata sul traliccio, alla quale è montato, su di un estremo, l'ugello, attraverso l'ausilio del porta-ugello.

In figura 2.5 si osserva invece la struttura porta ugelli nel caso di prova a tre ugelli. Anche in questo caso al traliccio è fissata una trave a sbalzo, all'estremità della quale è connessa una seconda trave, perpendicolare alla prima. Dalle estremità della seconda trave pendono due braccetti al termine dei quali sono fissati gli ugelli mediante il porta-ugello. Il terzo ugello è fissato in prossimità della giunzione tra le due travi a sbalzo. Due aste metalliche sono state poste in diagonale tra la base del traliccio e la giunzione tra la trave sospesa e i braccetti ai quali sono fissati gli ugelli, per aumentare la rigidità della struttura.

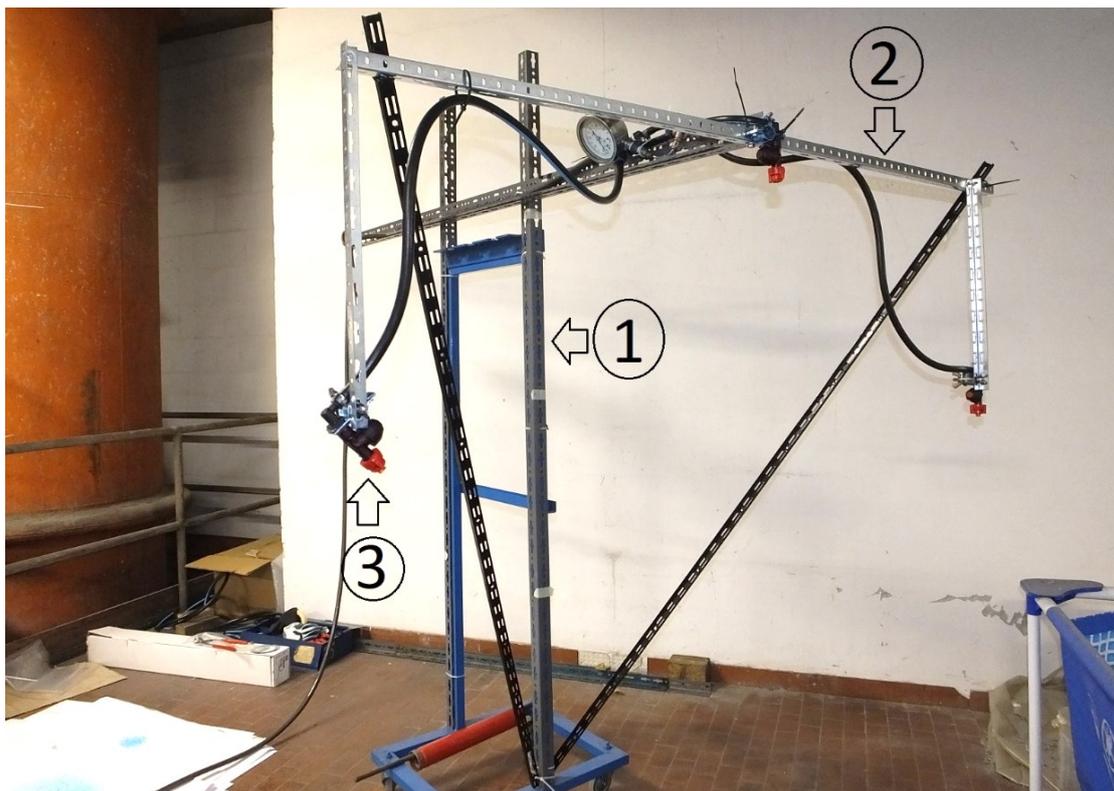


Figura 2.5 – Struttura porta ugelli, tre ugelli

La figura 2.6 mostra come i porta-ugelli consentono anche di regolare l'angolo di inclinazione dell'ugello.



Figura 2.6 – Regolazione dell'angolo di inclinazione dell'ugello, grazie al porta-ugello

### 2.3 Bersaglio dell'irrorazione

Il bersaglio dell'irrorazione è costituito dai fogli di carta fotografica sui quali viene spruzzata la soluzione di colorante ed acqua per eseguire la prova e la struttura di sostegno dei fogli stessi. Il posizionamento dei fogli di carta fotografica è un fattore fondamentale che caratterizza la prova.

Nel caso delle prove con foglio verticale esso è stato semplicemente appeso con del nastro adesivo al telo di nylon che costituisce il box nella quale sono state eseguite le prove, come si può osservare in figura 2.7.



Figura 2.7 – Foglio di carta appeso al telo di nylon del box.

Nel caso delle prove con tre ugelli è stata realizzata una struttura, denominata **simulatore di vigneto**, che riproduce in modo semplificato la geometria e le dimensioni di una vite, seguendo le quote indicate nella tesi di Marco Persico [5] e riportate nell'introduzione di questo testo. La struttura è stata realizzata utilizzando due Europallet (1200 x 800 mm), distanziati da un asse di legno di larghezza 600 mm. La struttura in legno del simulatore di vigneto è rappresentata in figura 2.8. Il simulatore di vigneto sarà approfondito ulteriormente nel capitolo 6.



Figura 2.8 – Struttura in legno del simulatore di vigneto.

### 2.3.1 Carta

La carta è sicuramente un elemento fondamentale per quanto riguarda l'esecuzione delle prove. La scelta di utilizzare fogli di carta anziché cartine idro-sensibili è dovuta al fatto che si vuole studiare l'intera impronta del getto ed è quindi richiesta una superficie ampia che le cartine idro-sensibili non sono in grado di coprire. La scelta di una carta lucida fotografica è dovuta al fatto che questo tipo di carta garantisce che il getto non venga deformato a causa dell'assorbimento, come invece accade su altre tipologie come la carta comune oppure la carta da imballaggi.[6]

In particolare, è stata utilizzata una carta fotografica *IJM260 Instant Dry Photo Paper, Gloss* prodotta da Canon®, con grammatura pari a 190 g/m<sup>2</sup>, come indicato dall'etichetta mostrata in figura 2.9. Questo tipo di carta è venduta in rotoli da 914 millimetri di larghezza per 30 metri di lunghezza che sono stati opportunamente tagliati a seconda della prova da effettuare.



Figura 2.9 – Etichetta carta fotografica

### 2.4 Colorante

Il colorante, o più propriamente la soluzione di colorante e acqua, è l'elemento che ha il compito di lasciare traccia delle gocce che si depositano sul foglio, in modo che sia possibile analizzarle con un software di analisi delle immagini. Per tutti gli esperimenti è stato utilizzato il colorante *acid blue 9* - 85% fornito da *Novema* in una soluzione di soluzione di 50 grammi di colorante per litro d'acqua. In figura 2.10 è riportata una fotografia della bottiglia di colorante di cui è visibile l'etichetta.



Figura 2.10 – Bottiglia del colorante utilizzato con etichetta

## Capitolo 3 : Ugelli

Il presente capitolo ha lo scopo di presentare le varie tipologie di ugelli utilizzati nelle prove sperimentali in modo da definire le specifiche tecniche e le caratteristiche peculiari degli ugelli che saranno oggetto di studio nella fase sperimentale del lavoro.

Gli ugelli sono componenti dotati di orifizi opportunamente sagomati nei quali viene fatto passare il liquido in pressione. Il liquido in pressione, nel passaggio attraverso l'orifizio, espande dividendosi in un gran numero di goccioline, questo fenomeno è detto polverizzazione.

### 3.1 Classificazione in base alla forma del getto

A seconda della geometria dell'orifizio si ottengono diverse tipologie di getto che caratterizzano l'ugello, in particolare tra gli ugelli utilizzati nell'attività sperimentale possiamo distinguere:

- Ugelli a cono pieno
- Ugelli a cono vuoto
- Ugelli a ventaglio

Gli *ugelli a cono* sono caratterizzati da un getto di forma conica. Si distinguono tra *ugelli a cono pieno* per i quali l'impronta del getto è più concentrata nel centro e *ugelli a cono vuoto* per i quali l'impronta del getto è più concentrata sulla circonferenza.

Gli *ugelli a ventaglio* sono caratterizzati da un getto di forma triangolare, l'impronta del getto può essere *rettangolare* o *ellittica* a seconda del fatto che il foro sia rettangolare o ellittico.

Ugello a cono pieno	Ugello a cono vuoto	Ugello a ventaglio, impronta rettangolare	Ugello a ventaglio, impronta ellittica
			

Tabella 1 – Classificazione degli ugelli in base alla forma del getto.

Fonte delle immagini: Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.

In tabella 1 sono visibili le differenze tra le varie tipologie di ugelli, classificati in base alla forma del getto. Le barre azzurre riportate sotto la forma del getto rappresentano la distribuzione del getto di un singolo ugello.

Gli *ugelli anti-deriva* sono ugelli studiati per ridurre il fenomeno della deriva. *La deriva è un fenomeno causato solitamente dal vento che porta alla dispersione di una parte del prodotto fitosanitario nell'ambiente circostante, causandone l'inquinamento.* [11] Per evitare il fenomeno della deriva gli ugelli anti-deriva sono studiati per inglobare bolle d'aria all'interno delle gocce, facendole diventare più grosse e pesanti, in questo modo si riduce la possibilità che le gocce vengano trasportate dal vento.

## 3.2 Normative

### 3.2.1 Classificazione in base alla taglia dell'ugello: ISO 10625 [12]

La normativa ISO 10625 definisce un sistema per catalogare gli ugelli in base alla portata del getto. In particolare, associa un colore ad ogni ugello in funzione della portata che esso può erogare. In tabella 2 è riportata la tabella della normativa ISO 10625 che associa un colore alla taglia dell'ugello: sulla prima colonna sono riportate le portate erogate, in l/min, a 300 kPa; nella seconda colonna la taglia dell'ugello (in galloni al minuto); nelle successive colonne sono riportati i colori da associare agli ugelli, i nomi dei colori ed i codici RAL associati al colore.

Flow-rate at 300 kPa (with relative tolerance of $\pm 5\%$ ) l/min	Nozzle size <sup>a</sup>	Colour	Name of colour	RAL number <sup>a b</sup>
0,2	0050		Blue lilac	4005
0,25	0067		Olive green	6003
0,3	0075		Light pink	3015
0,4	01		Pure orange	2004
0,6	015		Traffic green	6024
0,8	02		Zinc yellow	1018
1,0	025		Signal violet	4008
1,2	03		Gentian blue	5010
1,4	035		Brown red	3011
1,6	04		Flame red	3000

Tabella 2 – Tabella ISO 10625 [12], prima parte.

Flow-rate at 300 kPa (with relative tolerance of $\pm 5\%$ ) l/min	Nozzle size <sup>a</sup>	Colour	Name of colour	RAL number <sup>a b</sup>
2,0	05		Nut brown	8011
2,4	06		Signal grey	7004
3,2	08		Traffic white	9016
4,0	10		Light blue	5012
6,0	15		Yellow green	6018
<sup>a</sup> For information only. <sup>b</sup> RAL is an acronym of Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.				

Tabella 2 - Tabella ISO 10625 [12], seconda parte

### 3.2.2 Classificazione in base alle dimensioni delle gocce: ASABE 572.1 [7]

La normativa ASABE 572.1 dell'agenzia americana ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), consente di catalogare gli ugelli, in base alle dimensioni delle gocce erogate, in otto classi che vanno da *Extremely Fine* a *Ultra Coarse*. La tabella, contenuta nella normativa ASABE 572.1, che definisce le otto classi è riportata in tabella 3.

Spray Quality*	Size of Droplets	VMD Range (Microns**)	Color Code	Retention on Difficult to Wet Leaves	Used for	Drift Potential
Extremely Fine	Small	<60	Purple	Excellent	Exceptions	High
Very Fine	↓	61-105	Red	Excellent	Exceptions	↓
Fine		106-235	Orange	Very Good	Good Cover	
Medium		236-340	Yellow	Good	Most Products	
Coarse		341-403	Blue	Moderate	Systemic Herbicides	
Very Coarse		404-502	Green	Poor	Soil Herbicides	
Extremely Coarse		503-665	White	Very Poor	Liquid Fertilizer	
Ultra Coarse	Large	>665	Black	Very Poor	Liquid Fertilizer	Low

\*Always read the pesticide label to determine which spray quality is required.

\*\*Estimated from sample reference graph in ASABE/ANSI/ASAE Standard S572.1

Tabella 3 – ASABE 572.1 [7]

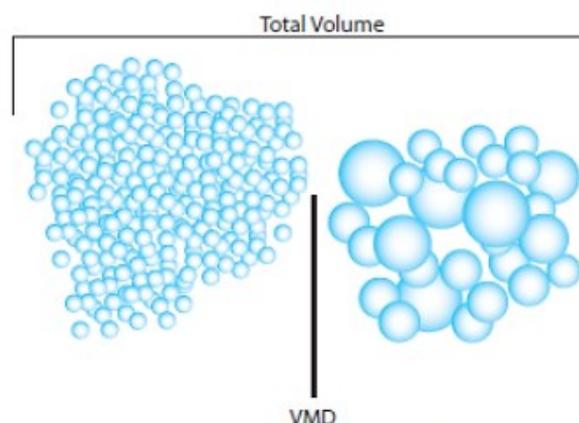
La normativa ASABE 572.1 utilizza il concetto di VMD, che all'interno della stessa normativa è definito come segue:

*VMD is the droplet size at which 50% of the spray volume is in droplets larger than the VMD and 50% of the volume is in droplets smaller than the VMD (adapted from Matthews 1992). [7]*

Tradotto in italiano il VMD è il Diametro Mediano Volumetrico e si definisce nel modo seguente:

*Il VMD è il diametro della goccia per il quale il 50% del volume dello spray è contenuto in gocce di diametro superiore al VMD ed il 50% in gocce con diametro inferiore al VMD.*

#### A. Understanding Droplet VMD



VMD is the droplet size at which 50% of the spray volume is in droplets larger than the VMD and 50% of the volume is in droplets smaller than the VMD (adapted from Matthews 1992).

Figura 3.1 – Definizione di VMD secondo ASABE 572.1 [7]

### 3.3 Ugelli a disposizione durante fase sperimentale

Durante la fase sperimentale si avevano a disposizione 7 differenti tipologie ugelli, tutti prodotti da *ASJ Nozzle*, tali ugelli sono presentati in tabella 4. Oltre al nome dell'ugello sono riportate: una descrizione dell'ugello, il range di pressioni in cui l'ugello può lavorare e la dimensione delle gocce alle pressioni ottimali, secondo le classi definite dalla normativa ASABE 572.1.

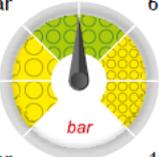
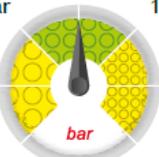
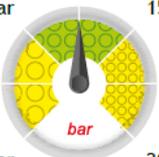
	Ugello	Descrizione	Range pressioni	Dimensione delle gocce alla pressione ottimale
	<b>HCA8001</b>	Ugello a cono vuoto con angolo di apertura 80°, riduce il rischio di deriva	5 bar 3 bar 15 bar 20 bar 	5 bar: VC 10÷20 bar: M
	<b>HCF80015</b>	Ugello a cono pieno con angolo di apertura di 80°	3 bar 2 bar 6 bar 10 bar 	2÷6 bar: F 8÷10 bar: VF
	<b>HCI6001</b>	Ugello a cono vuoto con angolo di apertura di 60°	5 bar 3 bar 15 bar 20 bar 	3 bar: F 4÷20 bar: VF
	<b>HCI80015</b>	Ugello a cono vuoto con angolo di apertura di 80°	5 bar 3 bar 15 bar 20 bar 	3 bar: F 4÷20 bar: VF
	<b>WRC110015</b>	Ugello a ventaglio, angolo di apertura 110°	2 bar 1 bar 3 bar 7 bar 	1÷5 bar: F 7 bar: VF
	<b>LDC11001</b>	Ugello a ventaglio anti-deriva, angolo di apertura 110°	2 bar 1 bar 4 bar 7 bar 	1 bar: M 3÷7 bar: F
	<b>AFC11001</b>	Ugello a ventaglio anti-deriva, angolo di apertura 110°	2,5 bar 1,5 bar 5 bar 8 bar 	1.5 bar: XC 3-4 bar: C 8 bar: M

Tabella 4 – Ugelli utilizzati nella fase sperimentale. [11]

### 3.4 Tabella riassuntiva delle caratteristiche degli ugelli utilizzati nella tesi

La tabella 4 del paragrafo 3.3 descrive gli ugelli a disposizione durante la fase sperimentale secondo le caratteristiche riportate a catalogo. Siccome il catalogo fa riferimento alla normativa ASABE 572.1 per quanto riguarda le dimensioni delle gocce e alla ISO 10625 per quanto riguarda la codifica dei colori in base alla portata, si è preferito, per agevolare la lettura, riportare una tabella che correla direttamente l'ugello ai valori di VMD e di portata che esso può erogare.

Siccome non tutti gli ugelli presentati nel paragrafo 3.3 sono stati utilizzati per realizzare le prove inserite in questa tesi, in tabella 5 verranno riportati esclusivamente gli ugelli effettivamente utilizzati all'interno della tesi.

Ugello	Descrizione	VMD [ $\mu\text{m}$ ]	Portata a 3 bar
<b>HCA8001</b>	Ugello a cono vuoto anti-deriva	5 bar: 404-505 10÷20 bar: 236-340	0,4 l/min
<b>HCF80015</b>	Ugello a cono pieno	2÷6 bar: 106-235 8÷10 bar: 61-105	0,6 l/min
<b>LDC11001</b>	Ugello a ventaglio anti-deriva	1 bar: 236-340 3÷7 bar: 106-235	0,4 l/min
<b>WRC110015</b>	Ugello a ventaglio	1÷5 bar: 106-235 7 bar: 61-105	0,6 l/min

Tabella 5- Tabella riassuntiva delle caratteristiche degli ugelli utilizzati nella tesi

### 3.5 Considerazioni sulle differenze tra valori di VMD riportati a catalogo e valori sperimentali

Si ritiene opportuno al termine di questo capitolo, che presenta i valori di VMD riportati a catalogo, fare qualche considerazione sui valori sperimentali. I valori indicati a catalogo sono stati misurati con metodi e strumenti specifici alla valutazione della dimensione delle singole gocce. I risultati sperimentali di questa tesi sono ottenuti invece con metodi volti a studiare globalmente il getto. Le dimensioni delle gocce che si ottengono dai risultati sperimentali possono essere quindi affette da errori, tra questi i più significativi sono:

- L'effetto dovuto all'**impatto della goccia sul foglio**, che si cerca di compensare utilizzando un fattore correttivo, denominato spread factor, che sarà approfondito nel capitolo 4.
- L'**aggregazione di gocce sul foglio**, lette dal software come un'unica grande goccia.
- Un'**analisi dell'immagine globale** e non puntuale sulla singola goccia.

## Capitolo 4 : Metodologia di prova e strumenti utilizzati per l'analisi dei risultati

In questo capitolo sono descritte la metodologia di prova e gli strumenti utilizzati per l'analisi dei risultati. In estrema sintesi la metodologia di analisi dei risultati è la seguente: dopo l'esecuzione delle prove su carta, esse vengono digitalizzate utilizzando una fotocamera digitale, si procede poi con l'analisi dell'immagine utilizzando il software **ImageJ®**, che consente di ricavare le aree delle gocce a partire dalle quali si calcolano i parametri che permettono il confronto tra le varie prove. Per calcolare i parametri di prova è necessario un parametro correttivo, chiamato *spread factor*, che consente di correggere il diametro delle gocce, distorte a causa dell'impatto della goccia sul foglio.

In questo capitolo sono presentati: la procedura sperimentale di esecuzione delle prove, il processo di acquisizione delle immagini, l'analisi delle immagini tramite ImageJ®, i parametri fondamentali delle prove ed il metodo con cui vengono calcolati usando Matlab®, la scelta del parametro correttivo.

### 4.1 Procedura sperimentale

La procedura sperimentale consiste essenzialmente di sei fasi:

1. Configurazione del banco prova: gli ugelli vengono disposti nella posizione di prova con gli angoli e le distanze desiderate, i fogli vengono posizionati sugli appositi sostegni.
2. Regolazione della pressione. In questa fase gli ugelli spruzzano, ma vi sono degli oggetti interposti tra ugelli e fogli che deviano i getti in modo che non colpiscano i fogli.
3. Gli ugelli vengono fatti spruzzare sui fogli spostando e riposizionando gli oggetti che deviano i getti, nel mentre si misura il tempo di prova.
4. I fogli vengono rimossi dalla posizione di prova e lasciati asciugare.
5. Si procede con l'acquisizione dell'immagine tramite fotografia.
6. Si esegue l'analisi dell'immagine con ImageJ® e si calcolano i parametri fondamentali dell'irrorazione.

### 4.2 Acquisizione delle immagini

Al termine della prova sperimentale i fogli di carta fotografica vengono lasciati asciugare per poi essere digitalizzati in modo da poter essere analizzati da un programma di analisi delle immagini. Non avendo a disposizione altri strumenti in grado di scansionare un foglio di grandi dimensioni (i fogli delle prove possono raggiungere dimensioni di 900x1200 mm) si è scelto di acquisire le immagini utilizzando una macchina fotografica digitale. In particolare, è stato utilizzato il modello *Fujifilm Finepix HS50EXR* da 16 Megapixel. Ovviamente questo metodo di acquisizione delle immagini abbastanza artigianale può essere fonte di errori ed è senza dubbio uno degli aspetti che va migliorato nel caso in cui si volessero risultati più affidabili. Per delle valutazioni di massima, però, può essere sufficiente. Prima di eseguire la fotografia è necessario tracciare una linea di riferimento di lunghezza nota (che è stata scelta pari a 30mm) per poter portare in scala l'immagine una volta acquisita. In figura 4.1 è riportata una fotografia che raffigura l'acquisizione dell'immagine mediante macchina fotografica digitale.



Figura 4.1 – Acquisizione dell'immagine con macchina fotografica digitale

### 4.3 Analisi delle immagini con ImageJ®

Una volta acquisite, le immagini vengono analizzate mediante il software di image processing ImageJ®, al fine di ricavare la quantità e le aree delle singole macchie di colore presenti sul foglio per poter calcolare i parametri che caratterizzano il getto. L'analisi è stata eseguita su sezioni rettangolari di lati 52x76mm, che corrispondono alle misure standard delle cartine idro-sensibili, in modo da poter confrontare i risultati ottenuti dalle prove su carta fotografica con quelli ottenibili da cartine idro-sensibili. Per ogni prova sono state selezionate e analizzate più aree (9 o 12). Per automatizzare questo processo sono state scritte delle macro, ovvero dei piccoli programmi nel linguaggio di ImageJ che contengono i comandi da eseguire. Un esempio di macro è riportato nelle figure 4.2 e 4.3. La procedura generale è la stessa per tutte le macro utilizzate, le piccole differenze tra le diverse macro utilizzate servono ad ottimizzare l'analisi al tipo di prova da analizzare.

```

1 var h=700;
2 var xcentro=500;
3 var ycentro=400;
4 var lscala=80;
5 var nomefile = "Prova";
6 var N=12;
7 var yc=ycentro;
8 var n_imm;
9 var hbordo;
10 n_imm=getString("Nome immagine da processare", n_imm);
11 immagine="C:/Users/Tobia/Documents/Università/Tesi irroratori/Foto prove 3 ugelli/Tre ugelli + serbatoio/WRC_WRC_60/"+n_imm+".JPG";
12 open(immagine);
13 run("Rotate 90 Degrees Left");
14 //setTool("Line");
15 waitForUser("Misura la lunghezza della linea di riferimento");
16 run("Measure");
17 lscala = getNumber("Lunghezza linea scala: ", lscala);
18 run("Set Scale...", "distance=lscala known=30 unit=unit");
19 waitForUser("Misura l'altezza");
20 run("Measure");
21 h = getNumber("Altezza: ", h);
22 //setTool("multipoint");
23 waitForUser("Seleziona il centro");
24 run("Measure");

```

Figura 4.2 – Esempio di macro ImageJ per l'analisi delle immagini, parte 1

```

25 xcentro = getNumber("X centro: ", xcentro);
26 ycentro = getNumber("Y centro: ", ycentro);
27 waitForUser("Misura bordo superiore");
28 run("Measure");
29 hbordo=getNumber("Altezza bordo superiore: ", hbordo);
30 nomefile=getString("Nome file: ",nomefile);
31 close();
32 run("ROI Manager...");
33 for (i=1; i<=N;i++) {
34 yc=hbordo+(i-1/2)*h/(N);
35 print(yc-hbordo);
36 open(immagine);
37 run("Rotate 90 Degrees Left");
38 run("Set Scale...", "distance=lscala known=30 unit=unit");
39 run("Specify...", "width=76 height=52 x=xcentro y=yc centered scaled");
40 roiManager("Add");
41 run("8-bit");
42 setAutoThreshold("Default");
43 //run("Threshold...");
44 //setThreshold(0, 116);
45 setOption("BlackBackground", false);
46 run("Convert to Mask");
47 run("Specify...", "width=76 height=52 x=xcentro y=yc centered scaled");
48 run("Analyze Particles...", "display clear");
49 path="C:/Users/Tobia/Documents/Università/Tesi irroratori/Foto prove 3 ugelli/Tre ugelli + serbatoio/WRC_WRC_60/"+nomefile+"_"+i+".txt";
50 saveAs("Results", path);
51 close();
52 }
53 open(immagine);
54 run("Rotate 90 Degrees Left");
55 roiManager("Show All with labels");

```

Figura 4.3 – Esempio di macro ImageJ per l’analisi delle immagini, parte 2

Facendo riferimento alla macro di esempio riportata in figura 4.2 e figura 4.3, che analizza la prova verticale, denominata nell’esempio WRC\_WRC\_60, si riportano i passaggi fondamentali dell’analisi dell’immagine.

- Settaggio di alcuni parametri fondamentali come il numero di selezioni (altri parametri sono solo di riferimento e verranno modificati dall’utente durante l’esecuzione del programma).
- Apertura dell’immagine in ImageJ.
- Definizione della scala: si misura la traccia di lunghezza nota e si riscalda di conseguenza l’immagine.
- Misura dell’altezza e definizione del centro (serve a definire dove prendere le selezioni).
- Definizione delle aree di selezione da analizzare: per ogni area di selezione da analizzare si prende un rettangolo di 52x76mm, centrato in (x,y) .
- Conversione in binario a 8 bit.
- Settaggio automatico del valore di soglia.
- Analisi delle particelle.
- Salvataggio dei risultati.

Al termine del processo si ottengono dei file di testo, nominati nell’esempio Vert\_1, Vert\_2, ...Vert\_12, contenenti due colonne. Ogni riga rappresenta una particella (macchia), sulla prima colonna è riportato il numero progressivo di particelle analizzate, sulla seconda colonna l’area della particella in mm<sup>2</sup>.

#### 4.4 Parametri del getto

In letteratura si trovano diversi parametri utili a valutare le caratteristiche di un getto. In particolare, è interessante avere dei parametri che identifichino le **dimensioni delle gocce** (o più propriamente *droplets*) erogate dal circuito di irrorazione e della **distribuzione** delle stesse sulle aree interessate dal getto. In questo lavoro è stato scelto di valutare ed utilizzare tre parametri: **VMD** (*Volume Median Diameter*), **area di copertura** (*coverage factor*) e **densità di gocce** (*droplet density*).

La scelta è stata fatta per mantenere una continuità con il lavoro svolto da Antonio Conte [6] ma anche perché si ritiene che questi tre parametri siano particolarmente significativi, oltre a essere molto ricorrenti in letteratura.

Oltre ai tre parametri fondamentali, si definiscono in seguito alcuni termini e parametri che saranno ricorrenti in tutto il lavoro, in modo da eliminare eventuali ambiguità.

##### 4.4.1 Gocce /Droplets

Il termine droplet in inglese significa gocciolina. È un termine utilizzato in molti ambiti diversi. Nel caso specifico è il termine che viene abitualmente utilizzato per definire le piccole gocce erogate dai circuiti di irrorazione di fitosanitari. Nel presente testo sarà spesso sostituito con il termine italiano goccia.

##### 4.4.2 VMD

Il VMD (*Volume Median Diameter*, in italiano Diametro Mediano Volumetrico) è un parametro fondamentale che serve a definire un diametro caratteristico delle gocce erogate. Le dimensioni delle gocce, infatti, non sono tutte uguali, ma seguono una distribuzione statistica. È quindi necessario un metodo di natura statistica, il calcolo del VMD appunto, per definire un parametro significativo che sia di riferimento per quanto riguarda le dimensioni delle gocce. Il VMD è definito come segue.

*Il VMD è il diametro della goccia per il quale il 50% del volume dello spray è contenuto in gocce con diametro inferiore al VMD ed il 50% in gocce di diametro superiore. [7]*

È molto importante poter conoscere e controllare le dimensioni delle gocce erogate: gocce molto grandi potrebbero infatti portare ad una concentrazione troppo alta di fitosanitario in un unico punto fino a danneggiare la foglia. Gocce troppo piccole invece sono soggette al fenomeno della deriva, ossia vengono trasportate dalle correnti d'aria e non giungono alla destinazione voluta, con conseguente inefficacia del trattamento e inquinamento del terreno e delle acque.

##### 4.4.2.1 Calcolo del VMD

Per calcolare il VMD è necessario conoscere i valori corretti dei diametri delle singole gocce (il metodo con cui vengono ricavati e corretti i diametri delle gocce verrà mostrato successivamente). Questi diametri vengono inseriti in un vettore, a partire dal quale si calcola un vettore dei volumi. Il vettore dei volumi viene ordinato in ordine crescente, dopodiché si calcola la cumulata, si identifica il valore che corrisponde al 50% del massimo della cumulata e si cerca il valore di diametro che corrisponde a tale valore. I comandi Matlab® per il calcolo del VMD sono riportati in figura 4.4.

```

% d_corretto= vettore dei diametri corretti
d=sort(d_corretto);           % Ordino il vettore dei diametri
v=4/3.*pi.*d.^3;
v_cumulata=cumsum(v);        % Calcolo della cumulata
v05=0.5*v_cumulata(end);
VMD(i,1)=interp1(v_cumulata,d,v05); % Cerco il diametro che corrisponde al 0,5 del volume totale

```

Figura 4.4 – Calcolo del VMD con Matlab®

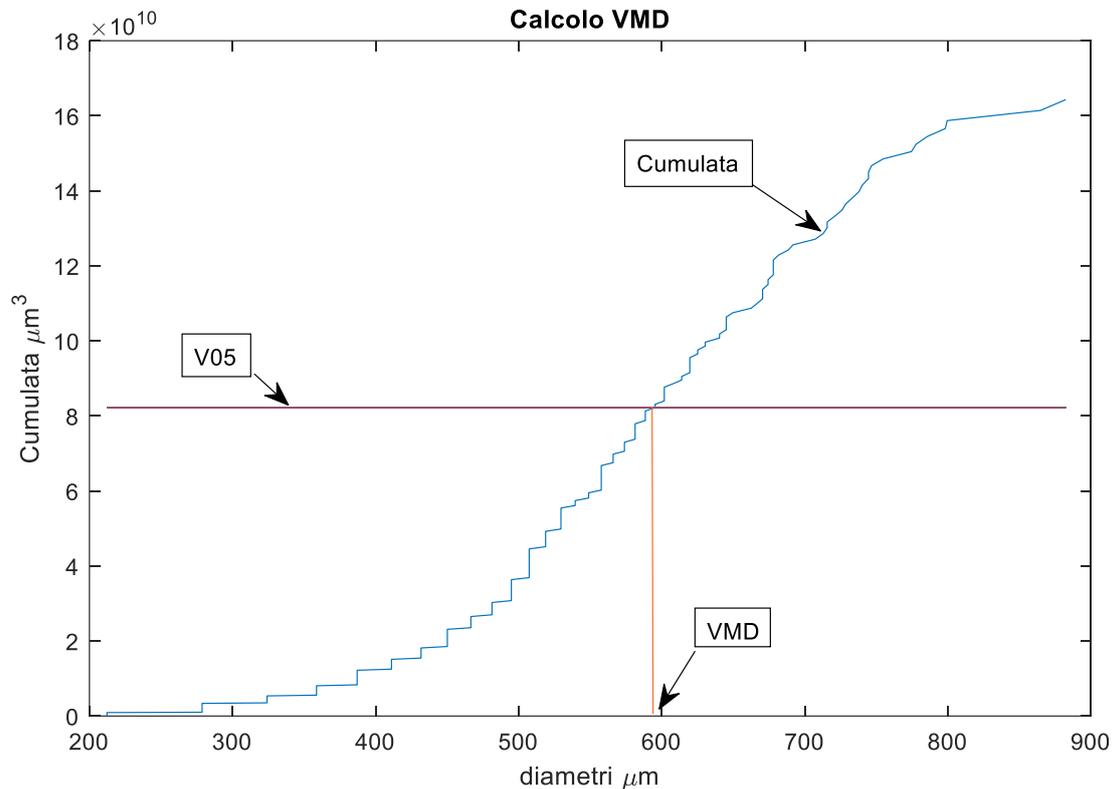


Figura 4.5 – Calcolo del VMD con Matlab®, grafici

#### 4.4.3 Area di copertura / Coverage factor

Il secondo parametro che verrà valutato è il *coverage factor*, in italiano area di copertura. È anch'esso molto utilizzato, si misura in percentuale e indica il rapporto tra l'area coperta dalle gocce e l'area totale di riferimento. È utile, ad esempio, per capire quale è la percentuale della foglia coperta dal fitosanitario e quindi a valutare l'efficacia del circuito a seconda della copertura richiesta dal trattamento. Talvolta viene definito anche *spray coverage efficiency*.

La formula per il calcolo dell'area di copertura è la seguente:

$$\text{Area di copertura} = \frac{\text{Area coperta dalle gocce}}{\text{Area totale di riferimento}} [\%]$$

#### 4.4.4 Densità di gocce / Droplets density

Come ultimo parametro si valuta il valore di *droplets density*, tradotto in italiano come densità di gocce. Identifica il numero di gocce sull'area di interesse, si calcola come rapporto tra il numero di gocce presenti sulla superficie e la superficie stessa, si misura in gocce/mm<sup>2</sup>.

La formula per il calcolo della densità di gocce è la seguente:

$$\text{densità di gocce} = \frac{\text{Numero gocce sulla superficie di riferimento}}{\text{Area di riferimento}} [\text{gocce}/\text{mm}^2]$$

In figura 4.6 sono riportati i comandi Matlab® per il calcolo dell'area di copertura e della densità di gocce.

```
Area_copertura(i,1)=sum(A)/(76*52); % Calcolo dell'area di copertura
dens_gocce(i,1)=length(A)/(76*52); % Calcolo densità gocce
```

Figura 4.6 – Calcolo area di copertura e densità di gocce con Matlab®

#### 4.4.5 Aree di riferimento

Sia per il calcolo del VMD sia per il calcolo di area di copertura e densità di gocce è necessario definire un'area di riferimento, in modo che vengano contate e misurate le gocce in essa contenute. È bene far notare che la scelta di un'area di riferimento molto grossa potrebbe far sì che si ottengano dei risultati molto mediati e poco puntuali, mentre un'area di riferimento troppo piccola è più soggetta alla variabilità delle singole gocce. Per questo motivo si è scelto di far riferimento ad un'area rettangolare di lati 52x76 mm, pari alle dimensioni standard di una cartina idro-sensibile. Questo fa sì che i risultati siano più facilmente confrontabili con quelli ottenuti da cartine idro-sensibili, ricorrenti in letteratura.

#### 4.4.6 Fattore correttivo/Spread factor

Lo spread factor, indicato comunemente con  $\beta$ , è un coefficiente correttivo che permette di risalire al diametro effettivo della goccia a partire dalla macchia che essa ha lasciato sul foglio. Infatti, durante le prove sperimentali il getto è diretto su di un foglio di carta fotografica e le dimensioni delle gocce si ricavano dall'analisi dell'impronta lasciata sul foglio. L'assorbimento della carta e l'effetto dell'impatto tra goccia e foglio fanno sì che il diametro della macchia sia superiore al diametro effettivo della goccia. L'importanza dello spread factor è notevole perché da esso dipendono i valori calcolati di VMD. La scelta dello spread factor è analizzata nel paragrafo successivo.

Lo spread factor viene utilizzato per calcolare il diametro della goccia secondo la seguente formula:

$$D_{goccia} = \frac{D_{macchia}}{\beta}$$

Dalla formula si deduce che lo spread factor non ha unità di misura.

#### 4.5 Scelta dello spread factor

La scelta dello spread factor è un'operazione estremamente importante e delicata, poiché i valori di spread factor condizionano i valori di VMD. Non è per nulla facile, infatti, trovare una correlazione tra la dimensione della goccia e la dimensione della macchia lasciata sulla carta.

In letteratura, purtroppo, le relazioni per il calcolo dello spread factor si trovano solamente per cartine idro-sensibili e non per altre tipologie di carta. Non avendo gli strumenti per poter calcolare una relazione per lo spread factor ottimizzata per l'impatto delle gocce su fogli di carta fotografica si è deciso di utilizzare comunque le relazioni trovate sulle pubblicazioni scientifiche, consapevoli del rischio di errore che questa approssimazione comporta.

Dalle fonti sono stati trovati cinque diversi metodi per il calcolo dello spread factor.

##### 4.5.1 Metodo Syngenta [8]

Un primo metodo è fornito da Syngenta [8], una delle principali aziende del settore dell'agro-industria. Il metodo, pensato per l'utilizzo di cartine idrosensibili, associa in forma tabellare, o grafica un valore di spread factor al diametro della macchia misurata. I valori sono forniti fino a diametri dell'impronta di 1000 $\mu\text{m}$ ; quindi, si presume che il metodo sia valido solo nel range fornito. Nel confronto con altri metodi i valori di spread factor sono stati calcolati anche per valori di impronta della goccia superiori a 1000 $\mu\text{m}$ , immaginando che la curva si assesti ad un valore di 2,1 superati i 1000 $\mu\text{m}$ . Si tratta chiaramente di una semplice supposizione che può essere fonte di errore.

In figura 4.7 e 4.8 sono riportati la tabella ed il grafico che associano il valore dello spread factor al valore della macchia misurata secondo il metodo Syngenta.

Stain diameter of drops, in $\mu\text{m}$	Spread factor*	Drop diameter actual, in $\mu\text{m}$
100	1.7	59
200	1.8	109
300	1.9	155
400	2.0	200
500	2.1	243
600	2.1	285

Figura 4.7 – Tabella per la valutazione dello spread factor, metodo Syngenta, Fonte: Syngenta Crop Protection, Switzerland, Water Sensitive paper for monitoring spray distribution [8]

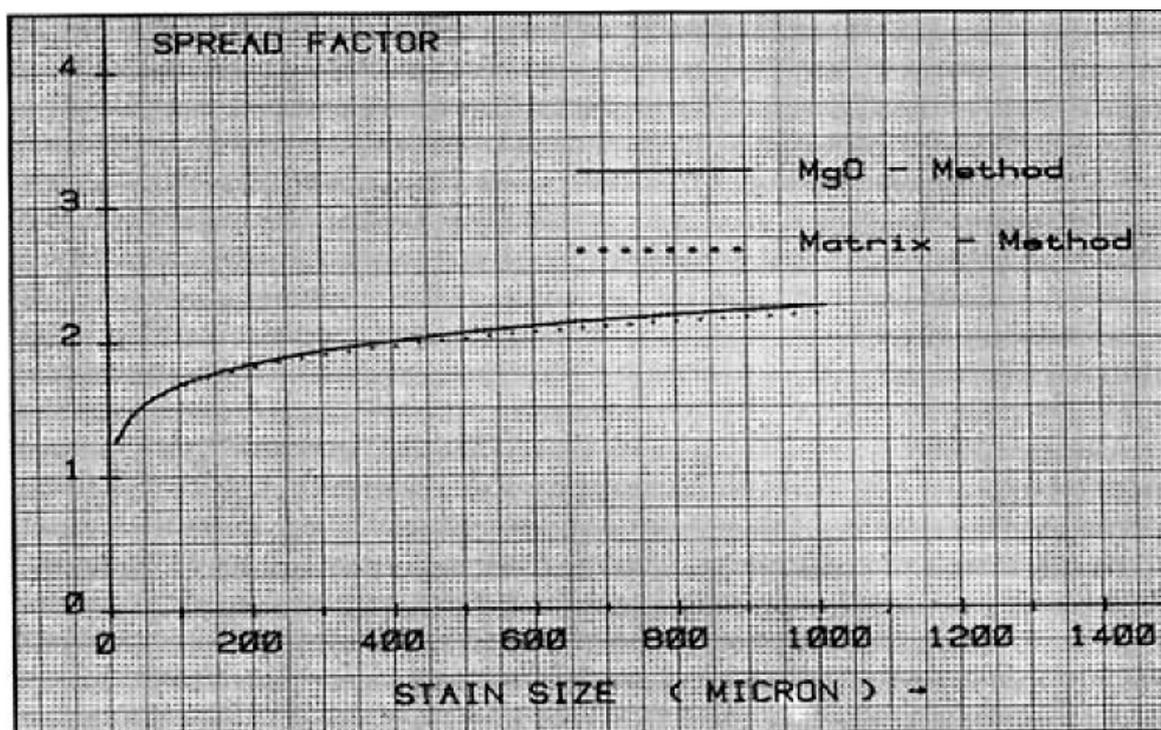


Figura 4.8 – Metodo grafico per la valutazione dello spread factor, metodo Syngenta, Fonte: Syngenta Crop Protection, Switzerland, Water Sensitive paper for monitoring spray distribution [8]

4.5.2 Metodo proposto da uno studio del Dipartimento di Agricoltura dell'Università di Catania [9]  
 Un secondo metodo per la valutazione dello spread factor fa riferimento ad uno studio portato avanti dal dipartimento di Agricoltura dell'Università di Catania e riassunto nella pubblicazione *A model to estimate the spray deposit by simulated water sensitive papers* di Emanuele Cerruto, Giuseppe Manetto, Domenico Longo, Sabina Failla, Rita Papa. Tra le altre cose all'interno della pubblicazione è proposta una relazione per il calcolo del diametro originale della goccia. Tale formula è riportata di seguito:

$$D_{macchia} = 1,59 \cdot 0,938 \cdot D_{goccia}^{1,143}$$

Esplicitando il diametro originale della goccia diventa:

$$D_{goccia} = \left( \frac{D_{macchia}}{1,59 \cdot 0,938} \right)^{\frac{1}{1,143}}$$

4.5.3 Metodo Droplet Scan™ System [10]

Un terzo metodo per il calcolo dello spread factor è un metodo che deriva da un sistema commerciale chiamato Droplet Scan™ System.

$$\beta = 1,6333 + 0,0000857 \cdot D_{macchia}$$

4.5.4 Metodo USDA-ARS [10]

Un quarto metodo è quello proposto dal servizio di ricerca del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America (United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service):

$$D_{goccia} = 0,53549306 \cdot D_{macchia} - 0,000084839 \cdot D_{macchia}^2$$

#### 4.5.5 Metodo Swath Kit™ [10]

L'ultimo metodo preso in considerazione deriva anch'esso da un sistema commerciale chiamato Swath Kit™.

$$D_{goccia} = -4,42 + 0,583 \cdot D_{macchia} - 0,00132 \cdot D_{macchia}^2$$

#### 4.5.6 Confronto tra i metodi

Nelle figure 4.9 e 4.10 sono riportati i valori di diametro corretto della goccia in funzione del diametro della macchia misurato, nel range di valori che si ottengono dai dati sperimentali. Come si può osservare dalla prima immagine nel range di valori di macchia misurata da 0 a 1000µm i metodi restituiscono valori molto simili. Uscendo dal range ottimale alcuni metodi cadono in errore e non è facile capire quale dia risultati più corretti. Siccome il metodo di correzione verrà usato anche per macchie di grande diametro si può scegliere di scartare i metodi che portano a valori negativi del diametro della goccia (USDA e Swath Kit), il metodo Syngenta viene scartato perché non definito fuori dal range e perché diverge notevolmente rispetto agli altri metodi. Rispetto al metodo ricavato dagli esperimenti dell'Università di Catania, infine, il metodo Droplet Scan è più semplice e più simile agli altri nel range 0-1000µm. La scelta finale è dunque quella di utilizzare il metodo Droplet Scan.

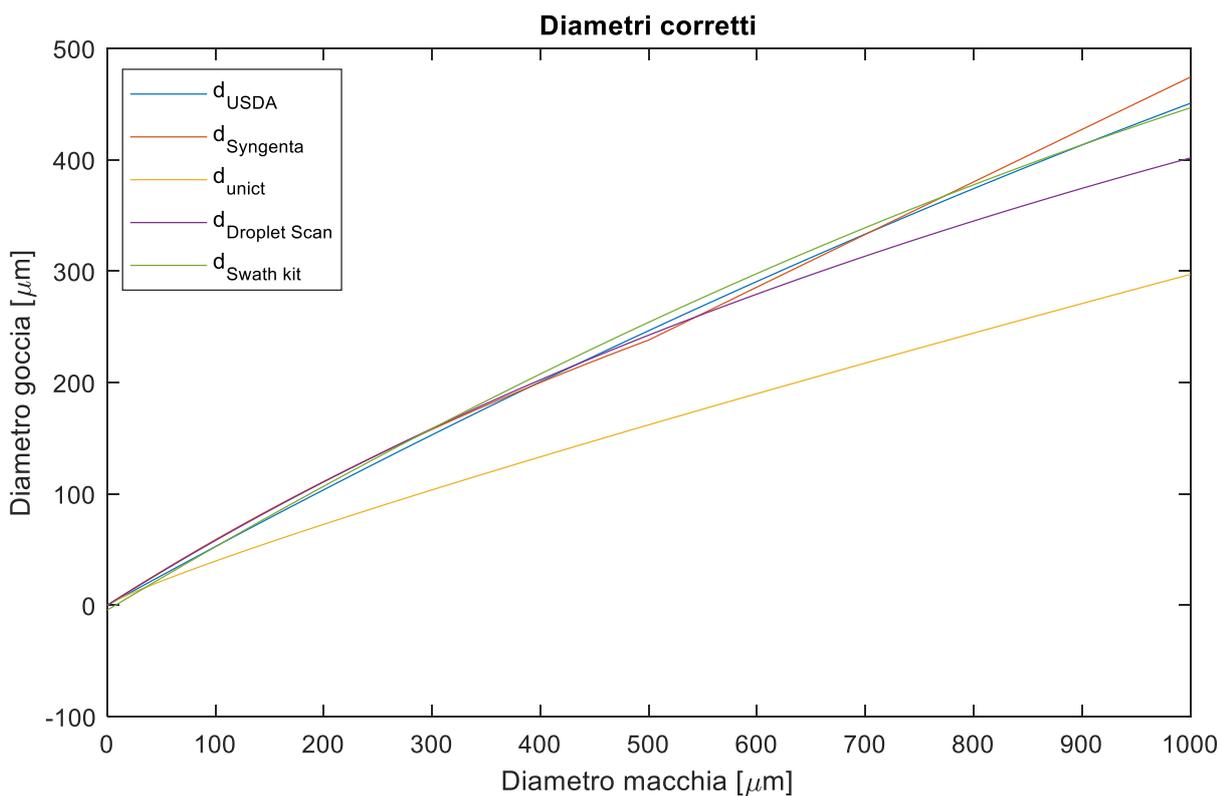


Figura 4.9 – Metodi di correzione del diametro nel range 0-1000µm

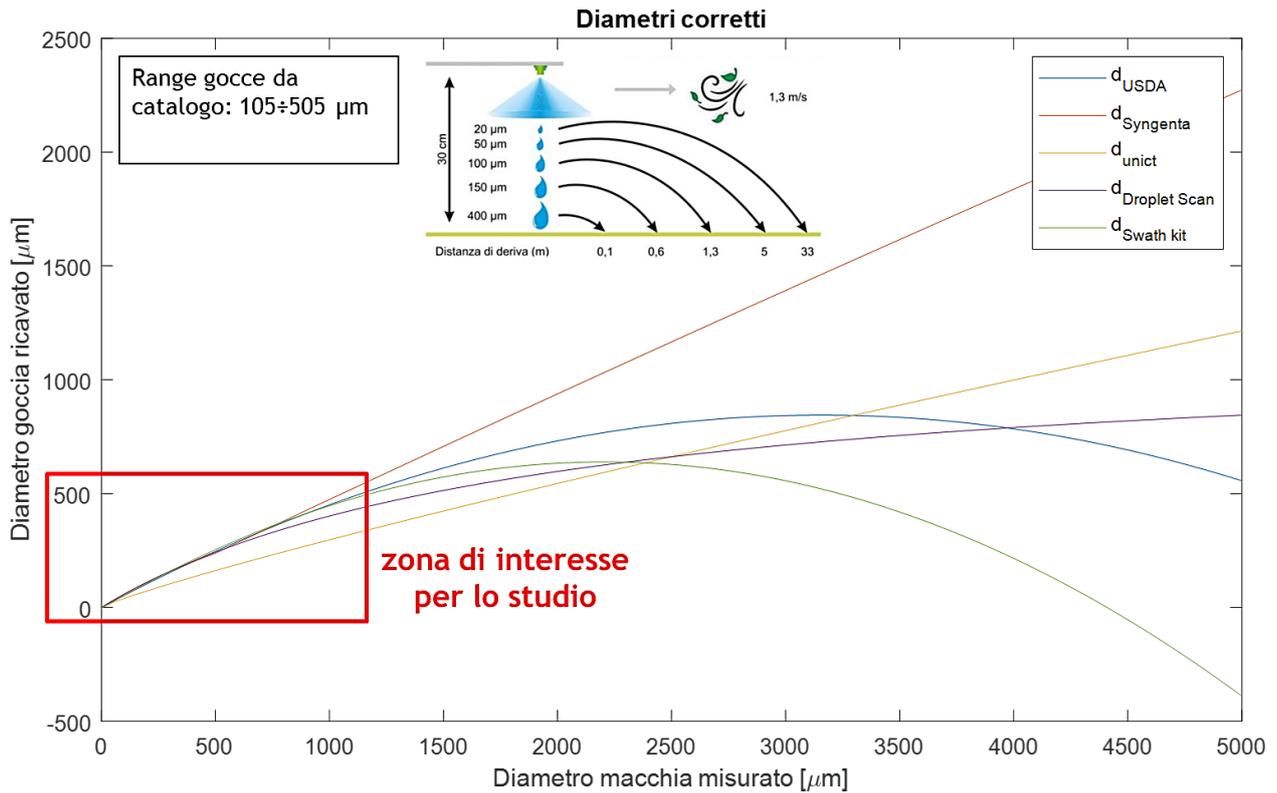


Figura 4.10 - Metodi di correzione del diametro nel range 0-5000 $\mu\text{m}$

In figura 4.11 è riportato l'andamento dei diametri corretti utilizzando il metodo Droplet Scan, in funzione del diametro della macchia. Il metodo Droplet Scan è il metodo scelto per correggere i valori dei diametri delle gocce ed è l'unico metodo che verrà utilizzato se non viene indicato diversamente.

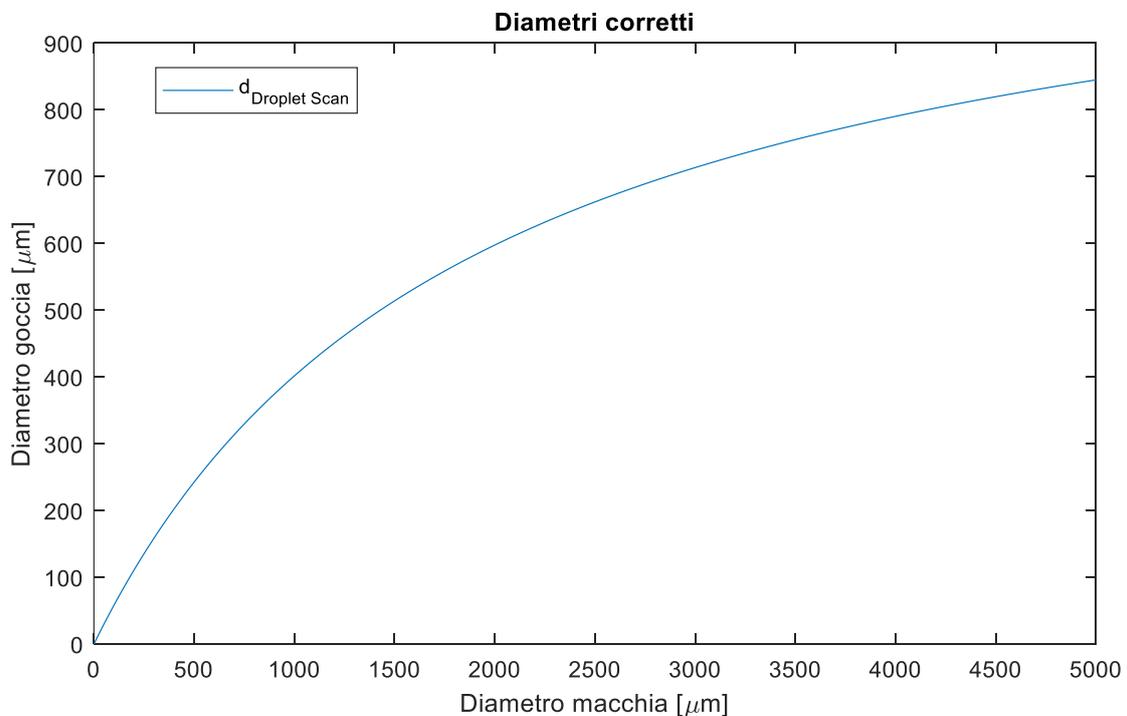


Figura 4.11 – Metodo di correzione Droplet Scan™

## Capitolo 5 : Prove con singolo ugello su foglio di carta verticale

Questo capitolo si sviluppa in continuità con il lavoro svolto precedentemente da Antonio Conte che, durante lo svolgimento della sua tesi di laurea magistrale [6], ha eseguito diverse prove su foglio di carta orizzontale utilizzando ugelli HCF80015 a cono pieno e HCI6001 a cono vuoto. Gli stessi ugelli sono stati utilizzati per eseguire alcune prove con foglio verticale, con lo scopo di valutare le differenze che si ottengono dalla diversa disposizione di foglio e ugello e di valutare le prestazioni dell'ugello nelle nuove condizioni. In questo capitolo è riportato il confronto tra i risultati ottenuti con l'ugello a cono pieno HCF80015. Oltre ai sopracitati ugelli utilizzati da Conte sono state eseguite delle prove utilizzando ugelli a cono vuoto anti-deriva HCA8001.

Le prove su foglio verticale, inoltre, sono utili per poter passare alle successive prove con simulatore di vigneto (ovvero su una struttura che simula la geometria della vite). Il simulatore di vigneto presenta infatti sia superfici orizzontali sia superfici verticali integrando le due modalità di prova. Conoscere i risultati delle prove con singolo ugello a foglio orizzontale e a foglio verticale rende più facile la configurazione del circuito da testare attraverso il simulatore di vigneto.

### 5.1 Banco prova e procedura sperimentale

Il banco prova è analogo a quello utilizzato da Conte durante i suoi esperimenti, l'unica differenza consiste nel fatto che il foglio è stato disposto in verticale anziché in orizzontale. L'ugello è stato posto inizialmente ortogonale al foglio, come si vede nell'immagine di figura 5.1, dopodiché l'angolo è stato fatto variare.

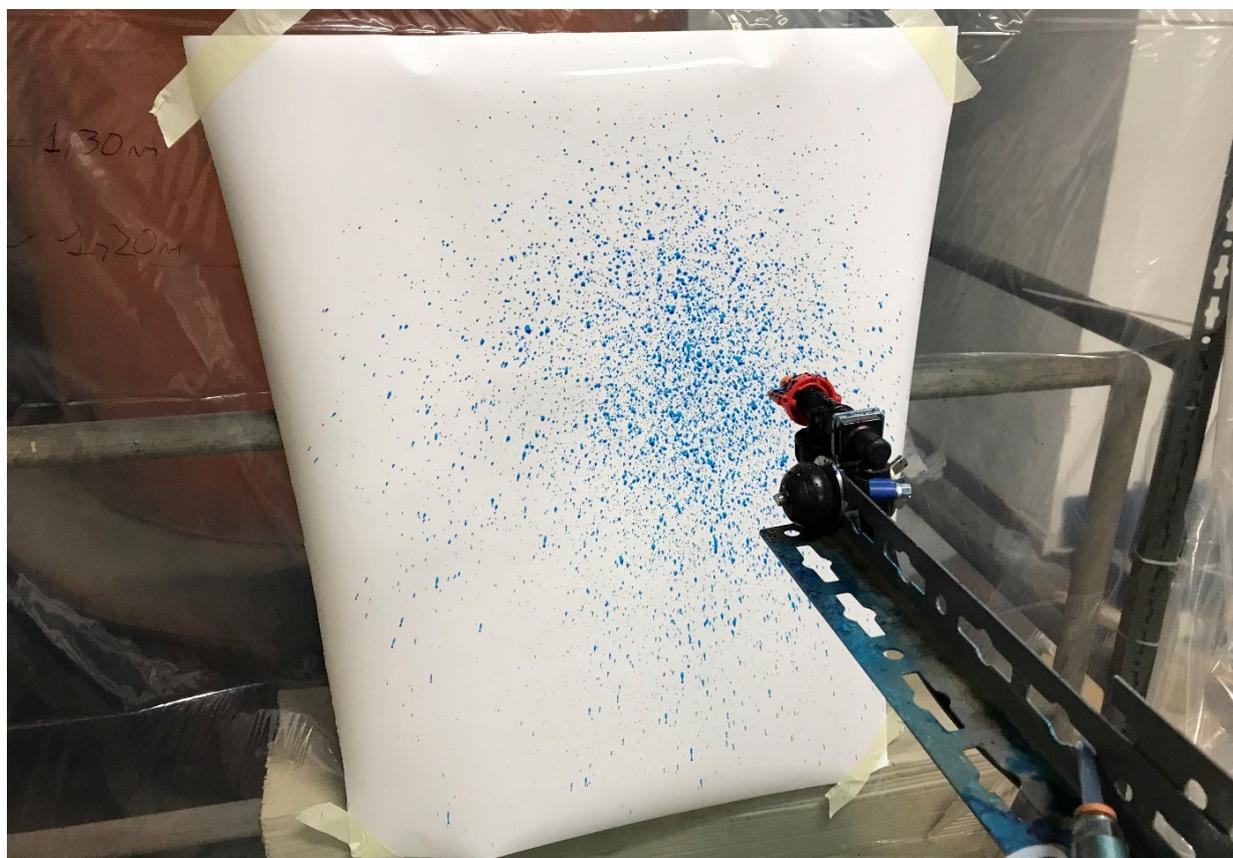


Figura 5.1 – Prova con singolo ugello su foglio verticale, esecuzione della prova.

Il circuito di alimentazione è lo stesso presentato nel capitolo 2, dove la pressione della pompa viene regolata attraverso un regolatore di flusso posto su un ramo di by-pass che connette la mandata della pompa con il serbatoio.

La procedura sperimentale è la stessa presentata nel capitolo 4, riportata di seguito riadattata al caso specifico:

1. Il foglio viene posizionato sulla parete verticale e l'ugello viene posizionato alla distanza desiderata dal foglio, con l'angolo di inclinazione voluto.
2. Si regola la pressione a monte dell'ugello agendo sul rubinetto del circuito di by-pass. In questa fase l'ugello spruzza ma vi è un oggetto interposto tra ugello e foglio che devia il getto in modo che non colpisca il foglio.
3. L'ugello viene fatto spruzzare sul foglio spostando e riposizionando l'oggetto che devia il getto, nel mentre si misura il tempo di prova.
4. Il foglio viene rimosso dalla parete verticale e lasciato asciugare.
5. Si procede con l'acquisizione dell'immagine tramite fotografia.
6. Si esegue l'analisi dell'immagine ed i successivi calcoli.

Di fondamentale importanza sono le quote che misurano la distanza tra ugello e foglio e l'angolo tra la direzione del getto ed il foglio. Per quanto riguarda la distanza tra ugello e foglio si è scelta una distanza di 400mm. Utilizzando le quote esposte nel capitolo introduttivo, ricavate dalla tesi di laurea magistrale di Marco Persico [5], infatti, sappiamo che la distanza tra i due ugelli rivolti verso la parete verticale è di circa 1400mm e la larghezza della vite di circa 600mm. Da queste quote si ricava che la distanza tra l'ugello e la faccia verticale della vite è di circa  $(1200-600)/2=400\text{mm}$ .

Per quanto riguarda gli angoli tra la direzione del getto ed il foglio sono stati scelti inizialmente i valori di  $90^\circ$  e  $45^\circ$ .

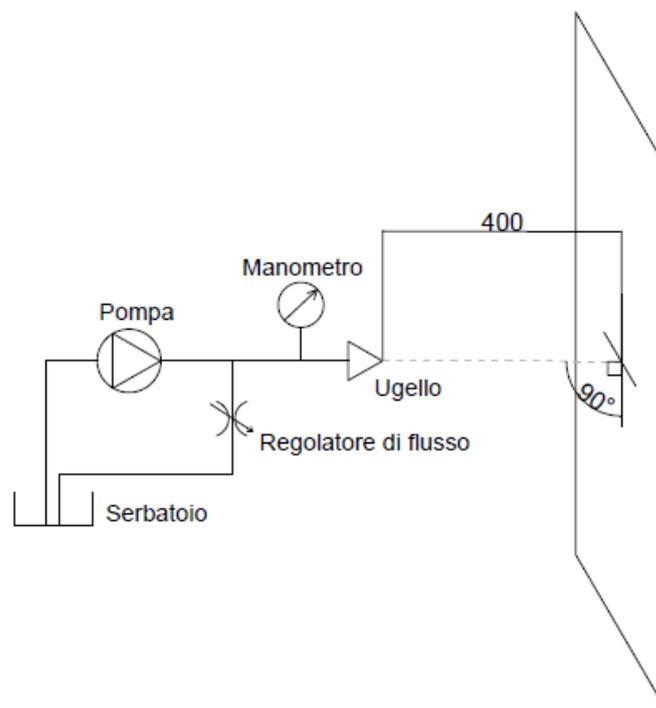


Figura 5.2 – Schema della prova a singolo ugello, con angolo di  $90^\circ$

In figura 5.2 è riportato lo schema del circuito con singolo ugello e angolo di  $90^\circ$ , in figura 5.3 è riportato invece lo schema del circuito con un solo ugello e angolo di inclinazione di  $45^\circ$  rispetto al foglio.

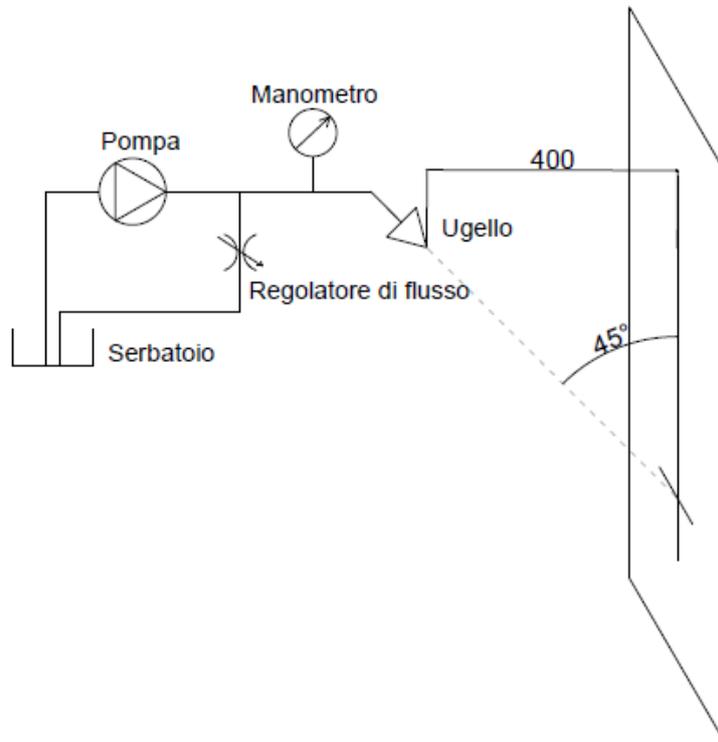


Figura 5.3 - Schema della prova a singolo ugello, con angolo di  $45^\circ$

## 5.2 Prove con ugello a cono pieno HCF80015 e confronto con le prove di Conte

In questo paragrafo sono riportati i risultati sperimentali ottenuti dalle prove a singolo ugello su foglio verticale effettuate con l'ugello a cono pieno HCF80015, con lo scopo di essere confrontate con le prove eseguite, con il medesimo ugello e foglio in posizione orizzontale, da Antonio Conte. Verranno dapprima riportati i risultati delle prove ed in seguito confrontati con i risultati ottenuti da Conte.

### 5.2.1 Prova con ugello a cono pieno HCF80015, con foglio verticale, angolo 45°

In tabella 6 sono riportati i risultati della prova con ugello a cono pieno HCF80015 con foglio verticale e angolo di 45°. I nomi delle variabili VMD\_I, VMD\_II, VMD\_III fanno riferimento alla denominazione utilizzata nella tesi di Conte e indicano rispettivamente i valori di VMD calcolati utilizzando il metodo Syngenta, il metodo proposto dall'Università di Catania ed il metodo Droplet Scan per la valutazione dello spread factor (si veda il paragrafo *Scelta dello spread factor* del capitolo 4).

Pressione	Distanza parete	Foglio	Angolo rispetto al foglio	Tempo [s]	ugello
3 bar	40 cm	Verticale	45°	0,39	HCF80015

	Zona I	Zona II	Valore medio
<b>VMD_I [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	1473,6	1148,3	1311,0
<b>VMD_II [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	793,3	625,8	709,6
<b>VMD_III [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	655,2	588,3	621,8
<b>Area coverage [%]</b>	27,09	18,67	22,88
<b>Droplet density [droplet/cm<sup>2</sup>]</b>	8,43	8,53	8,48

Tabella 6 – Risultati prova con ugello a cono pieno HCF80015, con foglio verticale, angolo 45°

### 5.2.2 Confronto con risultati prove foglio orizzontale realizzate da Conte

In tabella 7 sono mostrate le aree di selezione della prova su foglio verticale con ugello a 45° e le aree di selezione scelte da Conte per la prova con foglio verticale ed ugello perpendicolare al foglio. In tabella 8 sono confrontati i risultati numerici delle due prove.

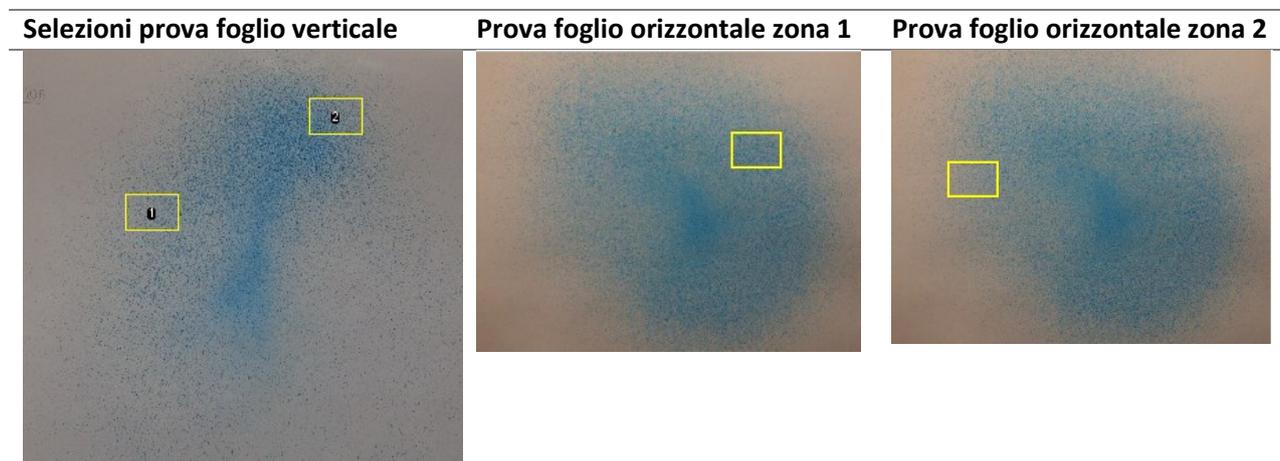


Tabella 7 – Zone selezionate, prove su foglio verticale e orizzontale

	Prova su foglio verticale	Prova su foglio orizzontale (Conte)
Distanza [mm]	400	500
Angolo [°]	45	90
Tempo [s]	0,39	0,53
Pressione di alimentazione [bar]	3	3
VMD_I (media) [µm]	1311,0	320,3
VMD_II (media)[µm]	709,6	229,1
VMD_III (media) [µm]	621,8	322,5
Area coverage [%]	22,88	33,8
Droplet density [droplet/cm <sup>2</sup> ]	8,48	45,9

Tabella 8 – Confronto valori prove su foglio verticale e orizzontale, con ugello HCF80015

Osservando i valori di tabella 8 si nota che i valori di VMD ottenuti da prova su foglio verticale sono molto più grandi rispetto ai valori ottenuti da prova orizzontale e anche rispetto ai valori attesi (da catalogo i valori di VMD dovrebbero essere compresi tra 106 e 237 µm). Coerentemente con l'aumento del VMD si può notare una notevole diminuzione della densità di gocce, infatti, avendo gocce molto più grosse diminuisce la quantità di gocce per unità di area. Non è facile risalire alle cause di questa notevole divergenza di risultati, fra le possibili cause vi sono: la differente distanza tra ugello e foglio, la differente azione della gravità e la differenza di angolo tra ugello e foglio. La presenza di una differenza così notevole fa poi pensare alla possibilità che siano stati utilizzati algoritmi differenti per il calcolo del VMD e la valutazione dell'effettiva dimensione delle gocce. Quel che è certo è che **i valori ottenuti dalle prove su foglio orizzontale realizzate da Conte non sono confrontabili con i valori ottenuti dalle prove su foglio verticale riportate in questa tesi**; pertanto, i valori sperimentali di questo lavoro hanno valore solo se riferiti alle modalità di prova e di calcolo delle variabili con le quali sono stati ricavati e non sono direttamente confrontabili con prove realizzate diversamente.

### 5.3 Prove su carta verticale con ugelli anti deriva

Dopo aver eseguito le prove con ugelli HCF80015, sono state eseguite prove con foglio verticale anche con ugelli a cono vuoto anti-deriva HCA8001, con lo scopo di caratterizzare il getto su parete verticale di questa tipologia di ugelli. Sono state eseguite due prove con diverso angolo tra ugello e foglio verticale, in particolare con angolo di 90° e 45°. Per ogni prova sono state prese cinque diverse selezioni a diverse distanze dal centro del getto per valutare VMD, area di copertura e densità di gocce nelle diverse zone del getto. Per il calcolo del VMD sono state usate tre diverse modalità, un po' per continuità con il lavoro di Conte, un po' per mostrare quanto sia influente la scelta dello spread factor sul risultato finale.

#### 5.3.1 Prova con ugello HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio

Di seguito è riportata una tabella che espone i parametri di prova utilizzati per la prova effettuata con ugello a cono vuoto anti-deriva HCA8001 su foglio verticale con angolo di 90° rispetto al foglio e l'immagine della scansione dell'impronta del getto nella quale sono evidenziate le aree di selezione.

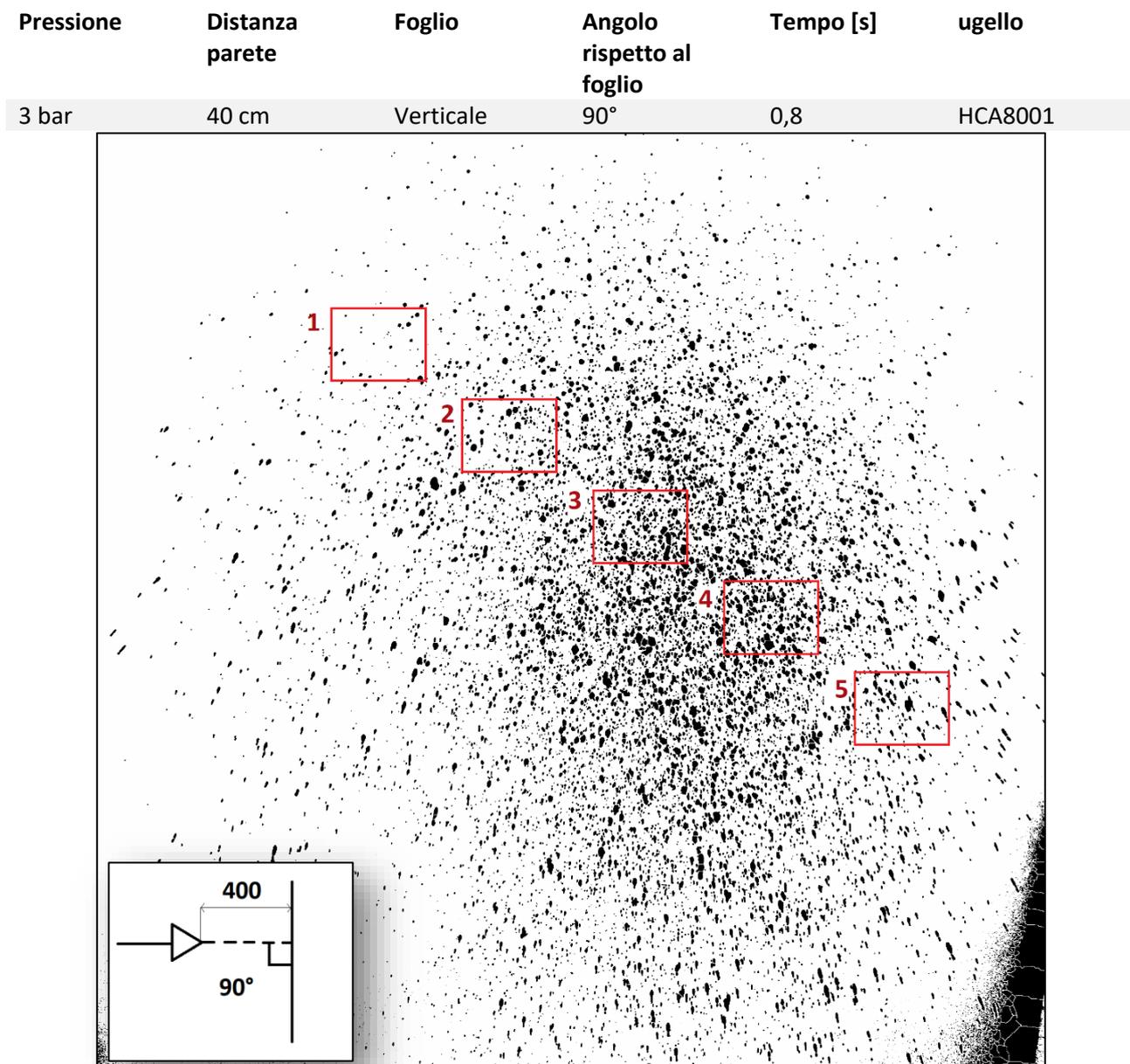


Figura 5.4 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio.

In tabella 9 sono riportati i valori di VMD, secondo i tre diversi metodi di correzione, di area di copertura e di densità di gocce ottenuti nelle cinque aree di selezione della prova a foglio verticale con ugello a cono vuoto anti-deriva HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio. Come era già stato indicato in precedenza VMD\_I, VMD\_II, VMD\_III fanno riferimento alla denominazione utilizzata nella tesi di Conte [6] e indicano rispettivamente i valori di VMD calcolati utilizzando il metodo Syngenta, il metodo proposto dall'Università di Catania ed il metodo Droplet Scan per il la valutazione dello spread factor (si veda il paragrafo *Scelta dello spread factor* del capitolo 4).

Selezione	VMD atteso [micron]	VMD_I [micron]	VMD_II [micron]	VMD_III [micron]	Area di copertura	Densità gocce [gocce/mm <sup>2</sup> ]
1	404 ÷ 502	9,02E+02	5,78E+02	5,45E+02	2,84%	0,009
2	404 ÷ 502	9,23E+02	5,88E+02	5,46E+02	12,77%	0,040
3	404 ÷ 502	1,18E+03	7,30E+02	5,97E+02	32,74%	0,064
4	404 ÷ 502	1,19E+03	7,44E+02	6,08E+02	32,55%	0,060
5	404 ÷ 502	1,12E+03	6,88E+02	5,85E+02	4,99%	0,009
<b>Media</b>		1,10E+03	6,88E+02	5,84E+02	2,08E-01	4,32E-02

Tabella 9 – Prova con ugello HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio, Risultati sperimentali

In figura 5.5 sono riportati gli andamenti di VMD ottenuti dalla prova con ugello HCA8001 e angolo di 90° rispetto al foglio, calcolati con i tre metodi differenti, è anche riportato il valore di VMD atteso secondo catalogo.

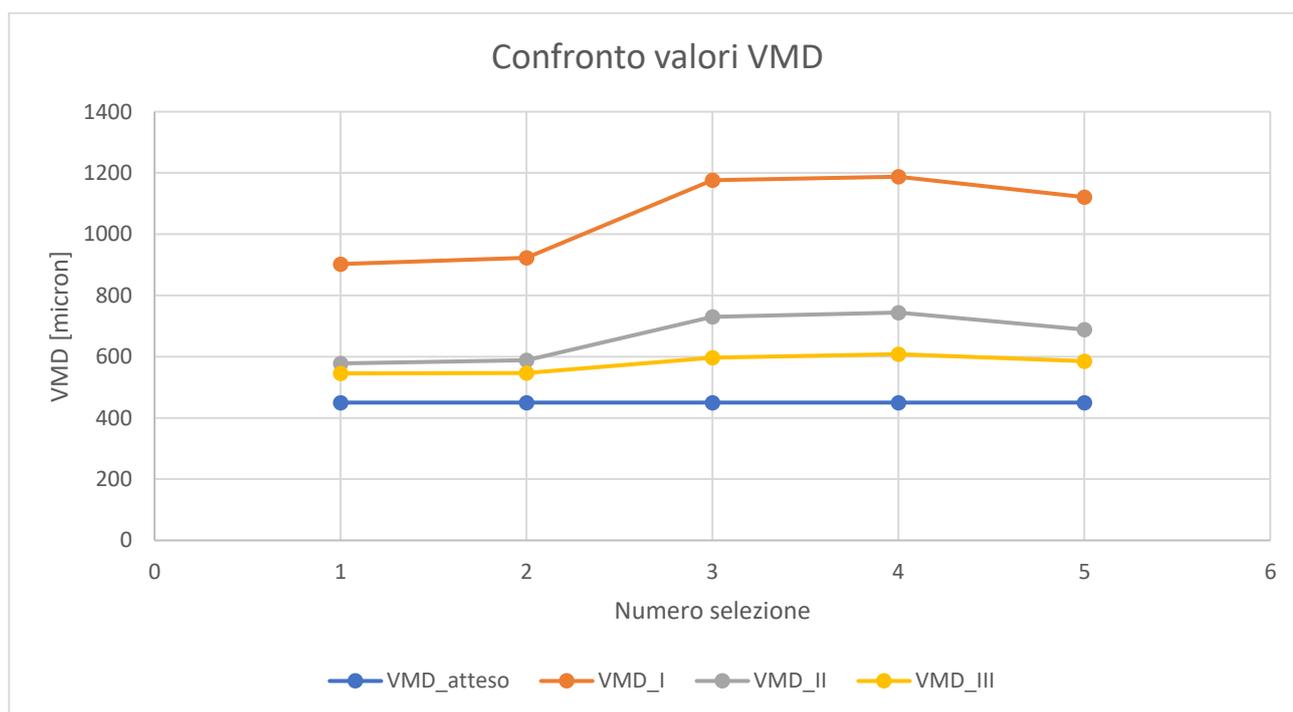


Figura 5.5 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio, andamenti VMD

Facendo riferimento ai valori di tabella 9 e di figura 5.5 si può osservare che, al di là del metodo di calcolo di VMD, si ottengono valori più grandi di quelli attesi da catalogo in analogia con i risultati ottenuti per gli ugelli a cono vuoto HCF80015. Le gocce infatti sono molto grandi, si nota una lieve diminuzione dei diametri allontanandosi dal centro, ma i valori si mantengono comunque elevati. Le grandi dimensioni delle gocce favoriscono senza dubbio l'effetto anti deriva, ma potrebbero essere eccessivamente grandi per alcuni trattamenti fitosanitari.

In figura 5.6 è riportato l'andamento dei valori di area di copertura, ottenuti dalle prove su foglio verticale con ugello a cono anti-deriva HCA8001 diretto perpendicolarmente al getto, in funzione delle aree di selezione scelte.

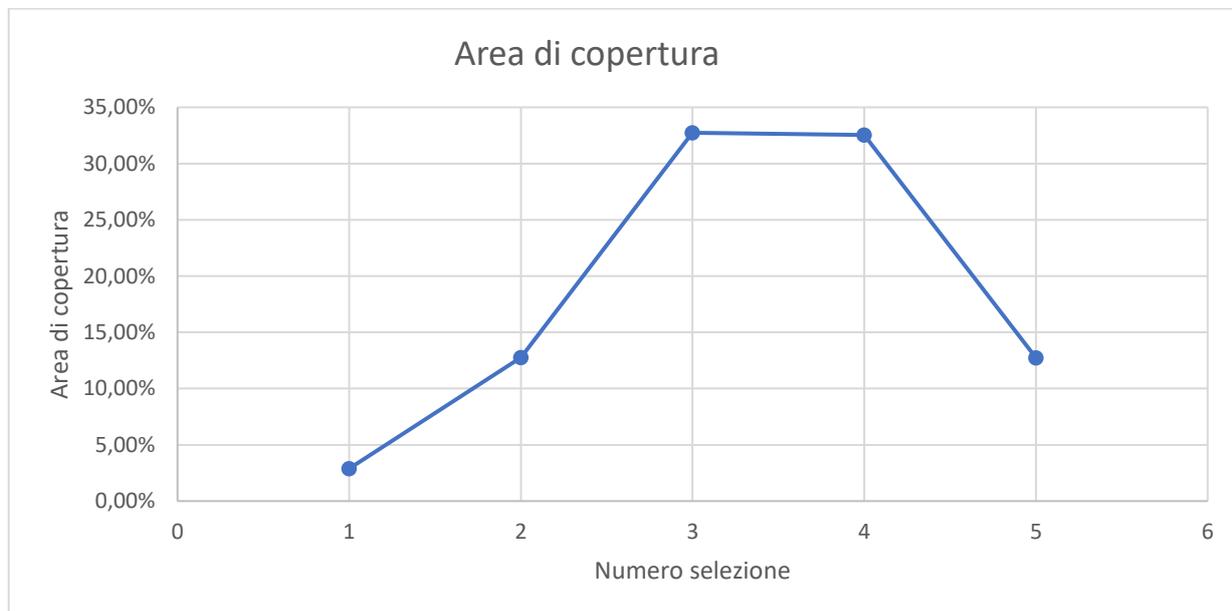


Figura 5.6 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio, andamenti area di copertura

In figura 5.7 è riportato l'andamento dei valori di densità di gocce, ottenuti dalle prove su foglio verticale con ugello a cono anti-deriva HCA8001 diretto perpendicolarmente al getto, in funzione delle aree di selezione scelte.

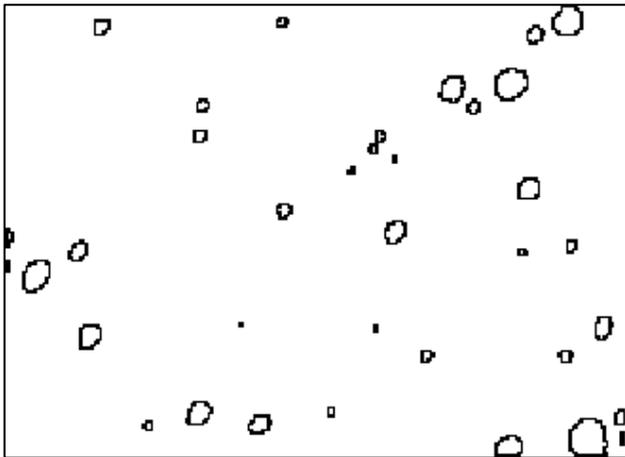


Figura 5.7 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 90° rispetto al foglio, andamenti densità di gocce

Dall'andamento dei grafici di figura 5.6 e 5.7 si può osservare che i valori di area di copertura e densità di gocce aumentano avvicinandosi al centro del getto e diminuiscono nelle aree periferiche.

In tabella 10 è riportato un confronto tra l'impronta del getto, rielaborata con ImageJ, che si può osservare in una zona centrale rispetto a quella che si può trovare in una zona periferica. Come si può notare dalle immagini, nelle aree periferiche si osservano un minor numero di gocce, più piccole e con una forma più regolare, nelle zone centrali invece, oltre a essere presente un maggior numero di gocce, si osservano gocce più grandi e con forma irregolare. Questo fenomeno è molto probabilmente dovuto all'**aggregazione** di più gocce, che è anche una delle cause che porta ad avere valori molto grandi di VMD.

Selezione 1



Selezione 3

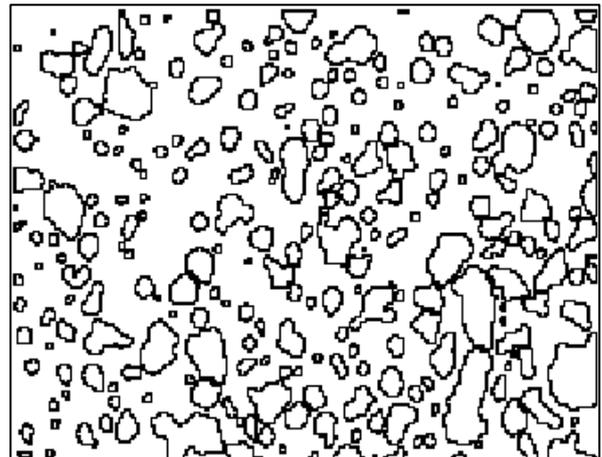


Tabella 10 – Confronto densità gocce area centrale/ area periferica

### 5.3.2 Prova con ugello HCA8001 con angolo di 45° rispetto al foglio

Di seguito è riportata una tabella che espone i parametri di prova utilizzati per la prova con ugello a cono anti-deriva HCA8001 su foglio verticale con angolo di 45° rispetto al foglio e l'immagine della scansione dell'impronta del getto nella quale sono evidenziate le aree di selezione.

Pressione	Distanza parete	Foglio	Angolo rispetto al foglio	Tempo [s]	ugello
3 bar	40 cm	Verticale	45°	0,75	HCA8001

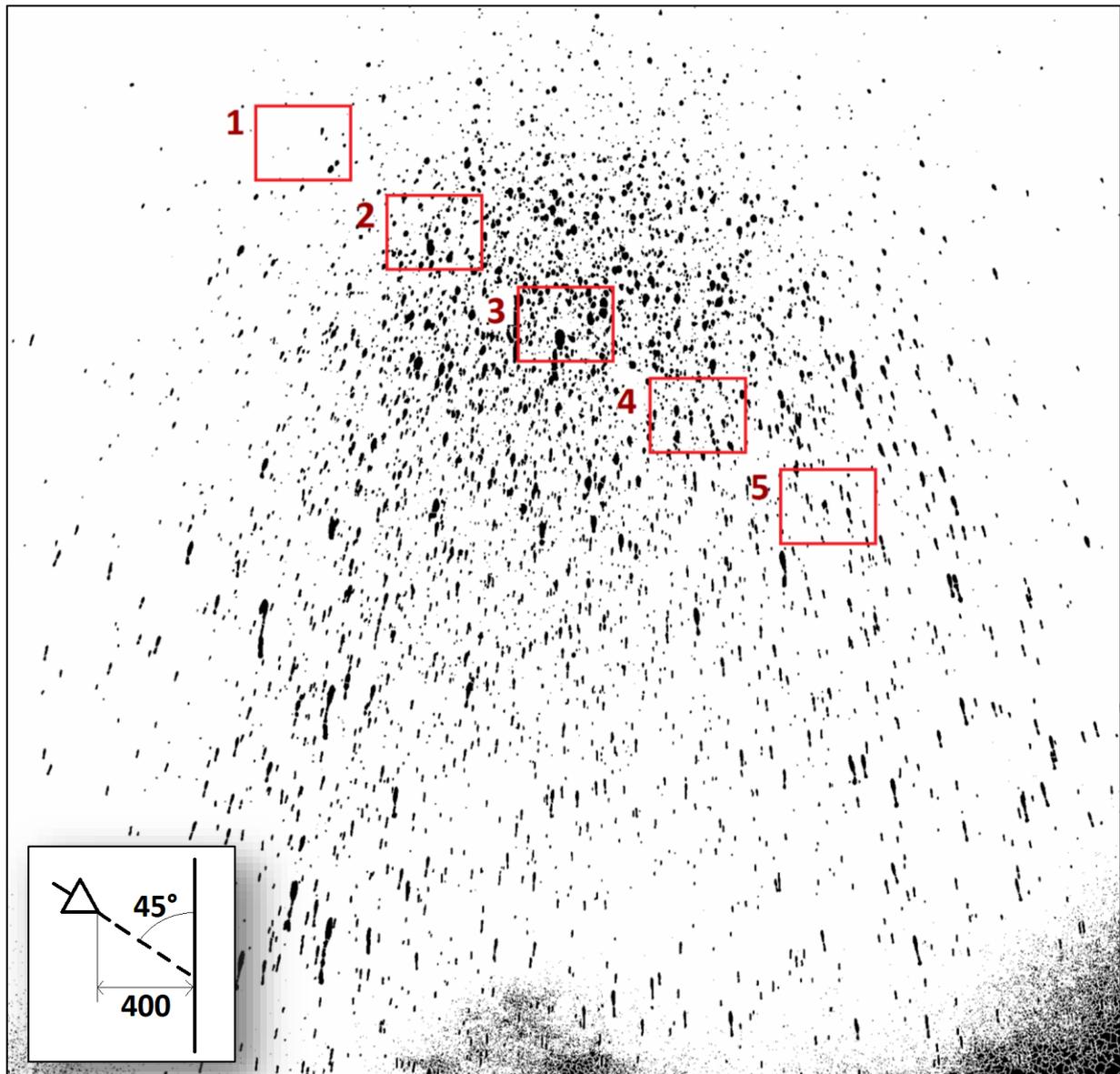


Figura 5.8 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 45° rispetto al foglio

In tabella 11 sono riportati i risultati sperimentali di VMD, calcolato secondo i tre metodi, area di copertura e densità di gocce ottenuti dalle prove eseguite con ugello a cono vuoto anti-deriva HCA8001 ed angolo di inclinazione di 45° rispetto al foglio. Le considerazioni sono analoghe al caso con angolo di 90°.

Selezione	VMD atteso [micron]	VMD_I [micron]	VMD_II [micron]	VMD_III [micron]	Area di copertura	Densità gocce [gocce/mm <sup>2</sup> ]
1	404 ÷ 502	1,17E+03	7,43E+02	6,01E+02	1,51%	0,003
2	404 ÷ 502	1,33E+03	7,93E+02	6,16E+02	14,30%	0,023
3	404 ÷ 502	1,77E+03	8,81E+02	6,42E+02	26,89%	0,035
4	404 ÷ 502	1,14E+03	7,17E+02	5,89E+02	13,39%	0,027
5	404 ÷ 502	1,23E+03	7,87E+02	6,52E+02	6,04%	0,009
<b>Media</b>		1,33E+03	7,84E+02	6,20E+02	1,24E-01	1,94E-02

Tabella 11 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 45° rispetto al foglio, risultati sperimentali

In figura 5.9 sono diagrammati i valori di VMD, ottenuti dalle prove su foglio verticale eseguite con ugello a cono anti-deriva HCA8001 diretto con un angolo di 45° rispetto al foglio, in funzione della selezione scelta. Si faccia riferimento alle selezioni di figura 5.8. I valori di VMD sono notevolmente più grandi di quelli attesi e variano molto a seconda del metodo di correzione scelto.

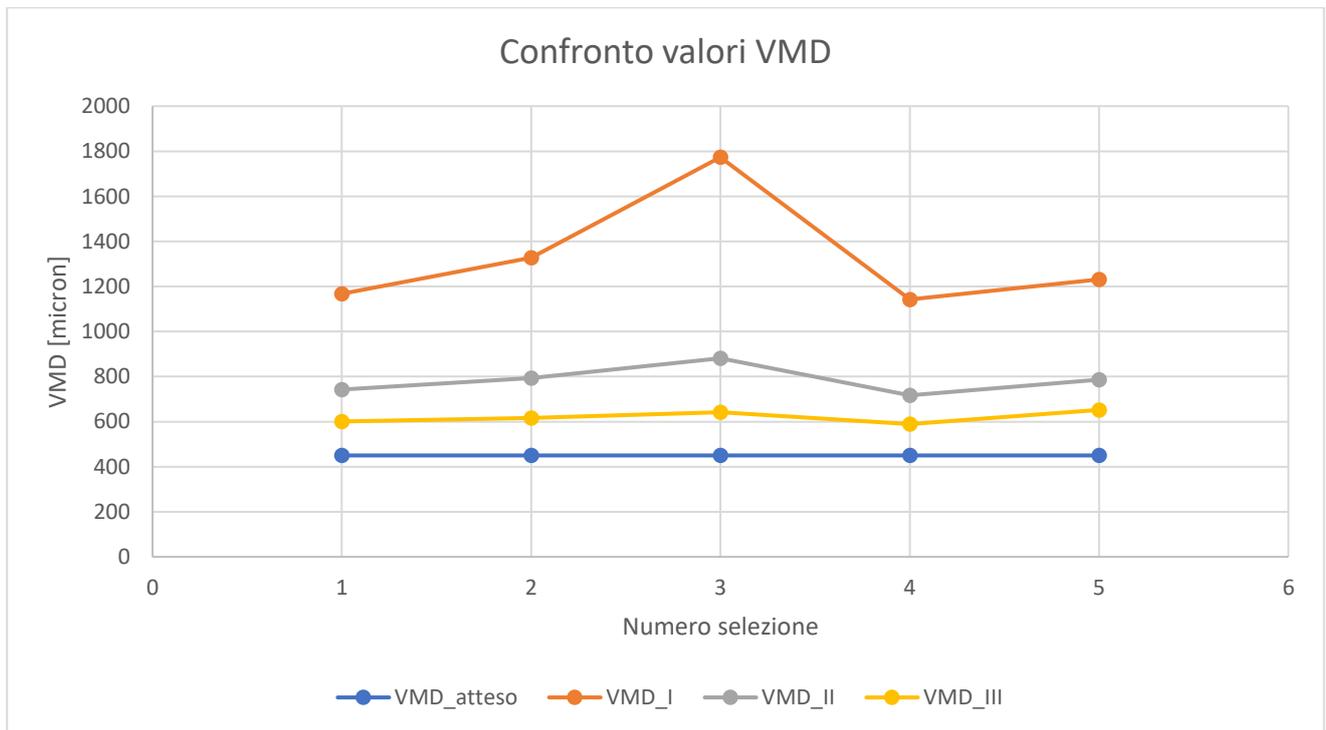


Figura 5.9 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 45° rispetto al foglio, andamento VMD

In figura 5.10 è riportato l'andamento dei valori di area di copertura, ottenuti dalle prove su foglio verticale eseguite con ugello a cono anti-deriva HCA8001 diretto con un angolo di 45° rispetto al foglio, in funzione delle aree di selezione scelte.

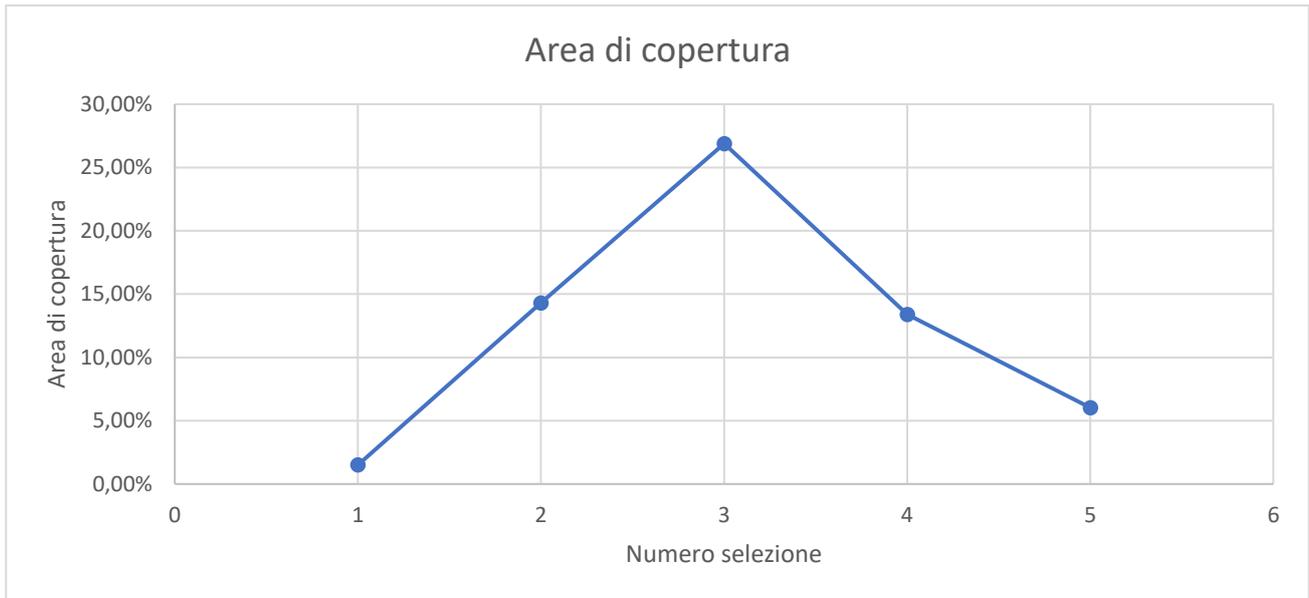


Figura 5.10 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 45° rispetto al foglio, andamento area di copertura

In figura 5.11 è riportato l'andamento dei valori di densità di gocce, ottenuto dalle prove su foglio verticale eseguite con ugello a cono anti-deriva HCA8001 diretto con un angolo di 45° rispetto al foglio, in funzione delle aree di selezione scelte.

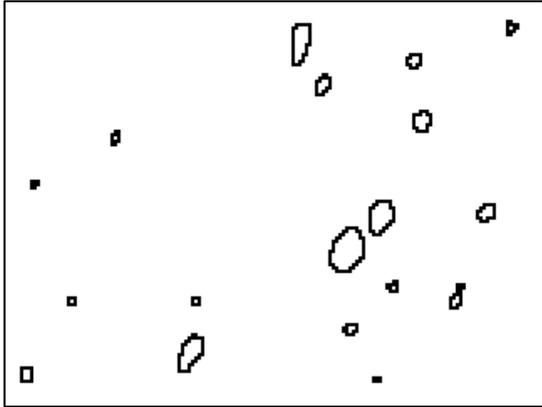


Figura 5.11 - Prova con ugello HCA8001 con angolo di 45° rispetto al foglio, andamento densità gocce

Osservando gli andamenti dei grafici riportati in figura 5.10 e figura 5.11 si può osservare che, come nel caso di ugello a 90°, i valori di area di copertura e densità di gocce sono massimi al centro e si riducono verso la periferia del getto. Rispetto al caso con angolo di 90° i valori massimi che si ottengono sono inferiori. Una possibile spiegazione di questo fenomeno è fornita nel paragrafo 5.3.3.

Le differenze tra un'area periferica ed un'area in prossimità del centro del getto sono messe in evidenza dalle due immagini di tabella 12. Valgono le stesse considerazioni fatte per la prova a 90° rispetto alla diversa quantità di gocce e all'effetto dell'aggregazione.

Selezione 1



Selezione 2

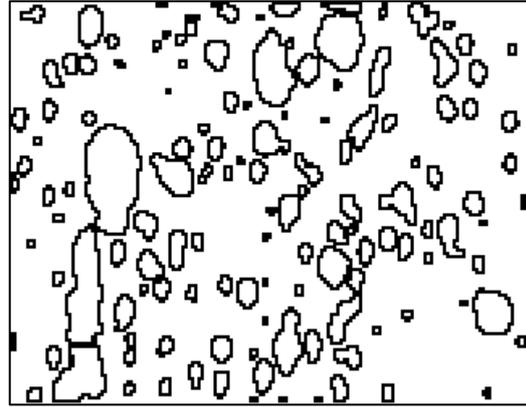


Tabella 12 - Confronto densità gocce area centrale/area periferica

5.3.3 Confronto prova a 90° con prova a 45°

Confrontando la prova a 90° con la prova a 45° si osserva:

- Aumento dei valori di VMD;
- Riduzione dell'area di copertura;
- Riduzione della densità di gocce.

È possibile spiegare questo fenomeno osservando il confronto di tabella 13. Dal confronto sulla forma teorica del getto si può osservare che il getto a 45° va a colpire una superficie più estesa rispetto al getto diretto a 90° rispetto al foglio, è quindi naturale che vi siano un minor numero di gocce per unità di area che colpiscono il foglio e quindi che vi siano valori inferiori di densità di gocce e area di copertura. Il secondo confronto riguarda la forma della goccia, sensibilmente allungata nel caso a 45°, questo perché la goccia non colpisce il foglio ortogonalmente ma secondo un certo angolo di incidenza, tende dunque a schiacciarsi prendendo una forma ellittica con un'area superiore. Dato che il VMD, in questo lavoro, è calcolato a partire dall'area della macchia supponendo la goccia circolare, per gocce ellittiche si ottiene un valore di VMD più elevato.

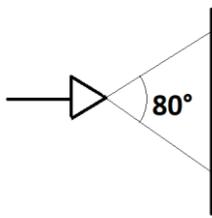
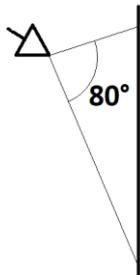
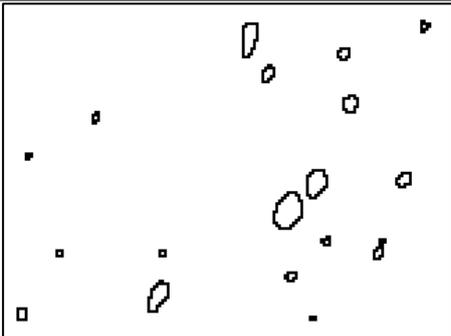
Angolo	90°	45°
Rappresentazione schematica getto		
Forma gocce		

Tabella 13 – Confronto 90° - 45°

## Capitolo 6 : Prove con tre ugelli su simulatore di vigneto

Lo scopo delle prove con circuito a tre ugelli e simulatore di vigneto è quello di eseguire prove su di un banco che riproduce in modo semplificato le geometrie del drone e del vigneto, in modo da ottenere risultati abbastanza simili a quelli che si possono riscontrare sul campo. Le geometrie della vigna sono state semplificate secondo il modello proposto all'interno della tesi di laurea magistrale di Marco Persico [5] e riportate nel capitolo introduttivo di questo testo. In questo set di prove le aree da analizzare sono state scelte lungo l'asse di simmetria del getto ad una distanza nota e fissa in modo da ottenere una sorta di mappatura dei tre parametri di riferimento (VMD, area di copertura e densità di gocce) lungo tutta l'altezza della vite, per quanto riguarda i fogli verticali, e lungo la larghezza della cima della vite per quanto riguarda i fogli orizzontali. I risultati delle prove sono stati confrontati con quelli di altre prove in cui sono stati fatti variare alcuni parametri come l'angolo ugello-foglio verticale e la distanza ugello-foglio.

### 6.1 Limiti delle prove a tre ugelli con simulatore di vigneto

Le prove con circuito a tre ugelli su simulatore di vigneto servono a simulare in modo più realistico, rispetto alle prove con singolo ugello, il drone e la vigna, presentano però limiti significativi. Il primo riguarda le condizioni di **staticità**. Le prove sono realizzate in condizioni statiche: non c'è movimento relativo tra il circuito che simula il drone e la struttura che simula la vite. Questo aspetto rappresenta sicuramente un enorme limite comportando una grossolana approssimazione del fenomeno; motivo per il quale si consiglia, appena possibile, di passare ad una esecuzione delle prove sul campo. Un altro fenomeno rilevante che viene trascurato nelle prove di laboratorio è legato alle correnti d'aria che si manifestano in campo aperto e possono dare luogo al fenomeno della **deriva** (piccole goccioline che vengono trasportate dalle correnti d'aria non raggiungendo l'obiettivo prefissato). Un altro aspetto rilevante trascurato nelle prove in laboratorio sono le **correnti d'aria generate dalle pale del drone**, che sicuramente influenzano il getto.



Figura 6.1 – Banco prova con struttura a tre ugelli e simulatore di vigneto

## 6.2 Banco prova e procedure sperimentali

Il banco prova utilizzato per le prove con circuito a tre ugelli e simulatore di vigneto è composto dai cinque elementi fondamentali descritti nel capitolo 2:

- Circuito di alimentazione
- Struttura porta ugelli che simula la disposizione degli ugelli sul drone
- Simulatore di vigneto (struttura che simula la geometria della vite)
- Ugelli
- Liquido di prova, formato da una soluzione di colorante e acqua.

### 6.2.1 Circuito di alimentazione

Il circuito di alimentazione è lo stesso descritto nel capitolo 2, alimentato da pompa e regolato in pressione tramite regolatore di flusso montato sul circuito di by-pass. La pressione è misurata da un manometro a monte degli ugelli.



Figura 6.2 – Circuito di alimentazione

In figura 6.2 è riportata una fotografia del circuito di alimentazione mentre in figura 6.3 è riportato lo schema circuitale del circuito idraulico utilizzato per le prove a tre ugelli. Come si può osservare il manometro è montato sul ramo che porta all'ugello centrale, questa scelta è stata fatta per misurare la pressione il più vicino possibile all'ugello e misurare quindi la pressione effettiva a monte dell'ugello.

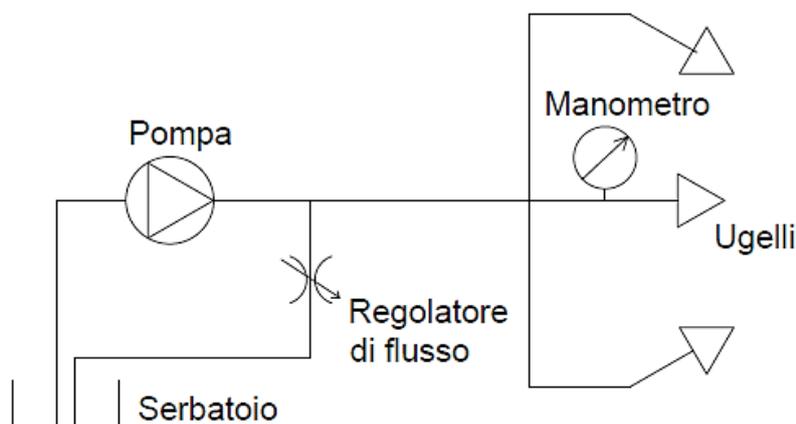


Figura 6.3 – Schema circuito a tre ugelli

### 6.2.2 Struttura Porta ugelli

La struttura porta ugelli è rappresentata in figura 6.4: è costituita da struttura metallica montata su di un carrello mobile. La struttura è dotata di una trave a sbalzo, sulla quale è montata perpendicolarmente un'asta a formare una struttura a T. A ognuno dei due estremi dell'asta è applicato un braccetto di circa 500 mm, che scende verso il basso, al termine dei quali è montato il porta-ugello che permette di regolare l'angolo tra l'ugello e la struttura. Il terzo ugello è montato in corrispondenza della giunzione a T tra le due aste. L'altezza della struttura è stata regolata in modo che vi sia una distanza di circa 450mm tra l'ugello ed il piano orizzontale del simulatore di vigneto.



Figura 6.4 – Struttura porta ugelli

### 6.2.3 Simulatore di vigneto

Il simulatore di vigneto non è altro che una struttura che simula la geometria della vite riproducendo le quote di riferimento indicate nel capitolo introduttivo. La chioma della vite è quindi modellizzata come una struttura rettangolare di altezza 1275 mm e larghezza 600 mm. La misura di profondità non è importante in questo contesto perché è la direzione lungo cui si muove il drone. Nella pratica la vite è stata simulata utilizzando due Europallet (1200x800 mm) posti in verticale e distanziati in modo che le facce laterali esterne distino 600mm. Il piano orizzontale è stato realizzato con un asse di legno largo 600 mm. Il simulatore di vigneto è rappresentato in figura 6.5.



*Figura 6.5 – Simulatore di vigneto*

#### 6.2.4 Scelta degli ugelli

Per eseguire le prove con circuito a tre ugelli si è scelto di utilizzare ugelli a cono pieno HCF80015 e ugelli a ventaglio del tipo LDC11001. Per quanto riguarda l'ugello a cono è stato scelto perché è l'unico ugello, fra quelli a disposizione, adatto a lavorare ad una pressione di 3 bar. Per quanto riguarda l'ugello a ventaglio si è scelto l'ugello anti-deriva LDC11001 perché oltre a lavorare bene ad una pressione di 3 bar permette di limitare l'effetto della deriva. Per sfruttare al meglio le caratteristiche di ciascun ugello si è pensato di utilizzare come configurazione standard la configurazione con ugello a cono centrale e due ugelli a ventaglio laterali. L'ugello a cono, infatti, permette di coprire in modo uniforme la parte superiore della vite, essendo dotato di un angolo di apertura di  $80^\circ$  copre perfettamente i 600 mm della cima della vite senza sbordare come farebbe un ugello con angolo di apertura superiore. Essendo breve la distanza tra ugello e vite, si può ipotizzare che sia meno rilevante l'effetto della deriva. Sui lati è invece conveniente avere un angolo di apertura grande per coprire una maggior superficie laterale possibile, essendo le distanze più elevate è utile usare un ugello anti-deriva: per questo motivo è stato scelto l'ugello LDC11001.

### 6.2.5 Schema e quote del circuito a tre ugelli

Una rappresentazione schematica del circuito a tre ugelli è riportata in figura 6.6. I tre triangoli rappresentano gli ugelli ed il rettangolo centrale il simulatore di vigneto. Le due variabili  $x$  e  $y$  rappresentano i riferimenti di distanza, orizzontale dal bordo della vite e verticale dalla cima della vite, grazie ai quali sono stati costruiti i diagrammi con gli andamenti di VMD, area di copertura e densità di gocce. Per quanto riguarda l'angolo di spruzzo  $\alpha$  si è scelto di misurarlo rispetto alla orizzontale.

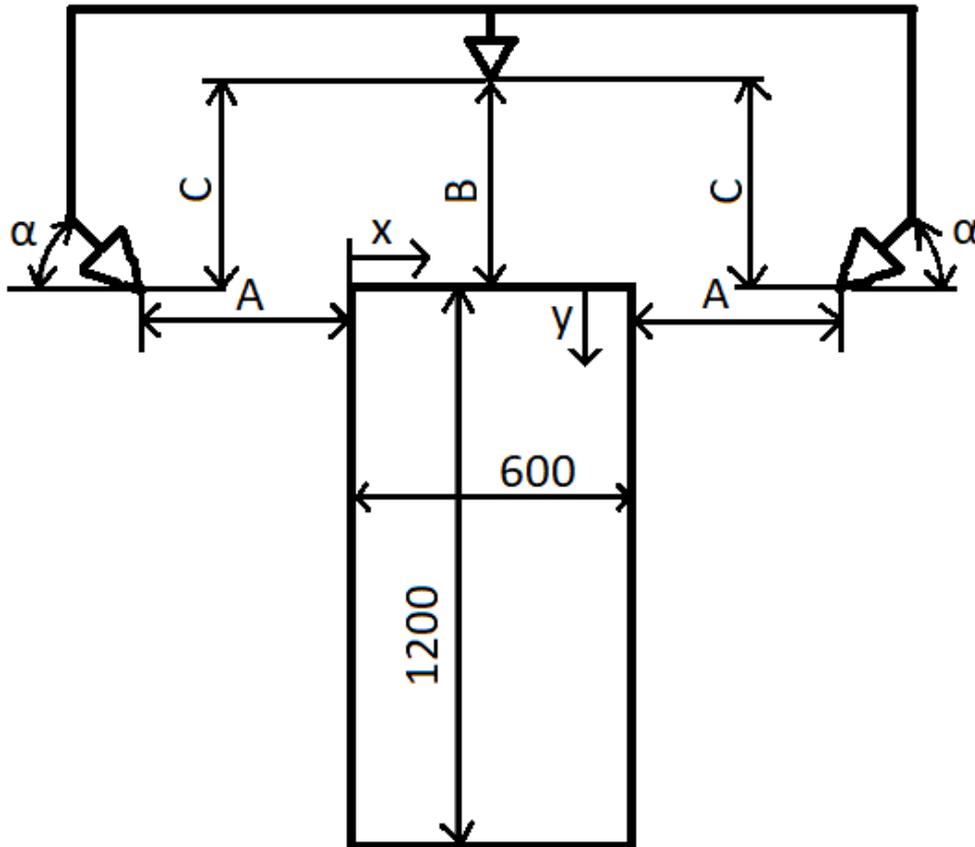


Figura 6.6 – Schema circuito a tre ugelli

Per il primo set di esperimenti si è scelto di lavorare con le seguenti quote:

- Distanza  $A$  variabile tra 350 mm e 450 mm; il vincolo superiore è dato dalla larghezza del braccio del drone di riferimento di 1400 mm.
- Distanza  $B$  fissa pari a 450 mm; vincolo abbastanza limitante posto dalla difficoltà di modificare, in sicurezza, l'altezza della struttura porta ugelli. Modificabile in futuro.
- Distanza  $C$  fissa pari a 450 mm; scelta effettuata per fare sì che i bracci del drone non si avvicinino troppo alla vite. Modificabile in futuro.
- Angoli  $\alpha$  variabili con valori di  $45^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $60^\circ$ .

### 6.2.6 Procedura sperimentale

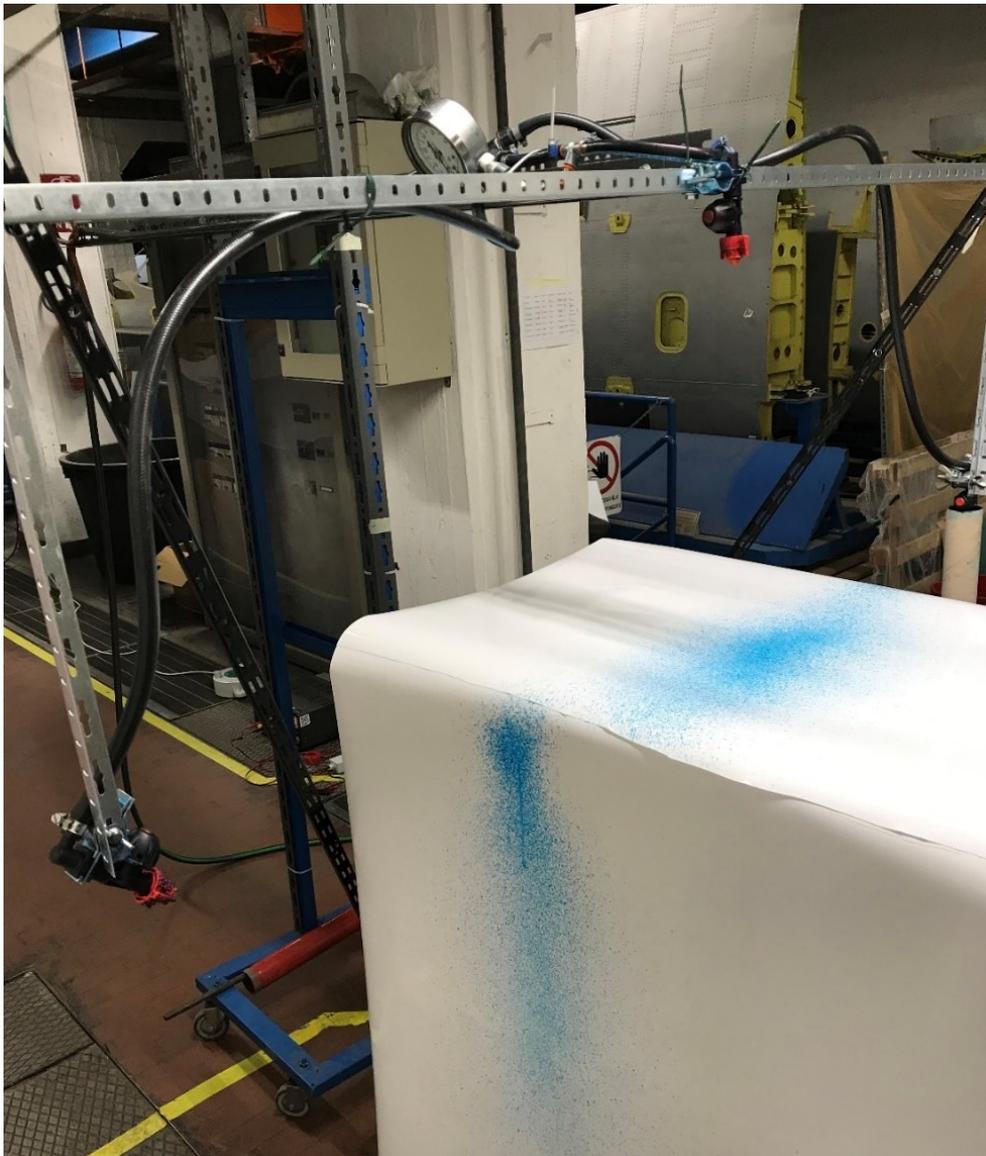
La procedura sperimentale adottata è molto simile a quella utilizzata per le prove a ugello singolo, ma anziché un solo foglio si utilizzano due fogli di carta fotografica: uno laterale ed uno verticale. Si è scelto di usare solo una delle due pareti laterali del simulatore di vigneto, dall'altro lato il getto è

deflesso in modo che non colpisca la parete. Questa scelta è stata fatta per risparmiare carta e semplificare la procedura della prova. Inoltre, in questo modo, è possibile anche fare dei ragionamenti sull'eventuale asimmetria della prova orizzontale per osservare come essa viene influenzata dall'ugello laterale.

Le fasi sono le stesse della procedura sperimentale con singolo ugello:

1. I fogli vengono posizionati sui piani del simulatore di vigneto. Gli ugelli vengono disposti alle distanze desiderate e con gli angoli di inclinazione voluti.
2. Si regola la pressione a monte degli ugelli agendo sul rubinetto del circuito di by-pass. La pressione è stata regolata a 3 bar per tutte le prove. In questa fase gli ugelli spruzzano ma vi è un oggetto interposto tra ugello e foglio in modo che il getto non colpisca il foglio.
3. Gli ugelli vengono fatti spruzzare sui fogli, nel mentre si misura il tempo di prova.
4. I fogli vengono rimossi dal simulatore di vigneto e lasciati asciugare.
5. Si procede con l'acquisizione dell'immagine tramite fotografia.
6. Si esegue l'analisi dell'immagine ed i successivi calcoli.

In figura 6.7 è riportata una fotografia scattata durante l'esecuzione sperimentale di una prova.



*Figura 6.7 – Esecuzione prova circuito a tre ugelli con simulatore di vigneto*

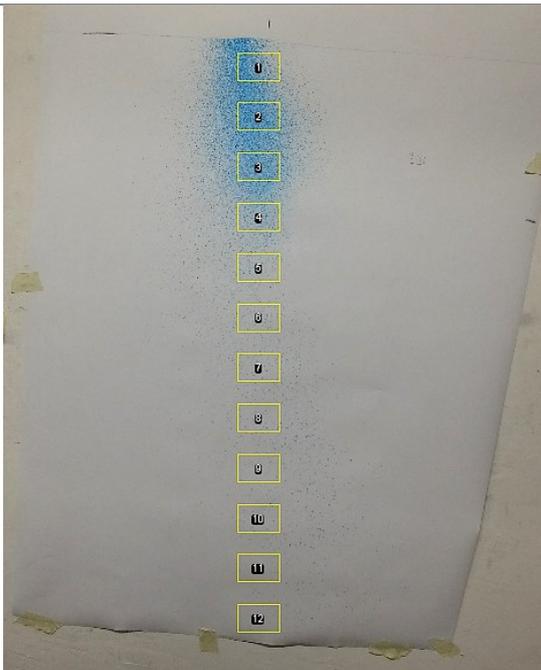
### 6.3 Prove con ugello a cono HCF80015 in orizzontale e ugelli a ventaglio LDC11001 in verticale

Nelle tabelle che seguono sono riportate le fotografie di tutte le prove svolte con ugello a cono pieno HCF80015 in orizzontale e ugelli a ventaglio LDC11001 in verticale, in cui sono evidenziate le aree di selezione analizzate. Le immagini di ogni prova sono correlate da una tabella che riporta i valori dei parametri utilizzati per quella prova. Le prove 1, 2 e 3 sono state eseguite con la stessa configurazione e gli stessi parametri di prova (a eccezione del tempo che non è controllabile). A causa di alcune difficoltà che si sono manifestate durante lo svolgimento delle prove, sono disponibili solo i fogli verticali per quanto riguarda le prove 1 e 2 e il foglio orizzontale per quanto riguarda la prova 3. Le prove sono comunque state eseguite con circuito completo e tutti gli ugelli funzionanti.

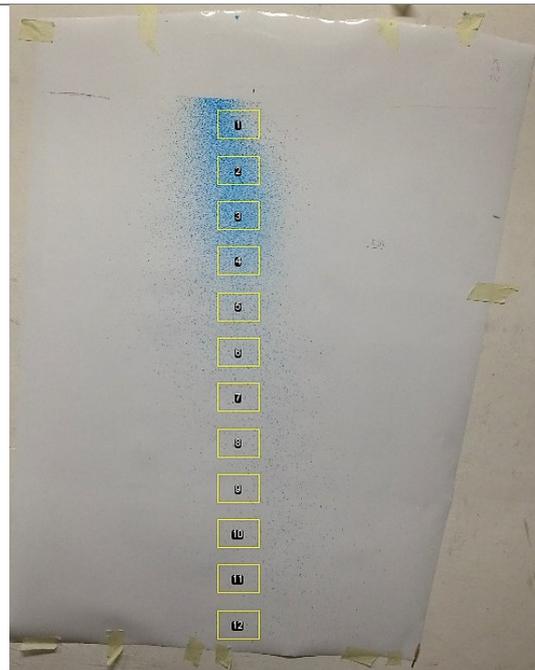
Nome prova	Ugello centrale	Ugelli laterali	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
1	HCF80015	LDC11001	45°	0,47 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm
2	HCF80015	LDC11001	45°	0,51 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm
3	HCF80015	LDC11001	45°	0,89 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm

\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale l'orizzontale, come indicato in figura 6.6.

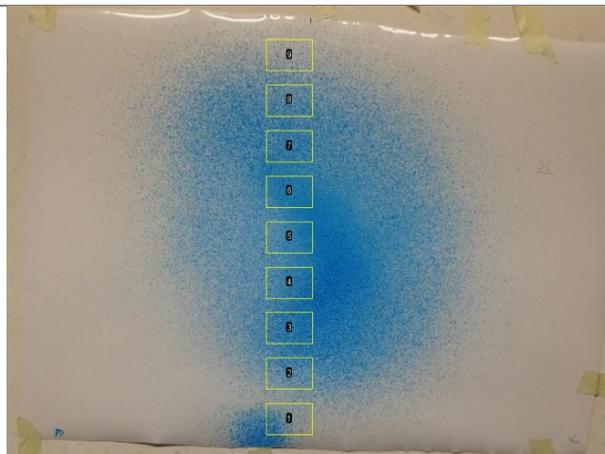
Prova 1 verticale



Prova 2 verticale

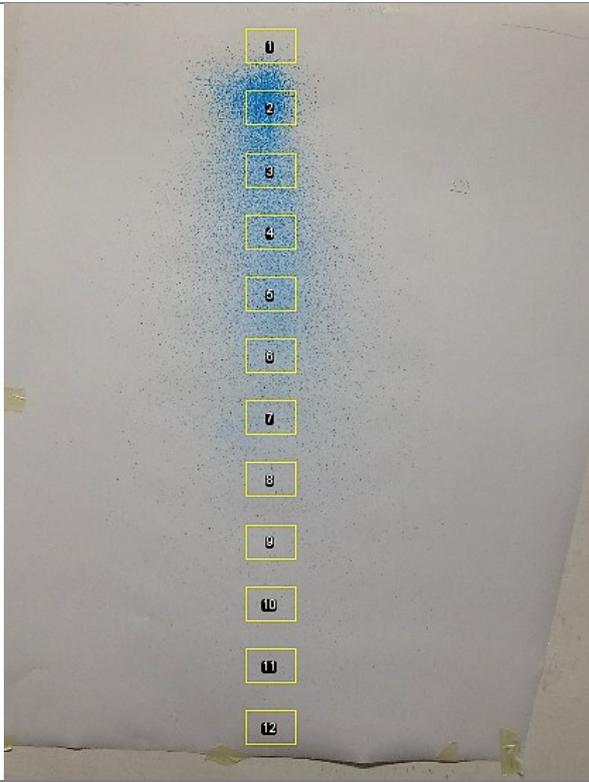


Prova 3 orizzontale

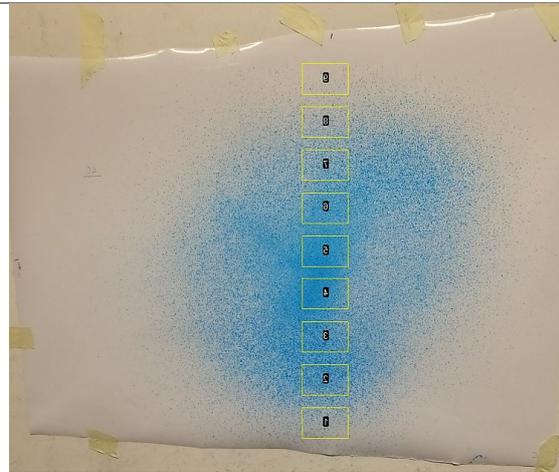


Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
4	LDC11001	HCF80015	60°	0,60 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm

**Prova 4 verticale**

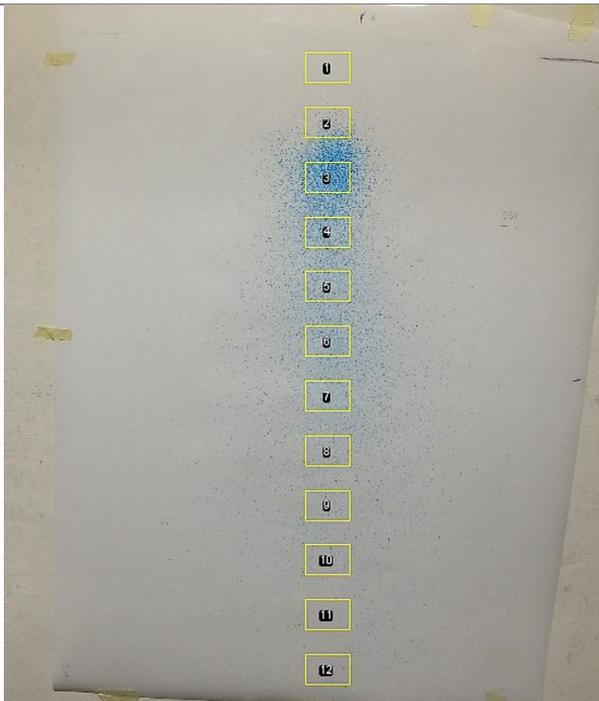


**Prova 4 orizzontale**

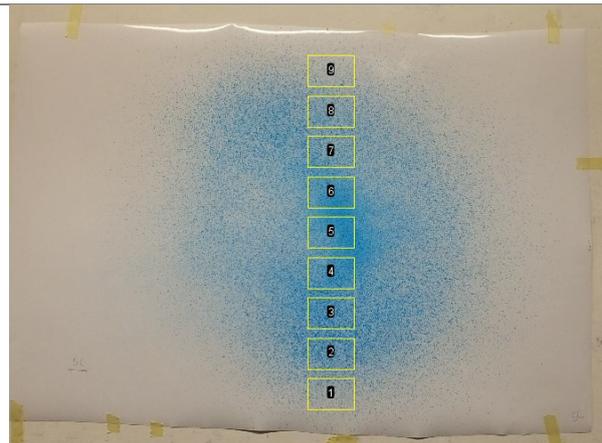


Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
5	LDC11001	HCF80015	60°	0,45 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

**Prova 5 verticale**



**Prova 5 orizzontale**

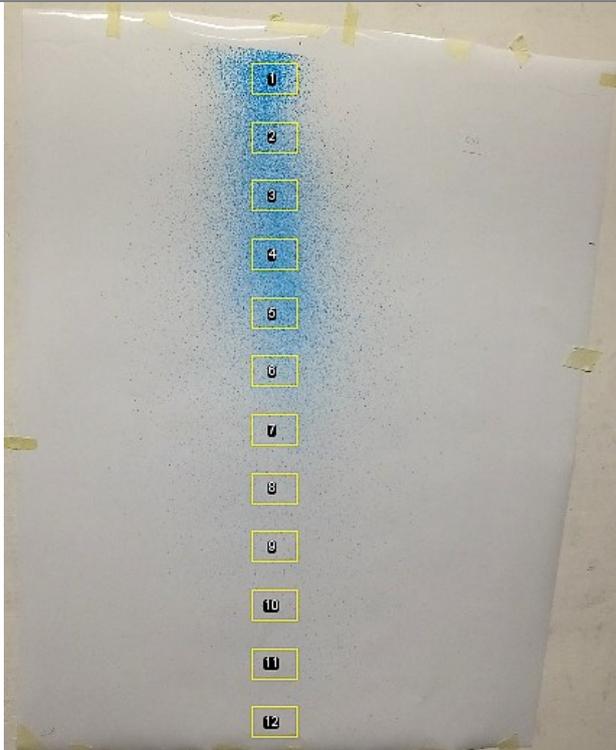


\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale l'orizzontale come indicato in figura 6.6.

Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
6	LDC11001	HCF80015	45°	0,65 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Prova 6 verticale

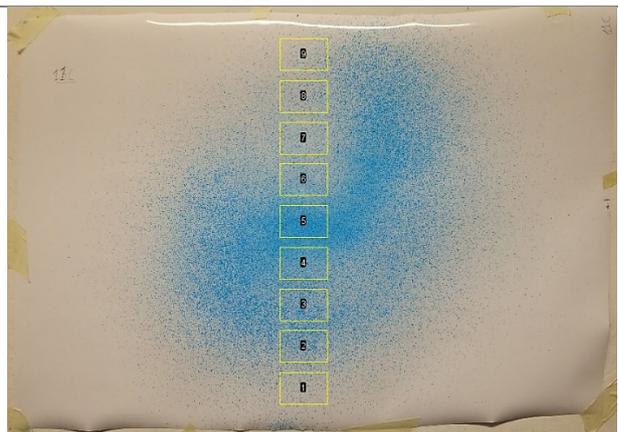
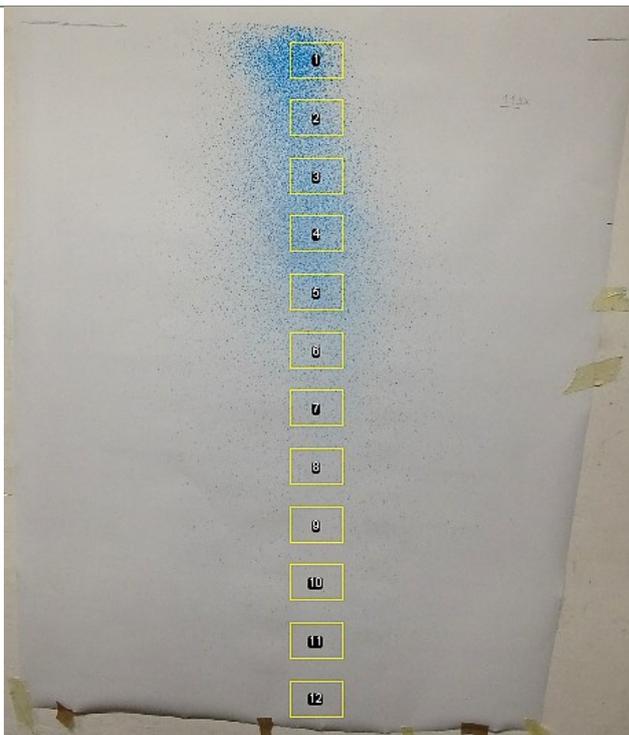
Prova 6 orizzontale



Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
11	LDC11001	HCF80015	53°	0,61 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Prova 11 verticale

Prova 11 orizzontale



\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale e l'orizzontale come indicato in figura 6.6.

### 6.3.1 Risultati prove su foglio verticale

Nelle figure seguenti sono riportati i valori di VMD, area di copertura e densità delle gocce delle prove su foglio verticale con ugelli HCF80015 in orizzontale e LDC11001 in verticale. Nelle prime tre figure è riportato il confronto di tutte le prove per un confronto generale, dopodiché sono proposti dei confronti mirati ad osservare l'effetto di un determinato parametro di prova.

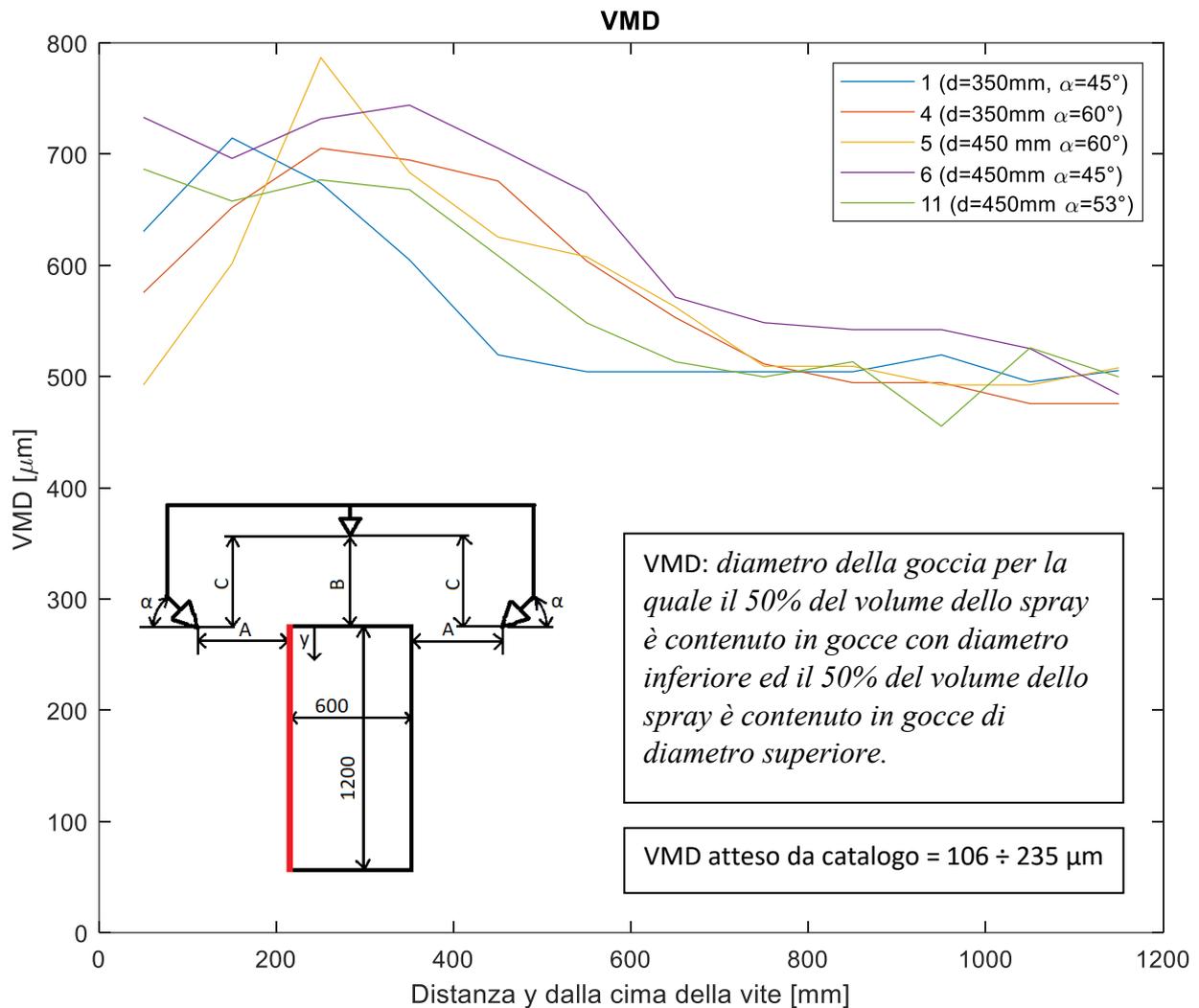


Figura 6.8 - Risultati delle prove 1, 4, 5, 6, 11; VMD

In figura 6.8 sono riportati i valori di VMD di tutte le prove su foglio verticale eseguite con ugello a cono pieno HCF80015 centrale e ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001 laterali. I valori di VMD sono riportati in funzione di y, che rappresenta la distanza del punto analizzato dalla cima della vite, come si può osservare nello schema. Dalla figura 6.8 è possibile notare le differenze sul valore di VMD che si ottengono al variare della distanza e dell'angolo. Queste differenze verranno evidenziate e trattate nel dettaglio in seguito.

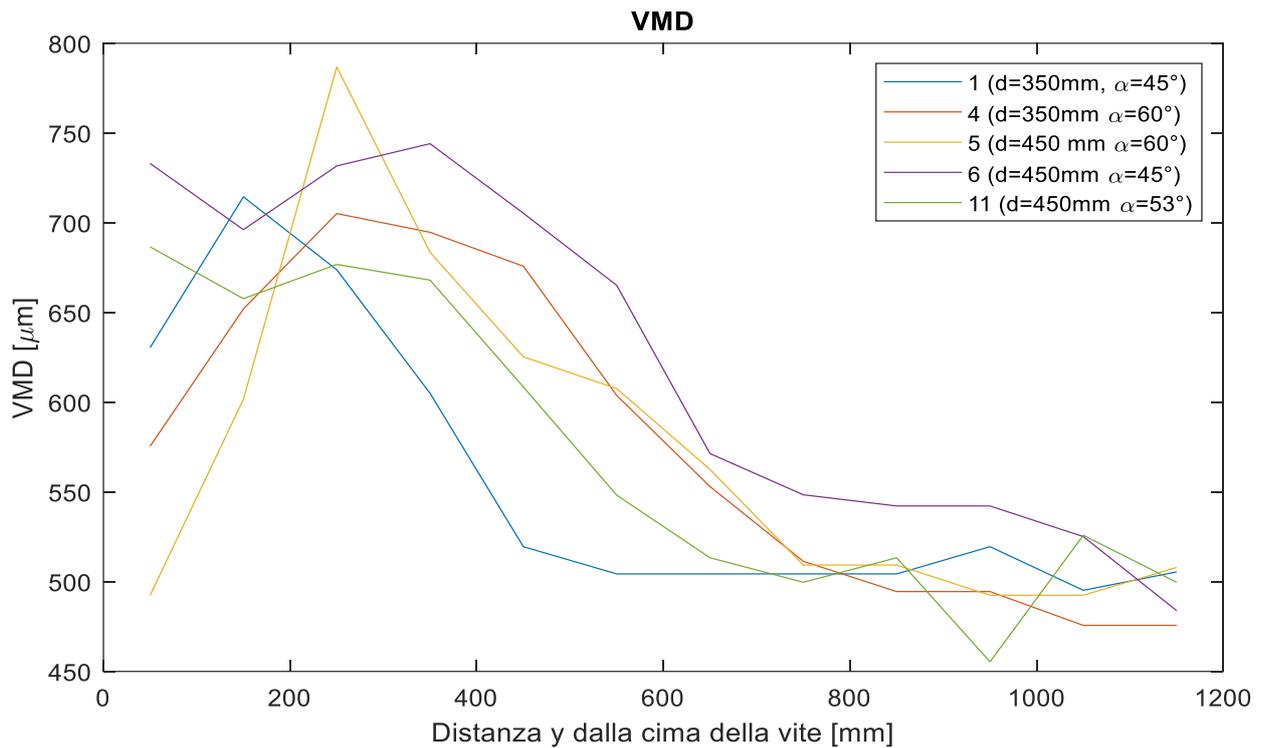


Figura 6.9 – Risultati delle prove 1, 4, 5, 6, 11; VMD, dettaglio di figura 6.8

In figura 6.9 è riportato un dettaglio di figura 6.8 focalizzato nel range di valori di VMD ottenuti dalla prova. In figura 6.10 è diagrammato l'andamento dell'area di copertura di tutte le prove su foglio verticale con ugello a cono HCF80015 in posizione centrale e ugelli a ventaglio LDC11001 laterali. Anche in questo caso è possibile iniziare a scorgere le differenze che si ottengono al variare della distanza e dell'angolo di spruzzo.

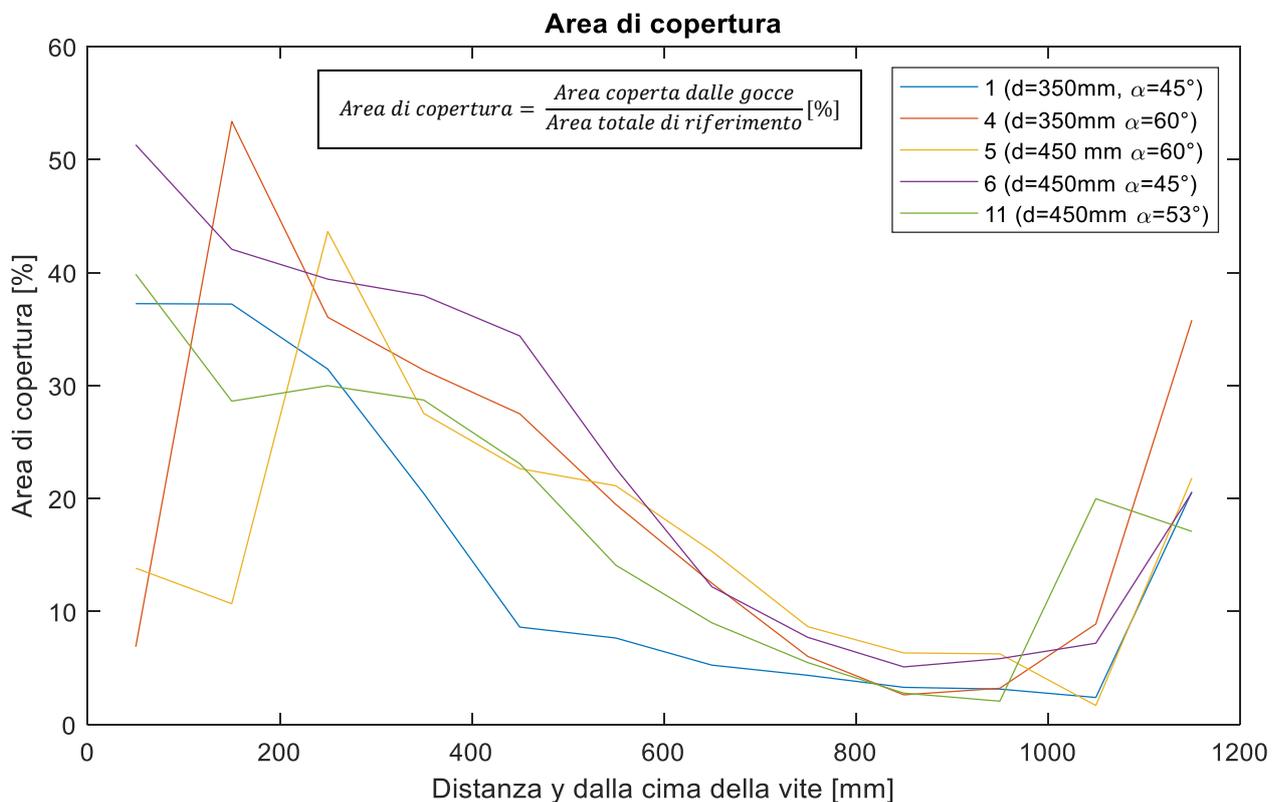


Figura 6.10 - Risultati delle prove 1, 4, 5, 6, 11, Area di copertura

In figura 6.11 è riportato l'andamento della densità di gocce lungo l'altezza della vite per tutte le prove su foglio verticale con ugello a cono pieno HCF80015 centrale e ugelli a ventaglio LDC11001 laterali.

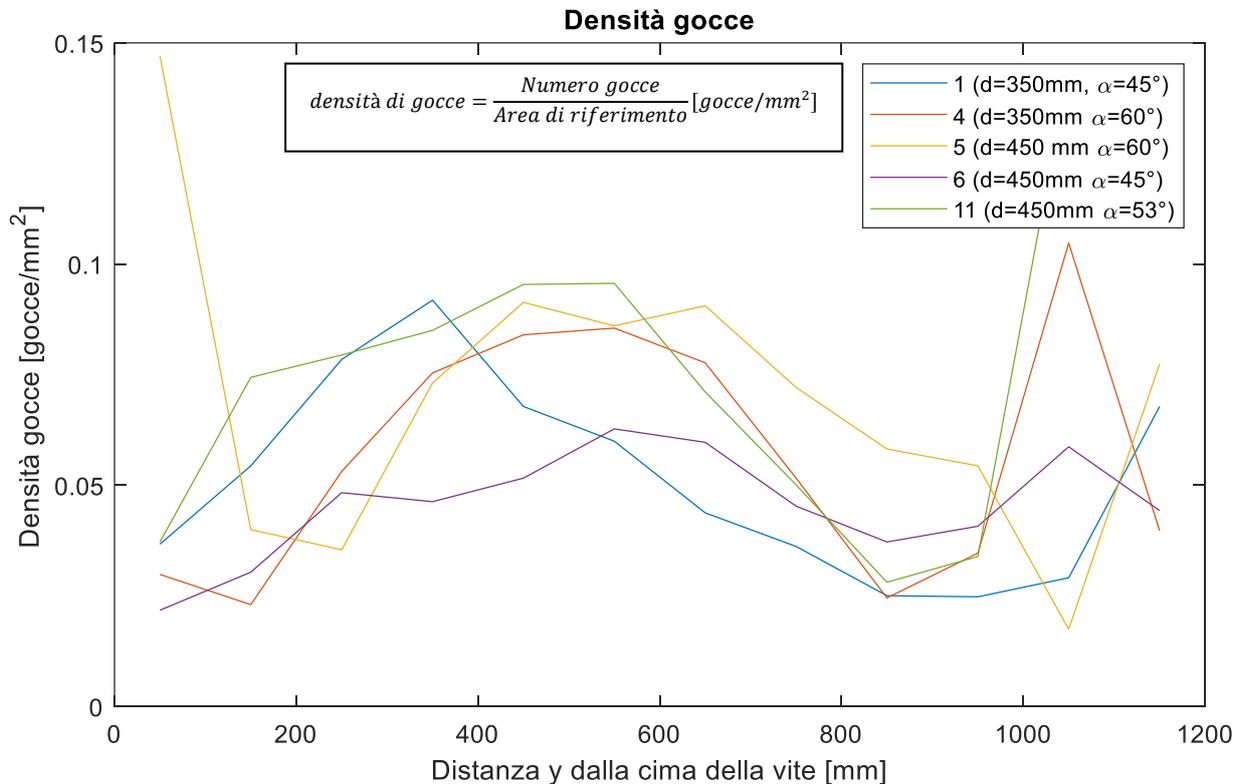


Figura 6.11 - Risultati delle prove 1, 4, 5, 6, 11, Densità gocce

Dopo esser stati riportati gli andamenti dei tre parametri fondamentali per tutte le prove su foglio verticale con ugello a cono pieno HCF80015 centrale e ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001 laterali, vengono riportati dei confronti mirati, con lo scopo di evidenziare le differenze che si ottengono variando un singolo parametro di prova.

#### 6.3.1.1 Confronto 1-2 variabilità di prove eseguite con gli stessi parametri

Il primo confronto è stato eseguito tra due prove effettuate con gli stessi parametri, quindi teoricamente identiche, con lo scopo di osservare la ripetibilità delle prove. Sono stati usati infatti i risultati di prova 1 e prova 2, entrambe eseguite con una distanza ugello-foglio di 350 mm ed un angolo di spruzzo degli ugelli laterali di 45°. In figura 6.12 sono diagrammati i risultati del confronto. Si può osservare che, sebbene gli andamenti siano molto simili, i valori non sono del tutto coincidenti. Il confronto di figura 6.12 mette in evidenza l'esistenza di una variabilità non del tutto trascurabile tra due prove eseguite con gli stessi parametri. In particolare, oltre all'aleatorietà dovuta all'esecuzione della prova stessa, è determinante il tempo di prova. Possiamo osservare infatti che la prova 2, che presenta un tempo di prova leggermente superiore alla prova 1, manifesta una maggiore densità di gocce ed un'area di copertura lievemente maggiore. Il VMD, teoricamente, non dipende dal tempo di prova.

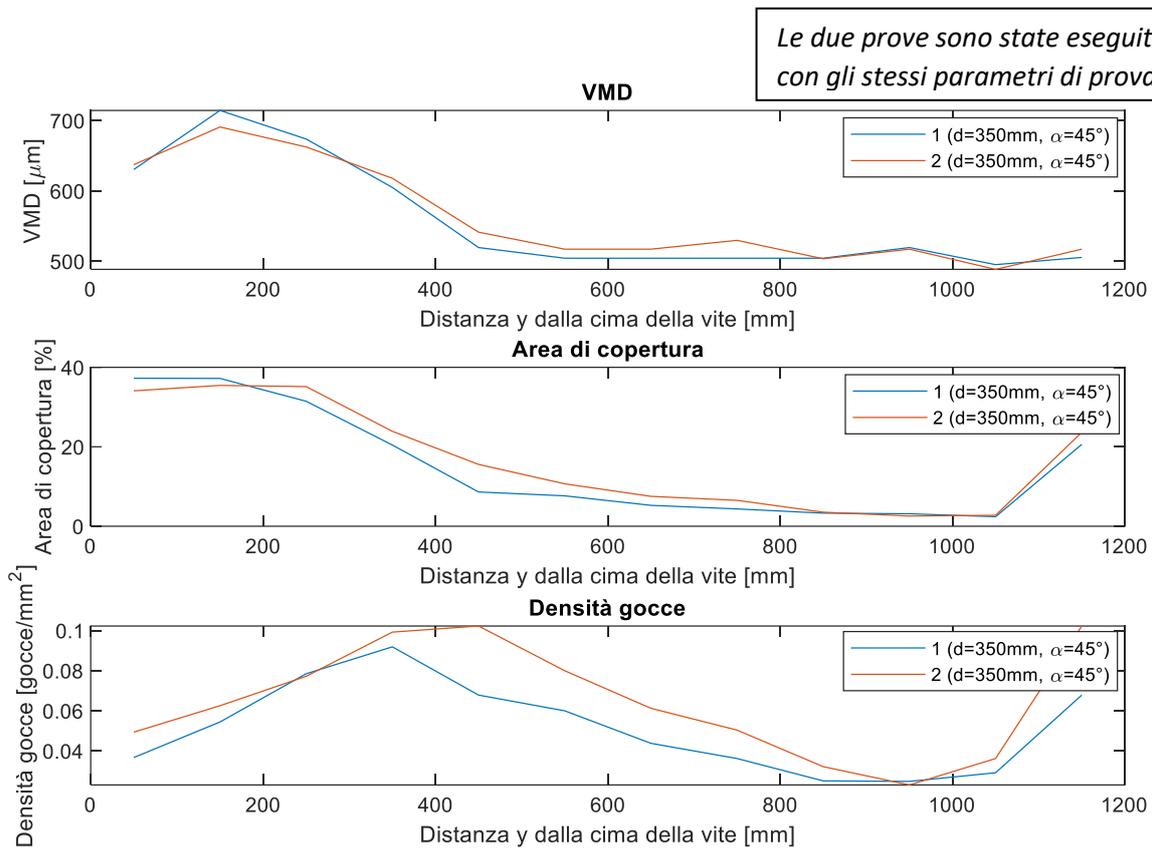


Figura 6.12 – Confronto prove 1 e 2, variabilità sulla stessa prova

### 6.3.1.2 Confronto distanza

Il secondo confronto è stato fatto modificando la distanza ugello-foglio, sono state prese dunque le coppie di prove 1-6 e 4-5, i cui risultati sono diagrammati nelle figure 6.13 e 6.14.

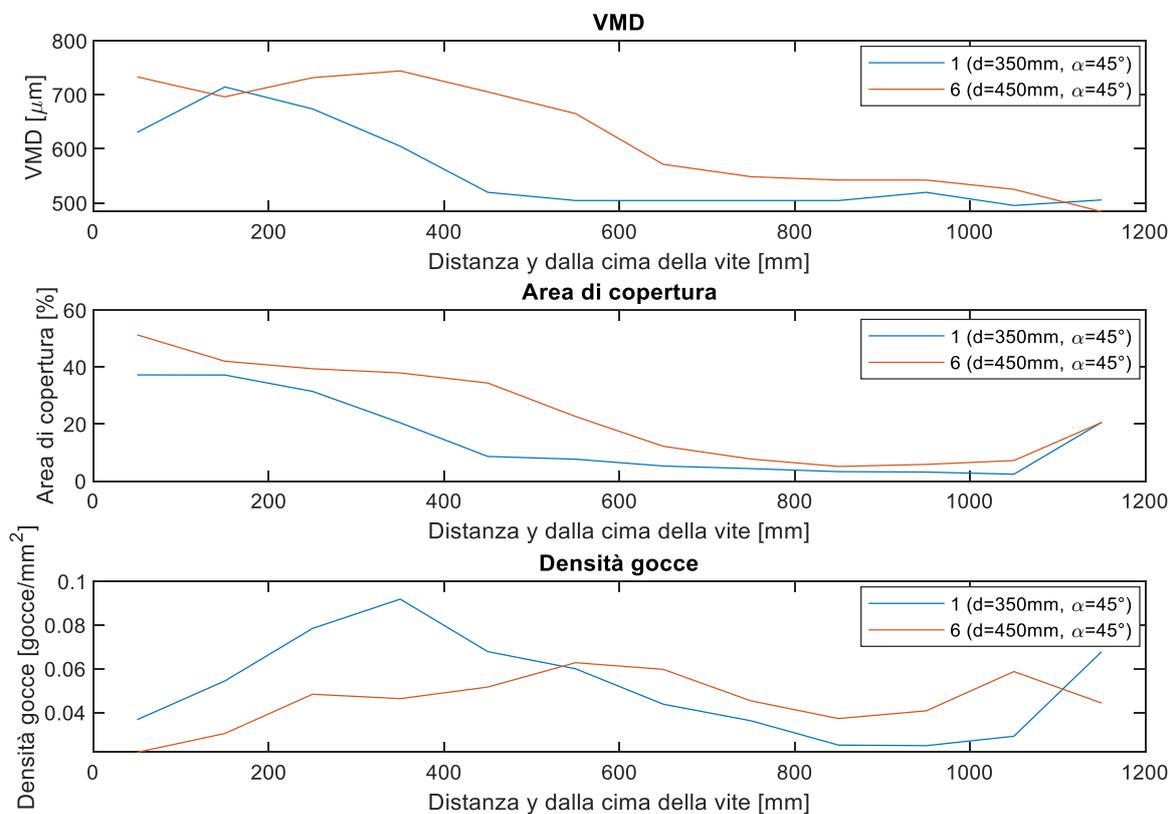


Figura 6.13 – Confronto prove 1 e 6, confronto al variare della distanza con angolo di  $45^\circ$

I risultati del confronto tra la prova 1 e la prova 6 sono riportati in figura 6.13. Entrambe le prove sono state eseguite con angolo di spruzzo degli ugelli laterali di  $45^\circ$ , mentre la distanza ugello foglio varia da 350 mm per la prova 1 a 450 mm per la prova 6. Si osservi che una minore distanza ugello foglio porta ad avere il picco di VMD, area di copertura e densità di gocce nella zona più alta della vite, mentre aumentando la distanza il picco si allarga spostandosi verso il basso.

In figura 6.14 è riportato il confronto tra la prova 4 e la prova 5. Le due prove sono state eseguite con angolo di spruzzo degli ugelli laterali di  $60^\circ$ , mentre la distanza ugello foglio varia da 350 mm per la prova 4 a 450 mm per la prova 5. In questo caso è meno evidente l'allargamento del picco di valori, mentre si osserva bene lo spostamento dei picchi verso una fascia più bassa della vite.

In definitiva, osservando le figure 6.13 e 6.14 si può dedurre l'effetto di un incremento della distanza dell'ugello laterale dalla vite. In generale si osserva che **un incremento della distanza sposta il picco dei tre valori di riferimento (VMD, area di copertura, densità di gocce) verso le zone più basse della vite**, l'impressione è che all'aumento della distanza si ottengano **picchi meno marcati** dei tre valori di riferimento, che permettono una **copertura più uniforme** di tutta la faccia verticale della vite.

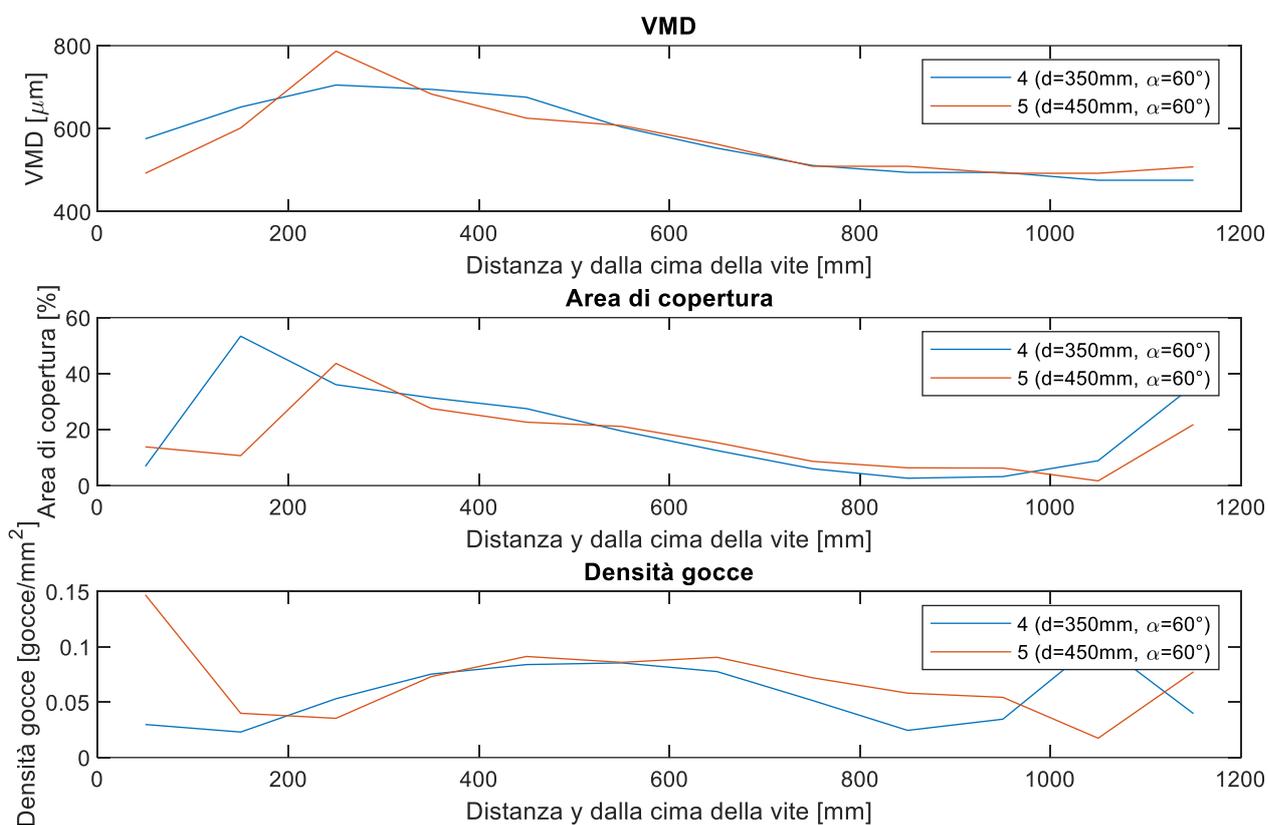


Figura 6.14 – Confronto prove 4 e 5, confronto al variare della distanza con angolo di  $60^\circ$

### 6.3.1.3 Confronto al variare dell'angolo

Per il terzo confronto si è deciso di far variare l'angolo di spruzzo tra l'ugello laterale ed il foglio. Per questo tipo di confronto sono state scelte la coppia di prove 2 e 4 con distanza ugello foglio di 350mm e differente angolo e le prove 6, 11 e 5 con distanza ugello foglio di 450mm e angolo variabile. Il confronto tra i risultati delle prove 2 e 4 è riportato in figura 6.15, il confronto tra i risultati delle figure 6, 11 e 5 è riportato in figura 6.16.

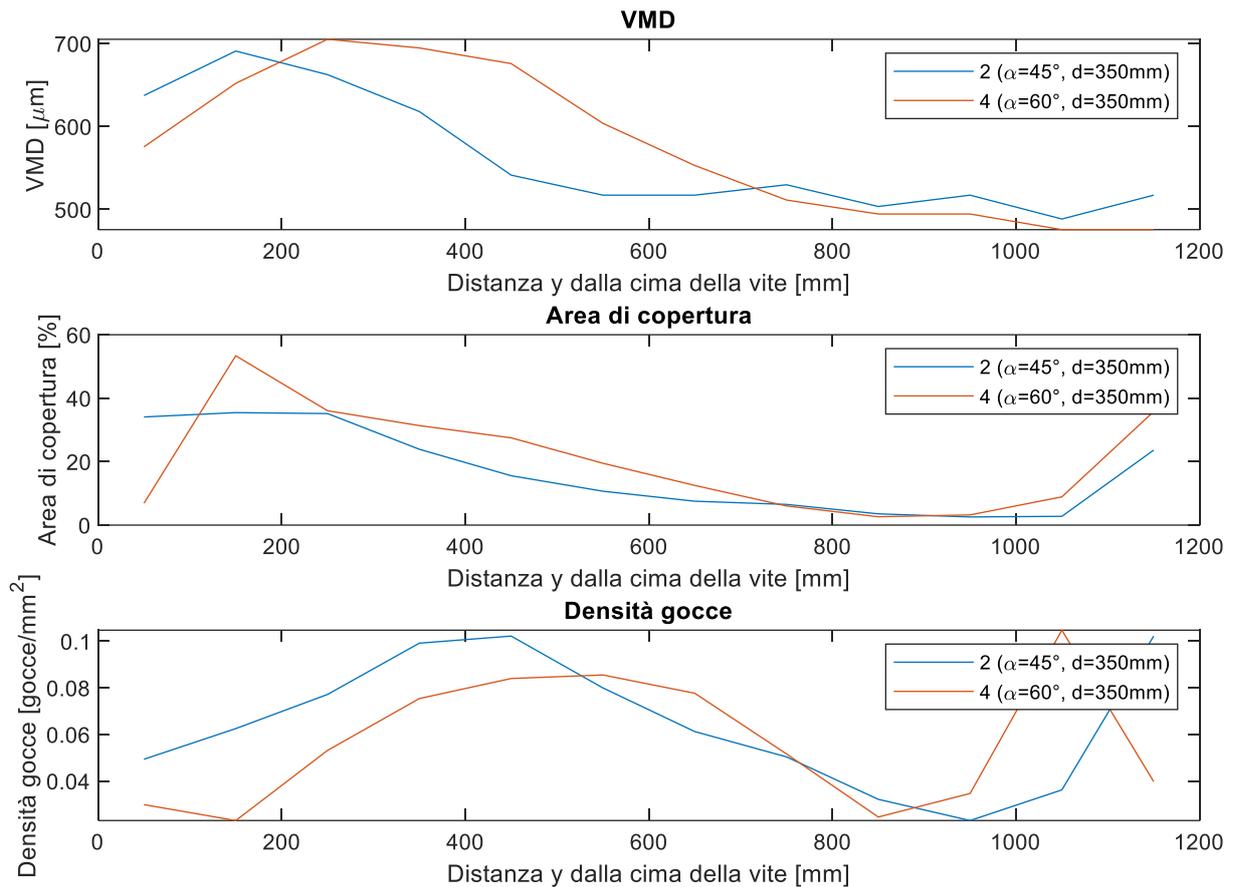


Figura 6.15 – Confronto prove 2 e 4, confronto al variare dell'angolo con  $d=350\text{ mm}$

Dalle figure 6.15 e 6.16 si osserva **che l'aumento dell'angolo di inclinazione  $\alpha$  comporta uno spostamento verso il basso del picco dei tre valori considerati**. Possiamo osservare infatti che con un angolo di  $45^\circ$  si ottiene una buona copertura della fascia alta della vite, mentre con un angolo di  $60^\circ$  otteniamo una copertura che si concentra su una fascia medio-alta trascurando però la cima della vite. Per quanto riguarda la fascia bassa della vite le differenze sono minime. L'angolo di  $53^\circ$  sembra essere un buon compromesso tra i due angoli precedentemente trattati. A questo punto si può affermare che la scelta dell'angolo deve essere presa in base al trattamento da eseguire, quindi alle esigenze specifiche del caso, ma in generale **si consiglia un angolo di circa  $50^\circ$**  poiché rappresenta un buon compromesso. Va comunque evidenziato che, qualsiasi sia l'angolo scelto, **la configurazione testata offre un'esigua copertura della fascia bassa della vite**, la ricerca di una soluzione che permetta una copertura più completa di tutta la fascia laterale della vite sarà dunque una fase fondamentale per gli sviluppi futuri del progetto. Una possibile soluzione da valutare è quella di abbassare la posizione degli ugelli laterali a ventaglio e disporli con asse perpendicolare al foglio.

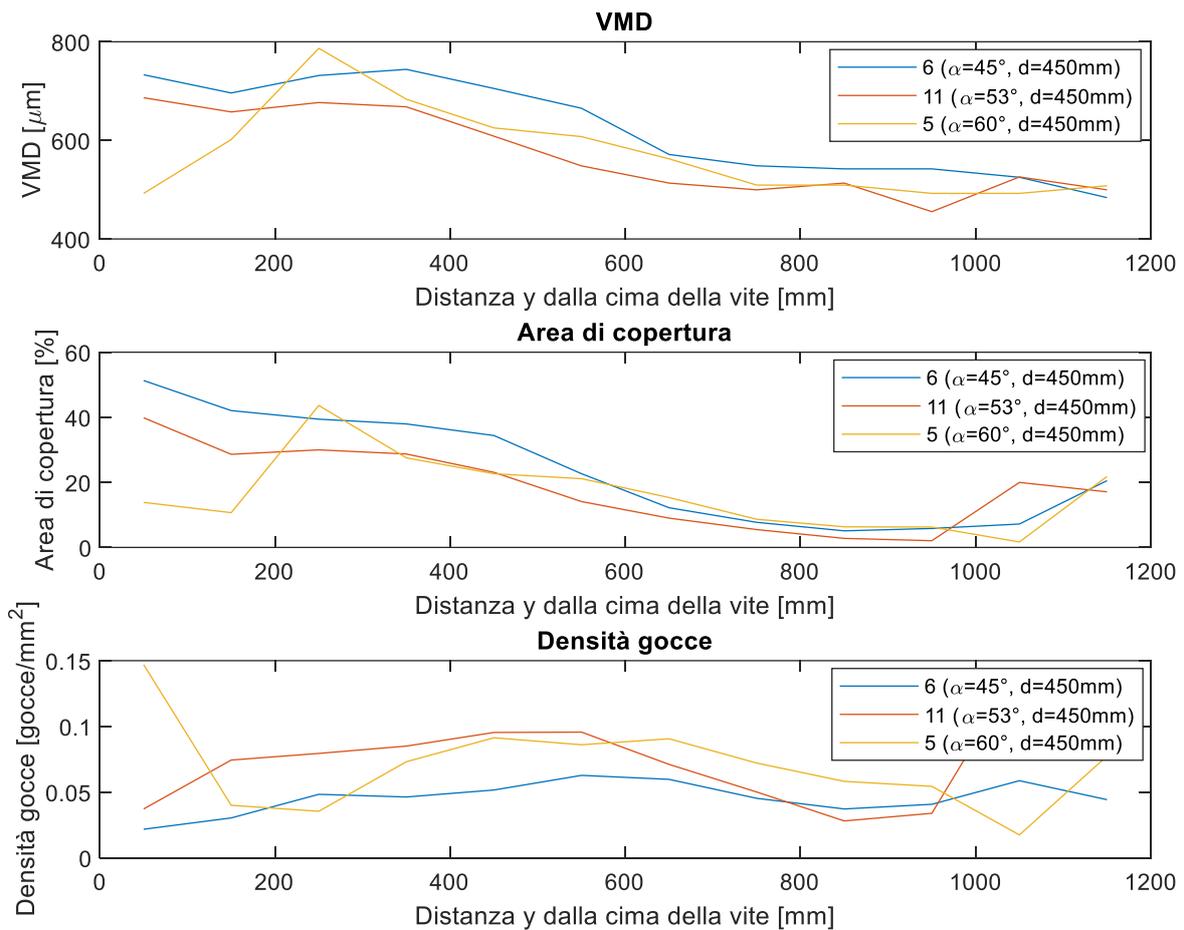


Figura 6.16 - Confronto prove 6, 11 e 5, confronto al variare dell'angolo con  $d=450\text{ mm}$

#### 6.3.1.4 Variazione dell'angolo su grafici 3D

Di seguito sono riportati grafici 3D di VMD, area di copertura e densità di gocce al variare dell'angolo di inclinazione ottenuti a partire dalle prove 5, 6 e 11, quindi con distanza ugello-foglio di 450 mm.

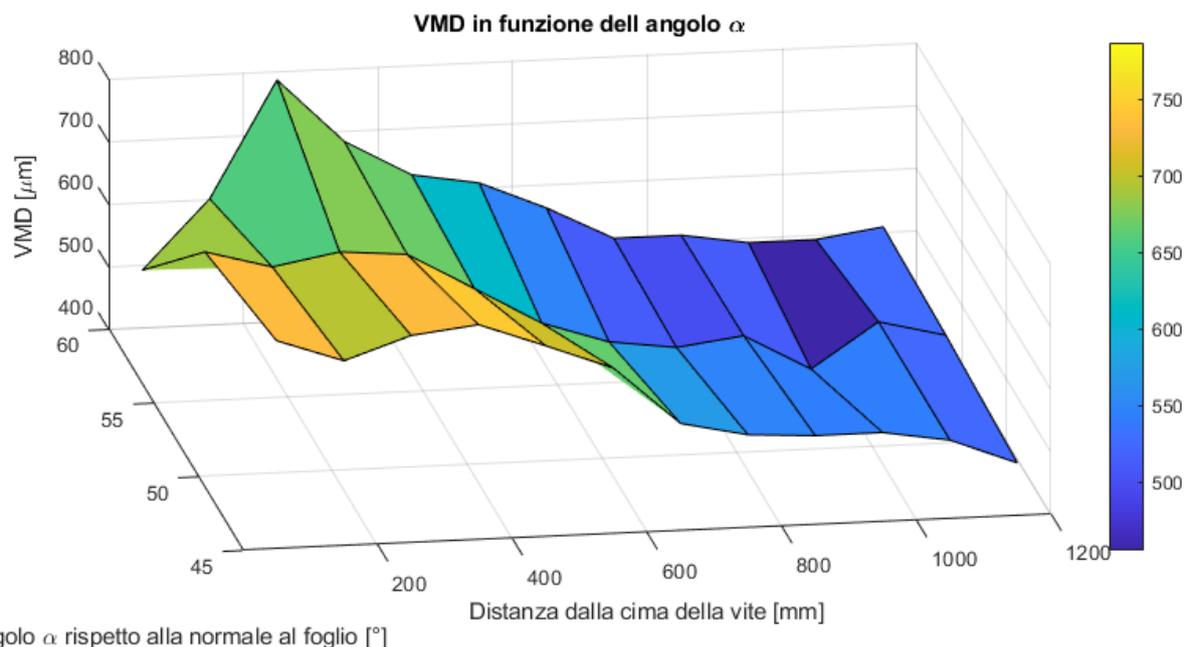
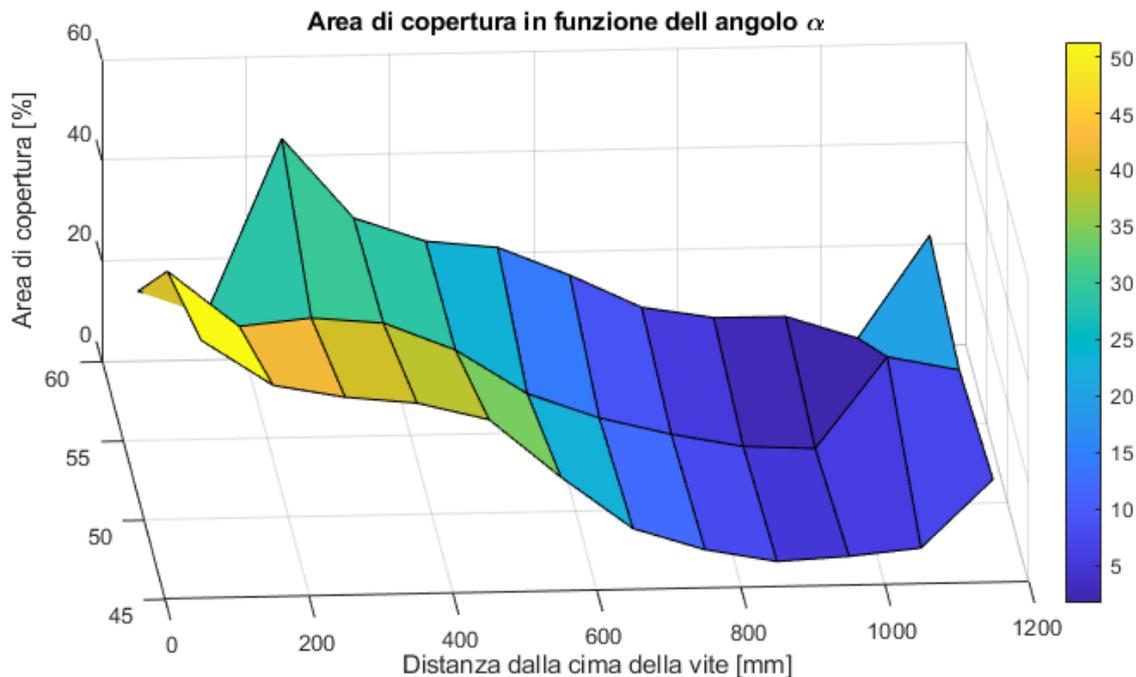


Figura 6.17 – Grafici 3D, andamento VMD

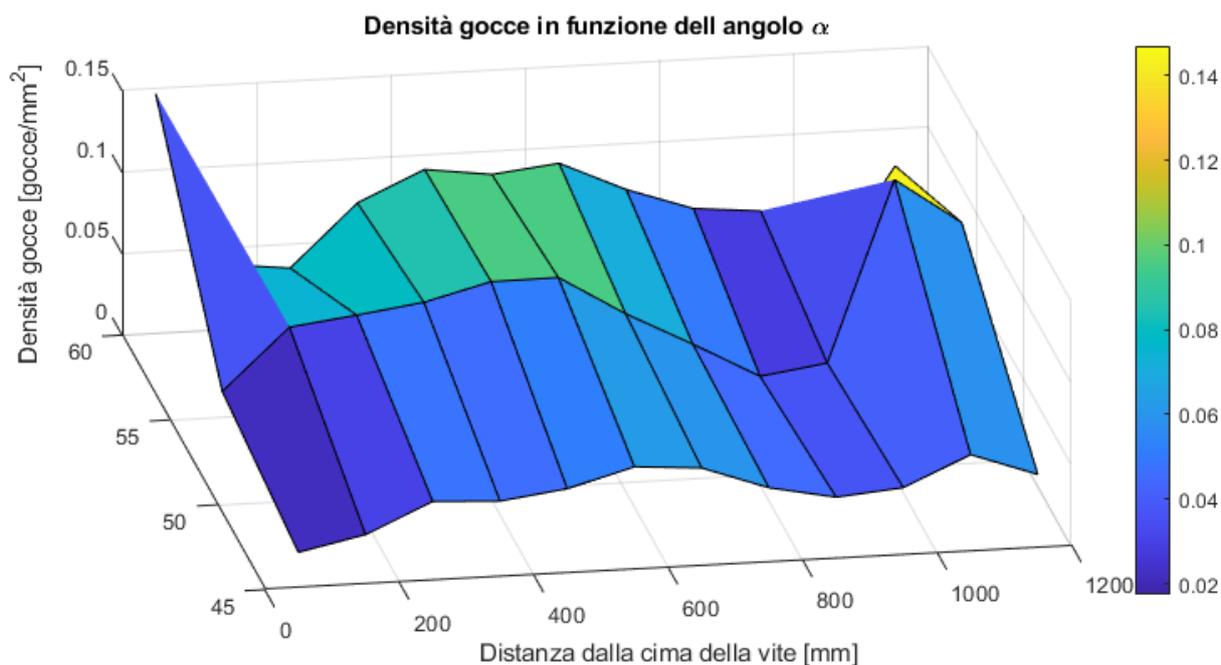
In figura 6.17 è riportato il grafico 3D che rappresenta il VMD in funzione dell'angolo di spruzzo tra gli ugelli laterali e l'orizzontale, e della distanza  $y$  dalla cima della vite (secondo lo schema di figura 6.6).



Angolo  $\alpha$  rispetto alla normale al foglio [°]

Figura 6.18 – Grafici 3D, andamento dell'area di copertura

In figura 6.18 e 6.19 sono riportati i grafici 3D che rappresentano, rispettivamente, l'area di copertura e la densità di gocce in funzione dell'angolo di spruzzo tra gli ugelli laterali e l'orizzontale, e della distanza  $y$  dalla cima della vite (secondo lo schema di figura 6.6). Essendo ricavati dalle stesse prove valgono i commenti fatti nel sottoparagrafo *Confronto al variare dell'angolo*.



Angolo  $\alpha$  rispetto alla normale al foglio [°]

Figura 6.19 – Grafici 3D, andamento densità di gocce

### 6.3.2 Risultati prove su foglio orizzontale

Per quanto riguarda le prove su foglio orizzontale, realizzate con ugello a cono pieno HCF80015 centrale e ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001 in posizione laterale, i parametri che influenzano direttamente la prova sono rimasti costanti e di fatto le minime differenze provocate dal cambio di angolo e distanza degli ugelli laterali sono sporcate dai fattori aleatori che condizionano la prova, come il tempo di prova e altri effetti non controllabili. Da queste prove orizzontali si può dedurre però l'andamento e il range di valori assunti del VMD, dell'area di copertura e dalla densità di gocce. In figura 6.20 sono riportati i valori di VMD ottenuti di tutte le prove. I commenti e le conclusioni sui risultati ottenuti sono riportati alla fine del sottoparagrafo.

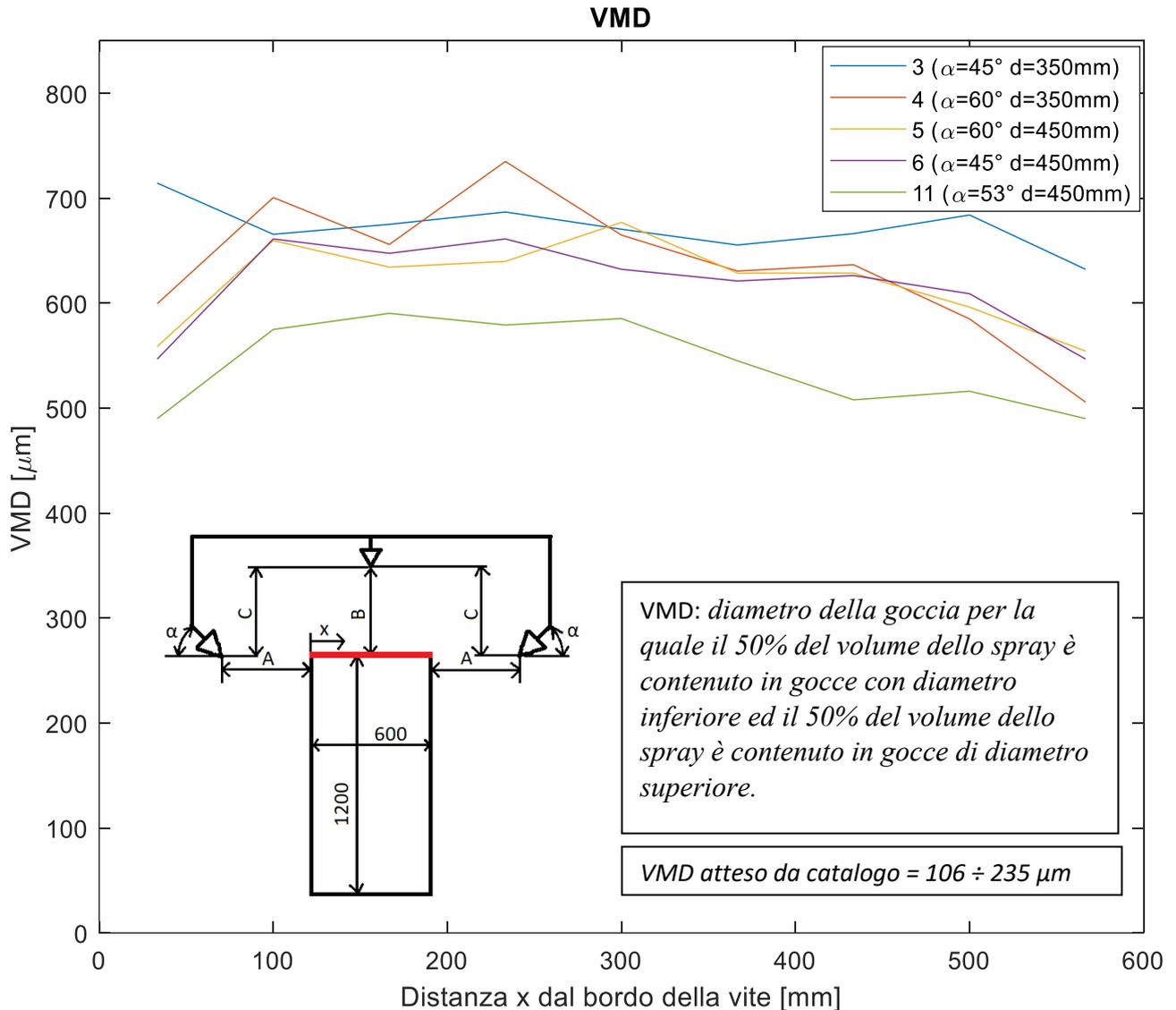


Figura 6.20 – Prove orizzontali, VMD

In figura 6.21 è riportato un dettaglio del grafico di figura 6.20 focalizzato nel range di valori assunti dal VMD nelle varie prove su foglio orizzontale.

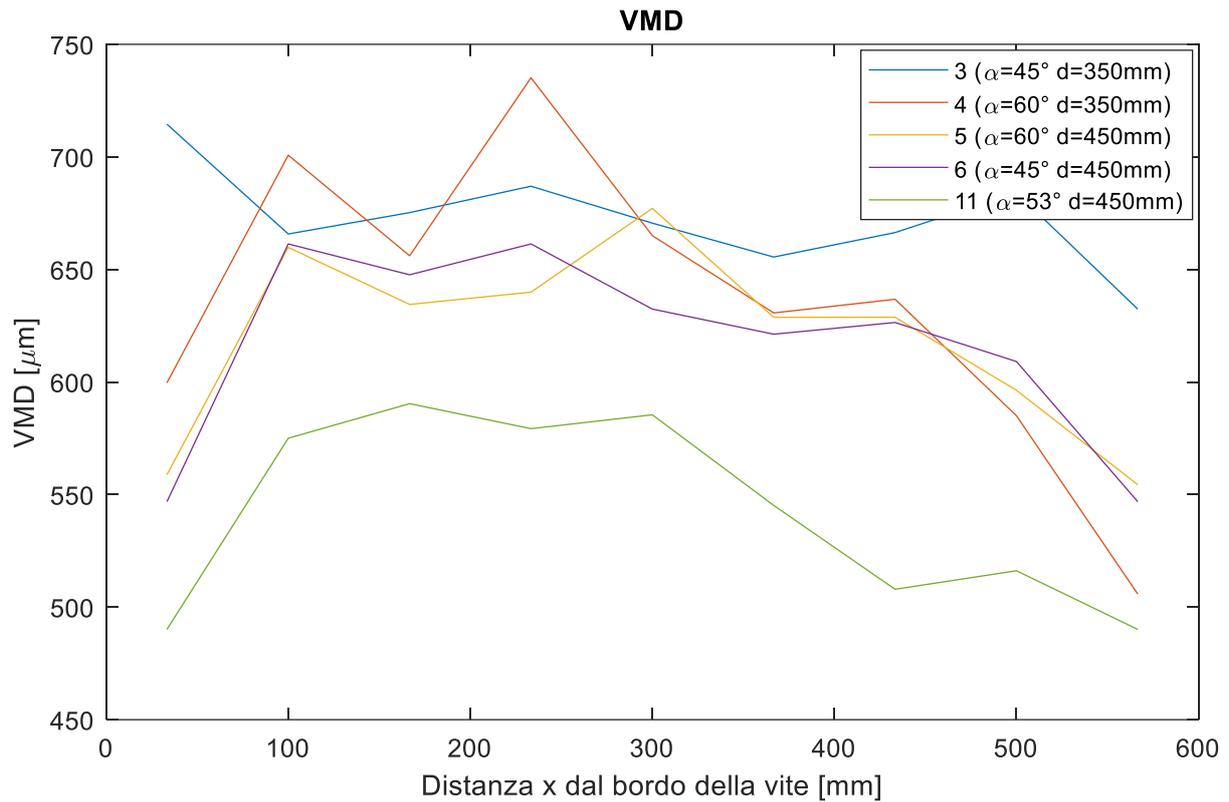


Figura 6.21 – Prove orizzontali, VMD, dettaglio di figura 6.20

Nelle figure 6.22 e 6.23 sono riportati gli andamenti di area di copertura e di densità di gocce ottenuti dalle prove su foglio orizzontale, realizzate con ugello a cono pieno HCF80015 centrale e ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001 in posizione laterale.

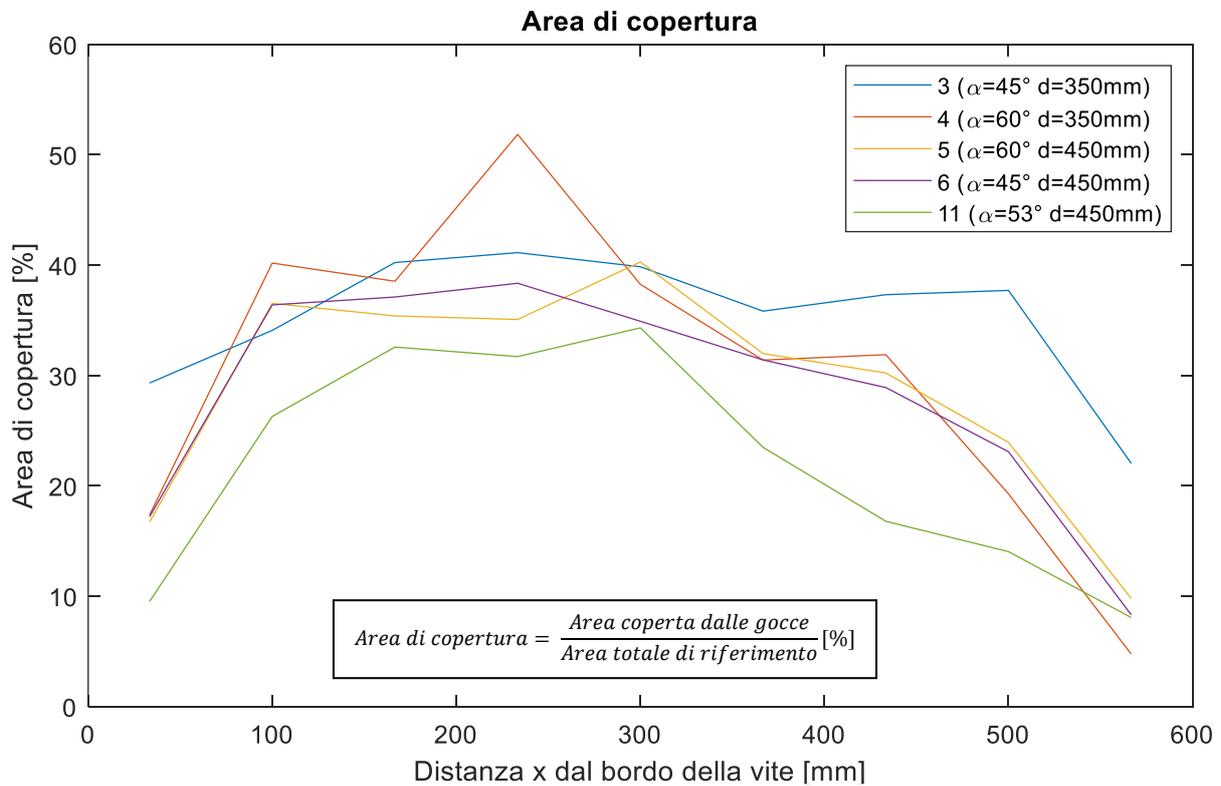


Figura 6.22 – Prove orizzontali, area di copertura

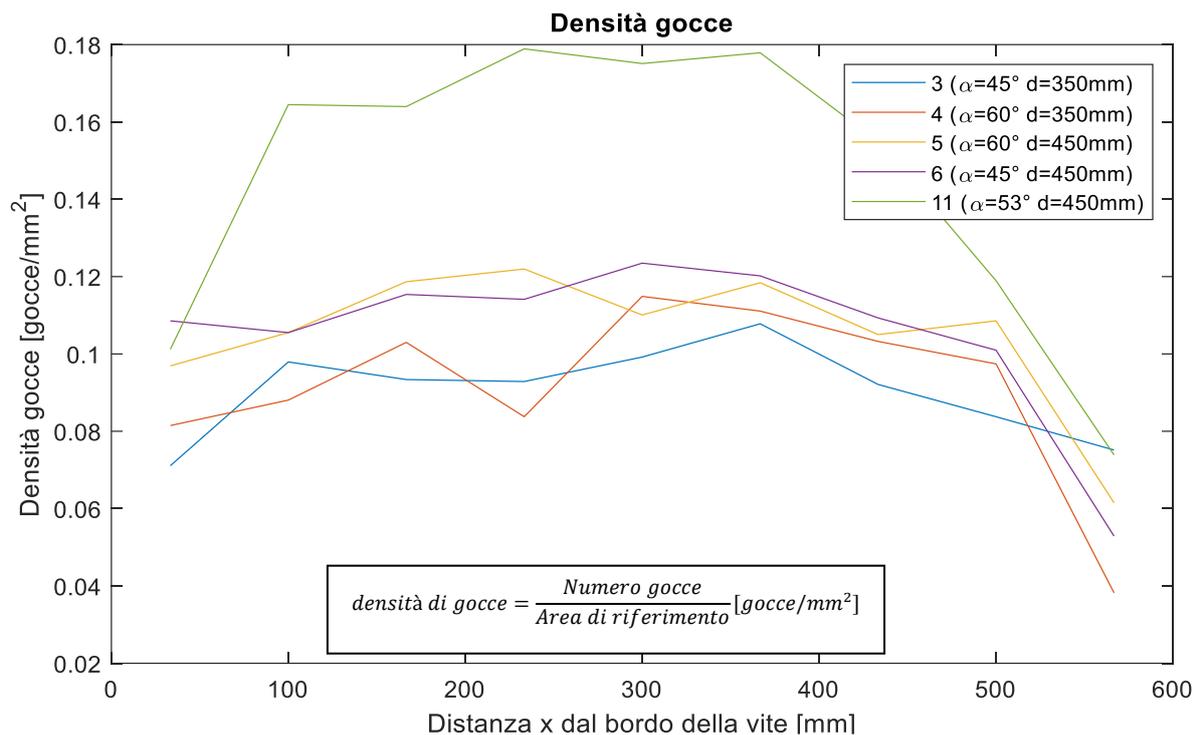


Figura 6.23 – Prove verticali, densità gocce

Osservando le figure 6.21, 6.22 e 6.23 ci si rende conto della variabilità di risultati che si ottengono svolgendo le prove. In generale si osserva che VMD e area di copertura sono massimi al centro, rimangono quasi costanti fino a circa 100 mm dal bordo della vite e si riducono notevolmente sui bordi, questo andamento è dovuto alla tipologia di ugello a cono pieno. Un'osservazione molto interessante riguarda l'**asimmetria delle prove**. Le principali cause sono due e dipendono dal procedimento con cui è stata svolta la prova. La prima e più interessante causa di asimmetria è dovuta al fatto che per riuscire a svolgere comodamente le prove solo uno dei due ugelli laterali è stato fatto spruzzare sui fogli, lo spruzzo dell'altro ugello è stato intubato e convogliato nel serbatoio dal quale aspira la pompa. L'effetto è quindi quello di avere l'interazione del getto dell'ugello laterale solo nella parte sinistra del grafico, dove in effetti si osservano valori più alti di copertura e densità delle gocce. Caso esemplare in questo senso è la prova 3 dove si osserva un picco di VMD e una riduzione meno brusca di area di copertura sul bordo sinistro, questo effetto è dovuto al getto dell'ugello laterale che, con quella combinazione di angolo e distanza, raggiunge il foglio verticale lasciando gocce di grandi dimensioni. La seconda causa di asimmetria è dovuta ad un errore sistematico ed inevitabile dovuto all'esecuzione dell'esperimento: per poter eseguire la prova statica è necessario coprire il getto, fino a quando il circuito è a regime, dopodiché scoprire il getto in modo che vada a contatto con il foglio per pochi istanti (tempo di prova) e infine interporre nuovamente qualcosa tra il getto ed il foglio. Per eseguire rapidamente le prove l'oggetto che copre il getto è stato traslato lateralmente per scoprire il getto e poi di nuovo riposto a protezione del foglio dallo stesso lato, quindi, risulta che un lato è stato sottoposto al getto per un tempo lievemente inferiore.

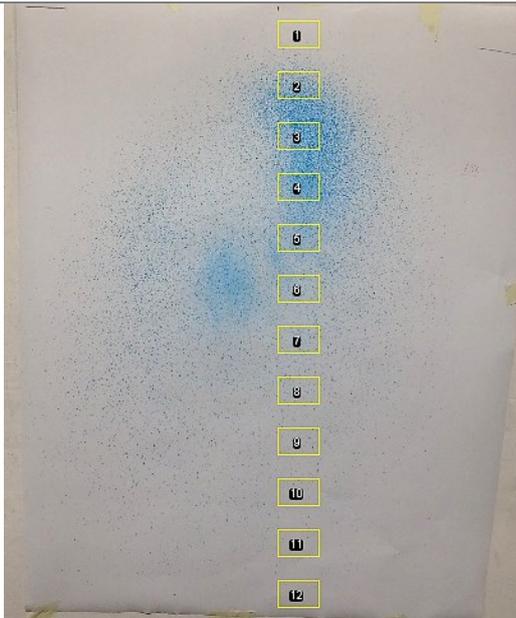
In conclusione, otteniamo buoni risultati per quanto riguarda la copertura e la densità di gocce, soprattutto se si considera l'effetto combinato con gli ugelli laterali, mentre la dimensione delle gocce risulta, come nelle altre prove, eccessivamente grande rispetto ai valori desiderati e molto lontana dai valori indicati a catalogo. Tutto ciò porta a concludere nuovamente che **i valori di VMD ottenuti sperimentalmente non sono confrontabili con quelli indicati a catalogo**. La causa è dovuta probabilmente all'aggregazione delle gocce ad all'impatto delle gocce sul foglio e potrà essere indagata nel dettaglio negli sviluppi futuri del progetto.

#### 6.4 Prove con ugelli a cono HCF80015 in orizzontale ed in verticale

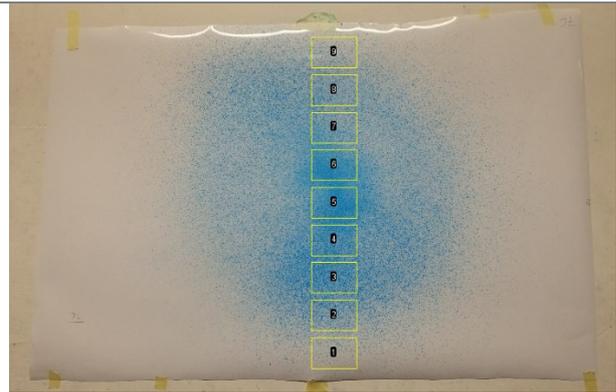
Nelle tabelle che seguono sono riportate le fotografie di tutte le prove svolte con ugelli a cono pieno HCF80015 sia in posizione centrale sia in posizione laterale, in cui sono evidenziate le aree di selezione analizzate. Le immagini di ogni prova sono correlate da una tabella che riporta i valori dei parametri utilizzati per quella prova.

Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
7	HCF80015	HCF80015	45°	0,45 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Prova 7 verticale



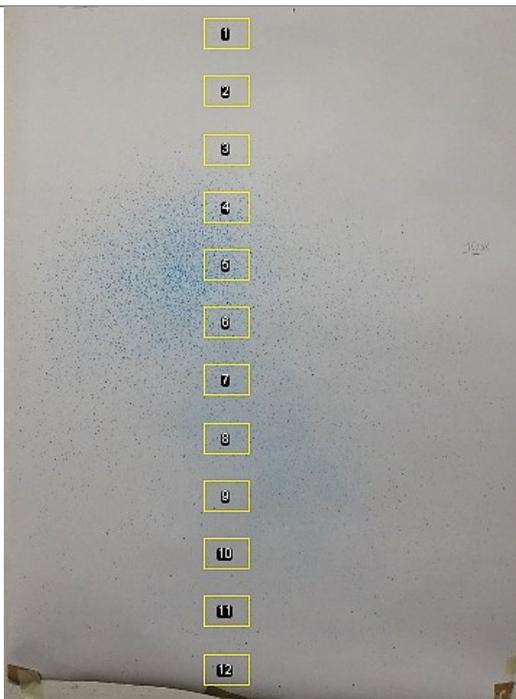
Prova 7 orizzontale



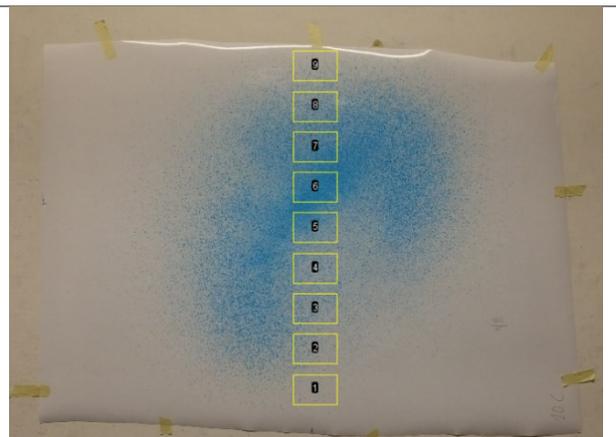
\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale e l'orizzontale come indicato in figura 6.6.

Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
10	HCF80015	HCF80015	60°	0,30 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Prova 10 verticale



Prova 10 orizzontale



#### 6.4.1 Risultati prove su foglio verticale

Nelle figure seguenti sono riportati i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce delle prove effettuate con ugelli a cono pieno HCF80015 sia in posizione centrale sia in posizione laterale. In particolare, sono state eseguite due prove, entrambe con distanza tra l'ugello laterale ed il foglio di 450 mm, con angoli di spruzzo tra l'ugello laterale e l'orizzontale di 45° e 60°. In figura 6.24 sono riportati gli andamenti dei valori di VMD.

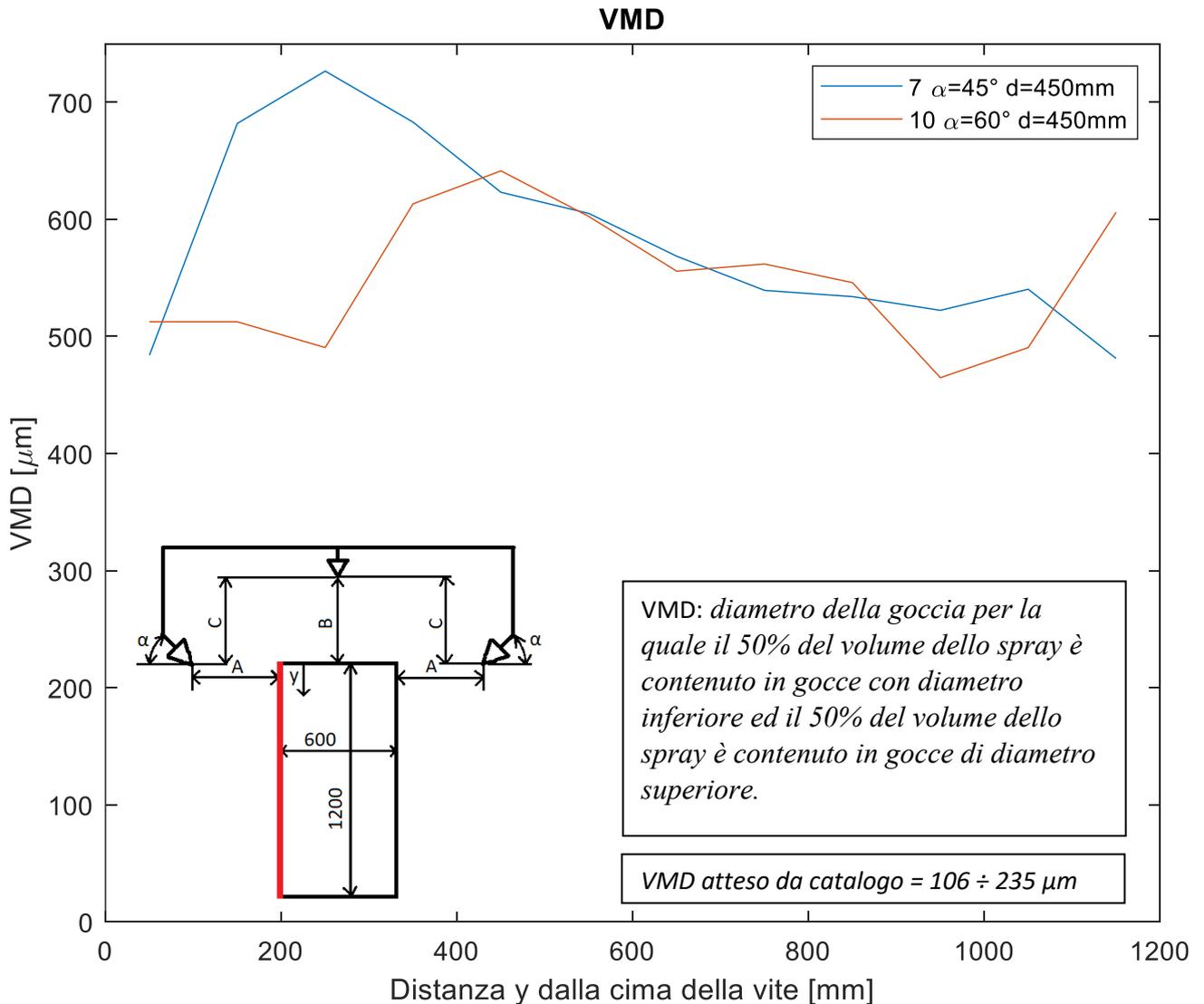


Figura 6.24 – Prova con ugelli HCF80015 in verticale e orizzontale, variazione dell'angolo, VMD

In figura 6.24 sono riportati i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce delle prove 7 e 10, eseguite con ugello a cono pieno HCF80015 sia in posizione centrale sia in posizione laterale.

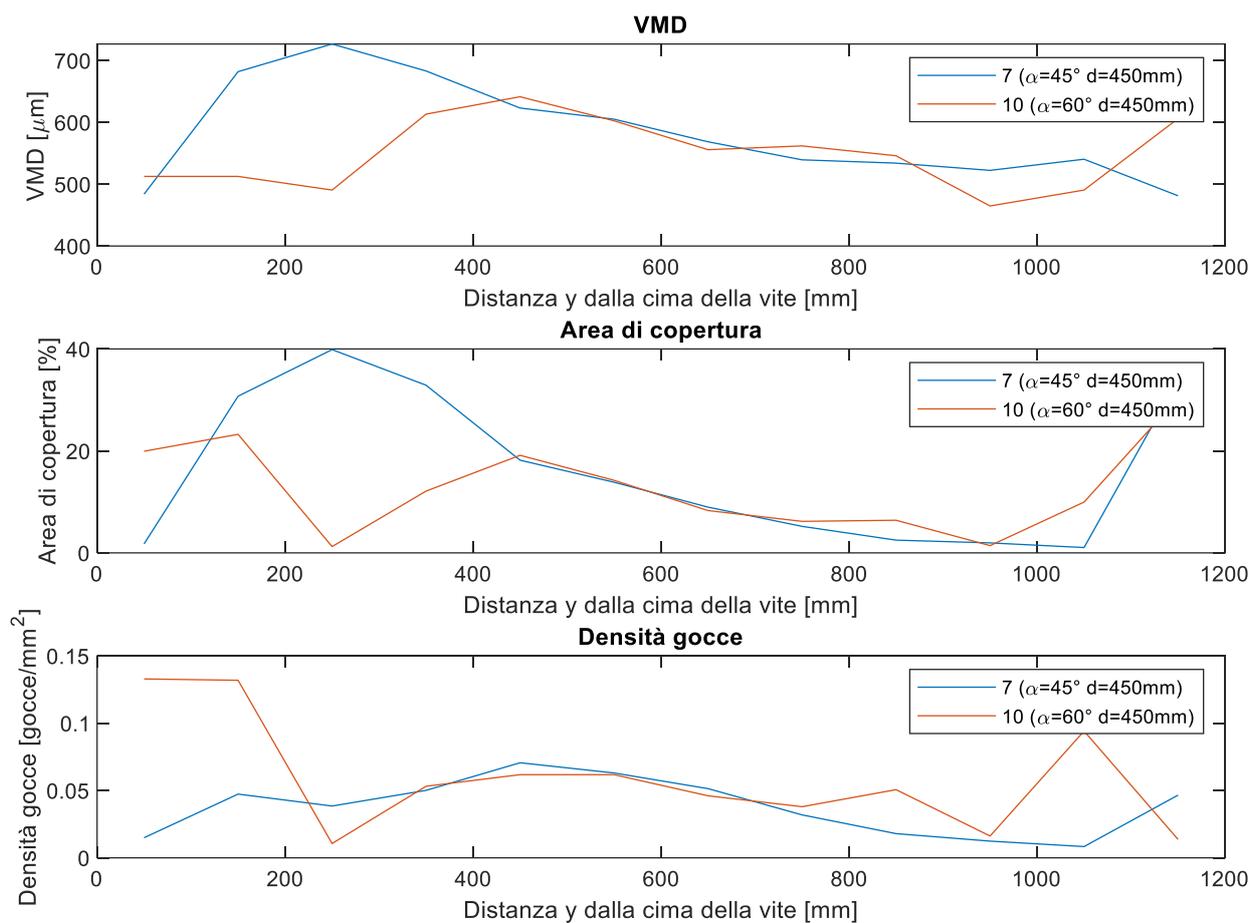


Figura 6.25 – Prova con ugelli HCF80015 in verticale e orizzontale, variazione dell'angolo

Dalle figure 6.24 e 6.25 si può osservare, come è lecito aspettarsi, che **aumentando l'angolo  $\alpha$  il picco in termini di VMD e di copertura si sposta verso il basso**. Purtroppo, la prova 10 è condizionata da un tempo di prova piuttosto piccolo rispetto alle prove precedenti, quindi è lecito aspettarsi che i valori di VMD, area di copertura e densità delle gocce riportati in figura siano in realtà sottostimati. Si ricorda infatti che, benché in teoria il VMD non dovrebbe dipendere dal tempo di prova, in realtà questo accade a causa della sovrapposizione delle gocce sul foglio, fenomeno che è probabilmente una delle cause per le quali i valori di VMD ottenuti sono notevolmente superiori rispetto ai valori attesi forniti da catalogo. Al di là delle criticità sopra esposte si può osservare che una configurazione con ugello HCF80015 a 45° rispetto alla verticale copre bene una fascia alta compresa tra circa 100 -500 mm dalla cima della vite e riduce progressivamente la copertura nella fascia bassa. Una configurazione con ugello HCF80015 inclinato di 60° rispetto alla verticale copre in modo più uniforme la fascia medio-bassa compresa tra 300 e 700 mm circa dalla cima della vite trascurando la fascia alta.

I picchi di densità di gocce e di area di copertura che si osservano per altezze molto basse (ed anche molto alte, per quanto riguarda la prova 10) sono in realtà errori dovuti al programma di analisi dell'immagine. L'algoritmo di analisi dell'immagine, infatti, è impostato per settare automaticamente la soglia tra bianco e nero. Se non vi sono gocce il foglio è bianco, il programma abbassa la soglia sino a vedere macchie nere che però non sono dovute all'impronta del getto ma a ombre o imperfezioni della fotografia.

### 6.4.2 Grafici 3D

Di seguito sono riportati grafici 3D di VMD, area di copertura e densità di gocce al variare dell'angolo di inclinazione ottenuti a partire dalle prove 7 e 10, quindi con distanza ugello foglio di 450 mm.

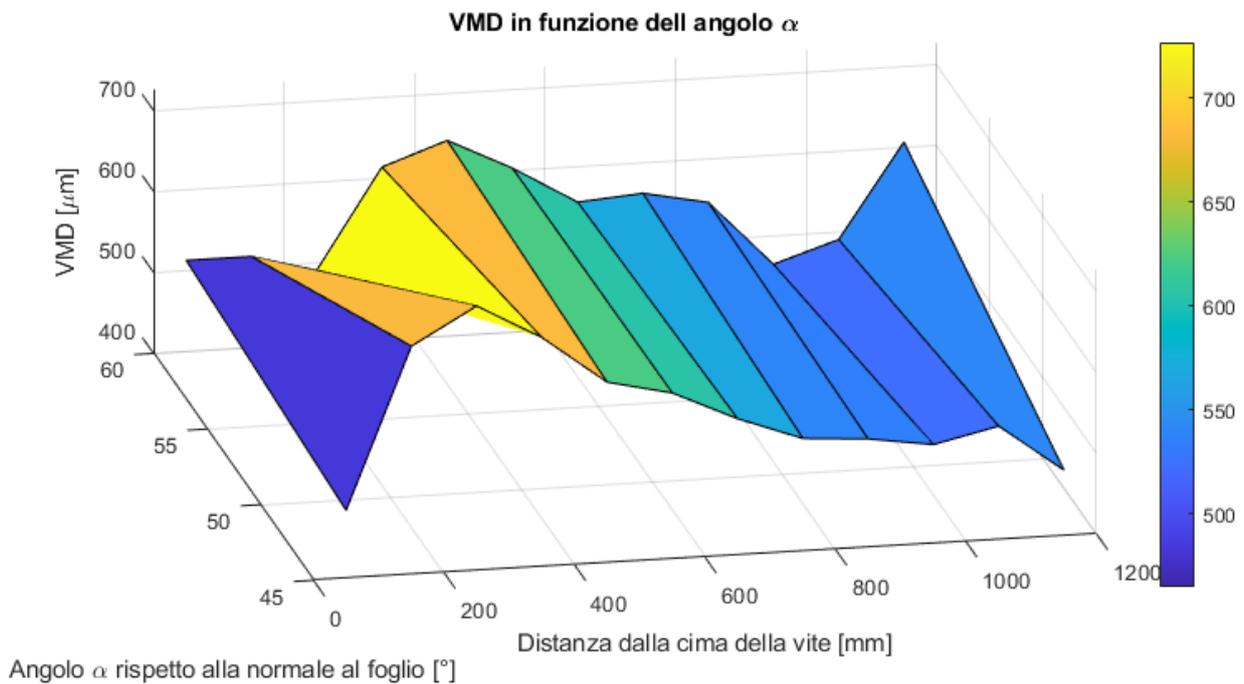


Figura 6.26 – VMD, ugello HCF80015 verticale, grafico 3D

In figura 6.26 è riportato il grafico 3D che rappresenta i valori di VMD, ottenuti dalle prove su foglio verticale realizzate con circuito a tre ugelli a cono del tipo HCF80015, in funzione dell'angolo di spruzzo tra gli ugelli laterali e l'orizzontale, e della distanza y dalla cima della vite (secondo lo schema di figura 6.6). In figura 6.27 è riportato il grafico 3D che rappresenta l'area di copertura dalle stesse prove, riportato sempre in funzione della distanza y e dell'angolo di spruzzo  $\alpha$ .

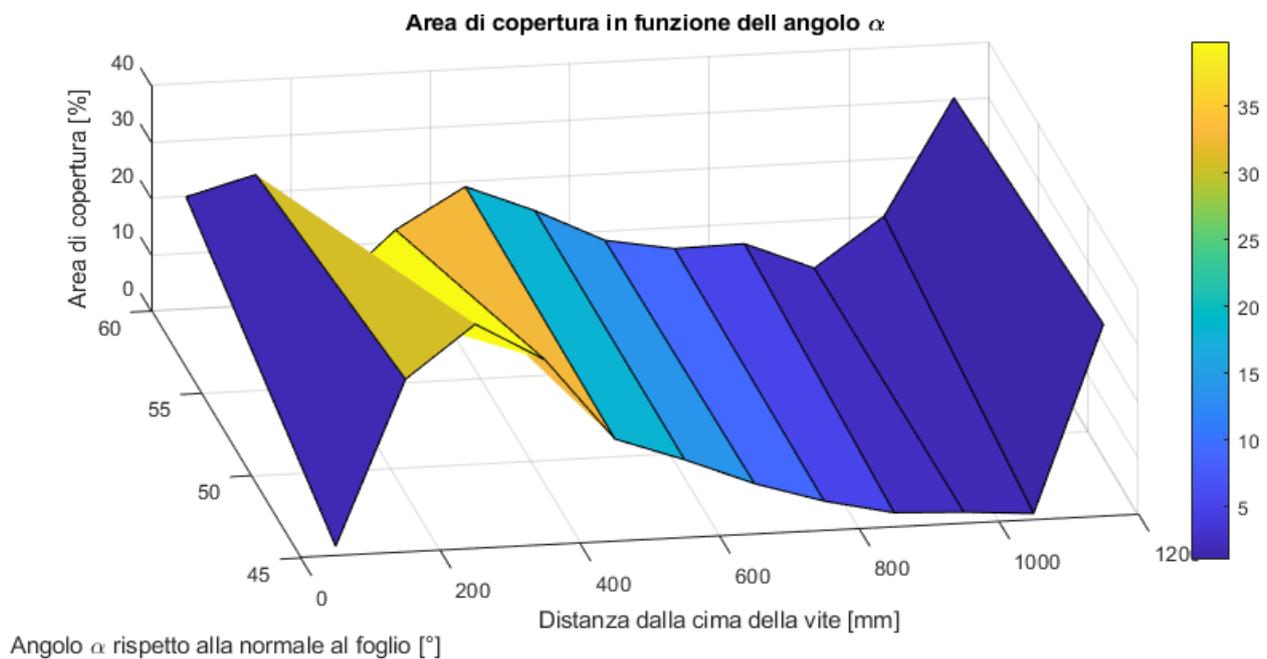


Figura 6.27 – Area di copertura, ugello HCF80015 verticale, grafico 3D

In figura 6.28 è riportato il grafico 3D che rappresenta i valori di densità di gocce, ottenuti dalle prove su foglio verticale realizzate con circuito a tre ugelli a cono pieno del tipo HCF80015, in funzione dell'angolo di spruzzo  $\alpha$ , e della distanza  $y$ .

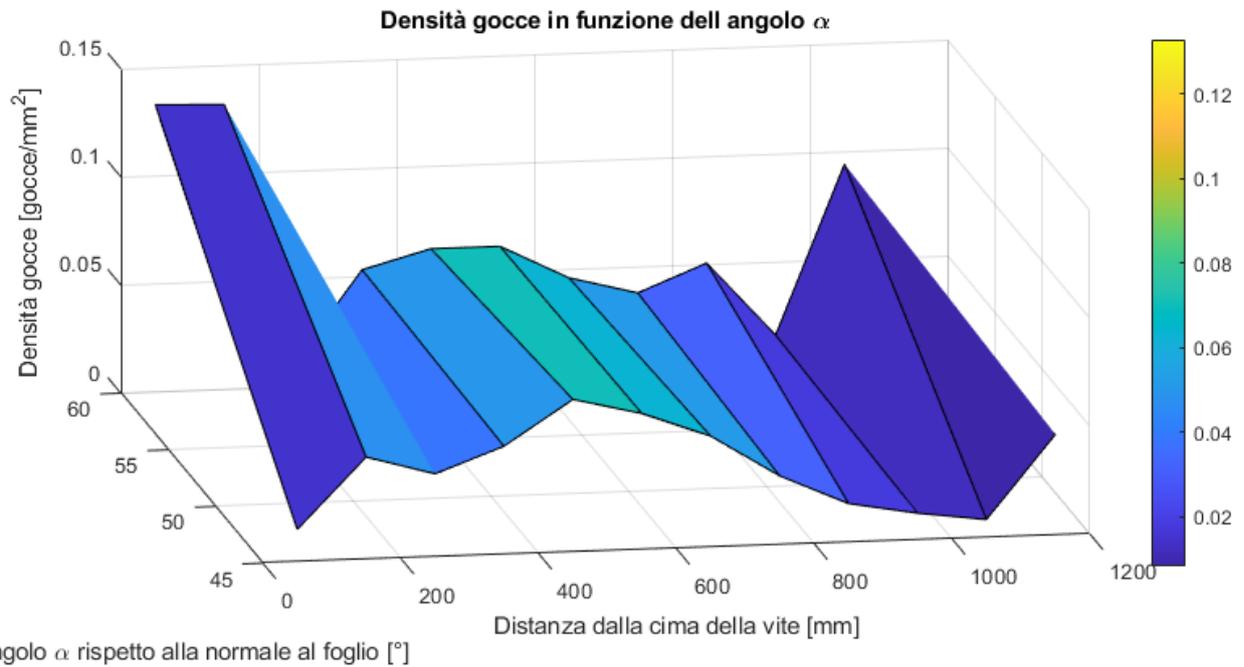


Figura 6.28 – Densità gocce, ugello HCF80015 verticale, grafico 3D

### 6.4.3 Risultati prove su foglio orizzontale

In questo sottoparagrafo sono analizzate le prove su foglio orizzontale eseguite con ugelli a cono pieno HCF80015 sia in posizione centrale sia in posizione laterale. In figura 6.29 sono diagrammati gli andamenti di VMD in funzione della distanza x dal bordo sinistro della vite (si faccia riferimento allo schema di figura 6.6, riportato anche nello specchio di figura 6.29).

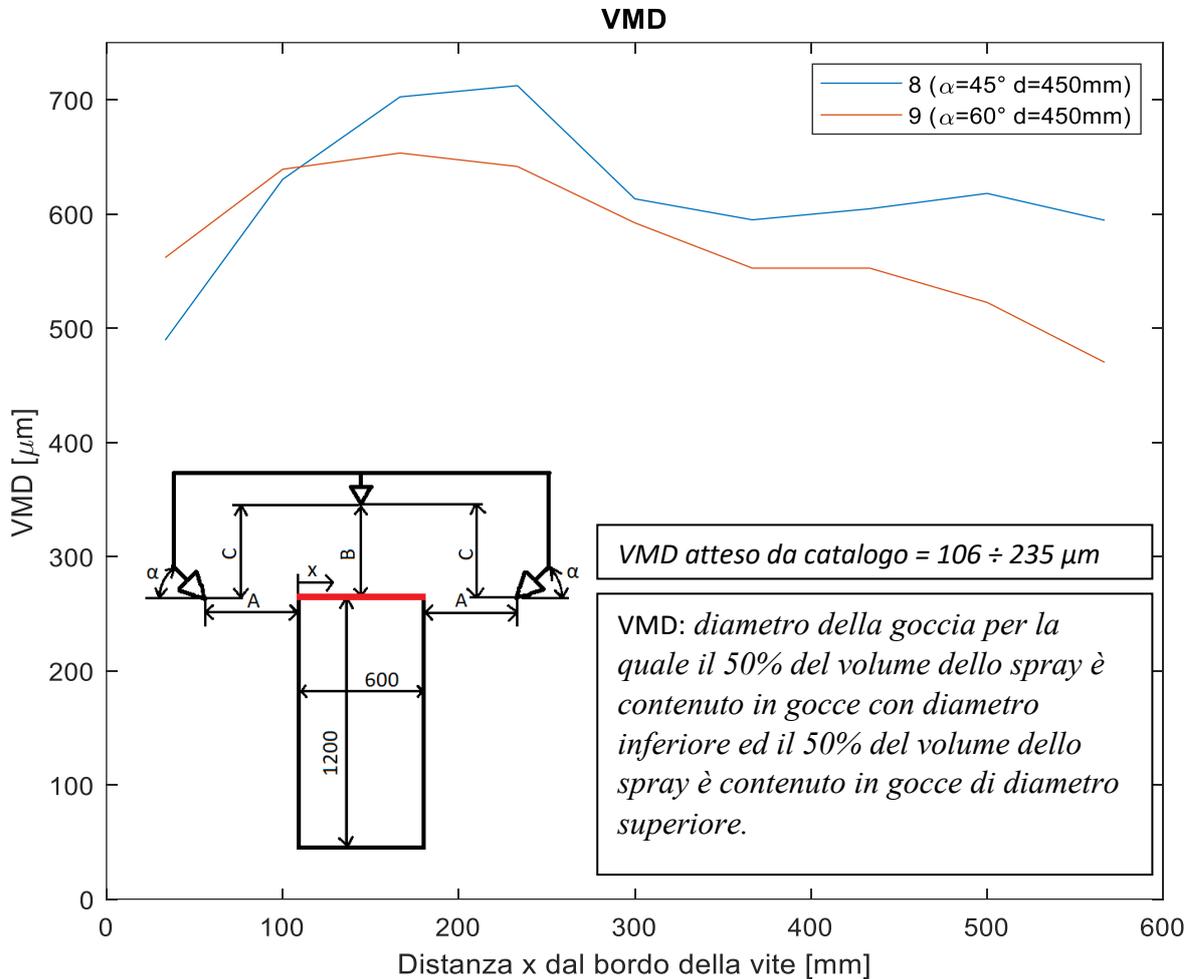


Figura 6.29 – Prove orizzontali con ugelli HCF80015

La figura 6.29 mostra un'accentuata asimmetria dei risultati. Questo fenomeno di difficile interpretazione può essere spiegato ipotizzando, com'era già stato fatto in precedenza, che durante l'attività sperimentale l'oggetto che devia il getto sia stato rimosso e reinserto dallo stesso lato, oppure che non sia stato rimosso del tutto, facendo sì che da un lato il tempo di prova sia sensibilmente maggiore dell'altro. Si ricorda infatti che, anche se teoricamente il tempo di prova non incide sui valori di VMD, nelle zone esposte per più tempo allo spruzzo si osservano valori di VMD mediamente più elevati, a causa del fenomeno di aggregazione delle gocce.

In figura 6.30 oltre ai valori di VMD sono diagrammati anche area di copertura e densità di gocce, sempre in funzione della distanza y dal bordo sinistro della vite.

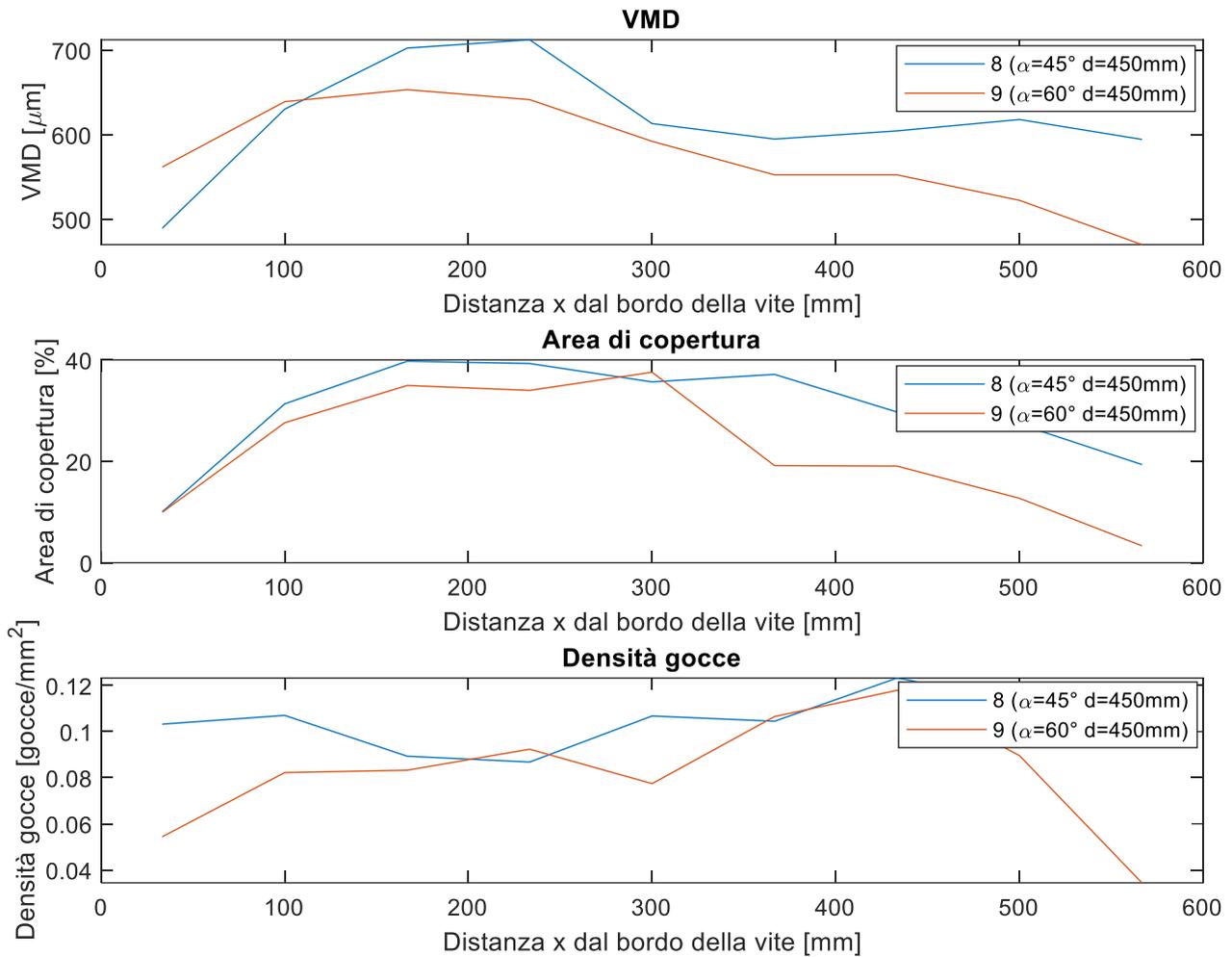


Figura 6.30 – Prove orizzontali con ugelli HCF80015

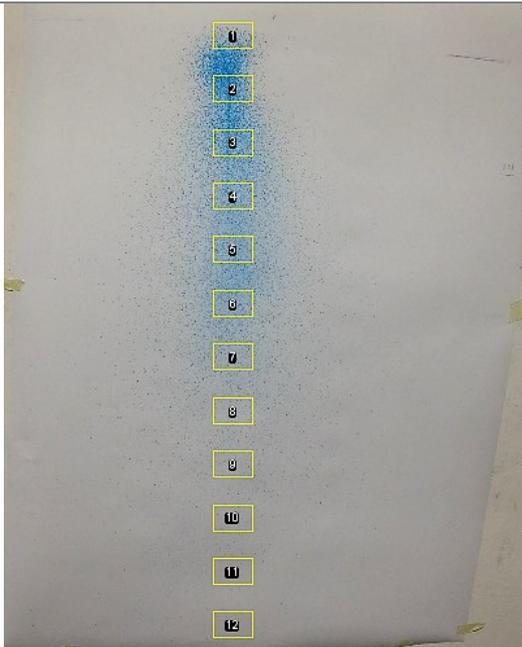
I risultati delle prove orizzontali di cui sono riportati i grafici in figura 6.30 non evidenziano nulla di nuovo rispetto a quanto detto in precedenza. Il confronto tra prove orizzontali nelle varie configurazioni di ugelli verrà fatto a fine capitolo, ma solo osservando i valori si può intuire che la differenza di valori rispetto al set di prove eseguite con ugello a cono pieno HCF80015 in posizione centrale e ugelli a ventaglio LDC11001 in posizione laterale sia minima e dovuta perlopiù a fattori aleatori o accidentali.

### 6.5 Prove con ugelli LDC11001 in orizzontale ed in verticale

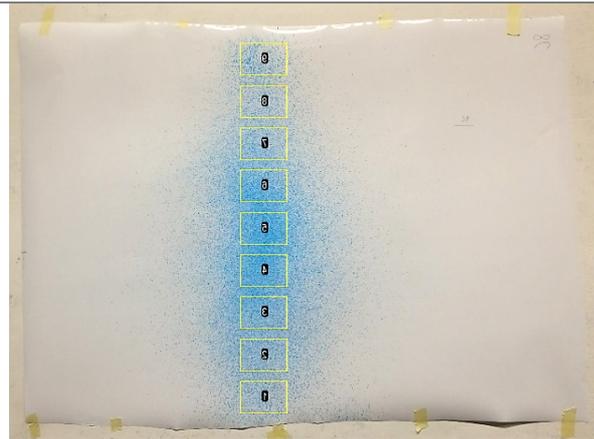
Nelle tabelle che seguono sono riportate le fotografie delle prove svolte con ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001 sia in posizione centrale sia in posizione laterale, in cui sono evidenziate le aree di selezione analizzate. Le immagini di ogni prova sono correlate da una tabella che riporta i valori dei parametri utilizzati nell'esecuzione della prova.

Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
8	LDC11001	LDC11001	45°	0,36 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Prova 8 verticale



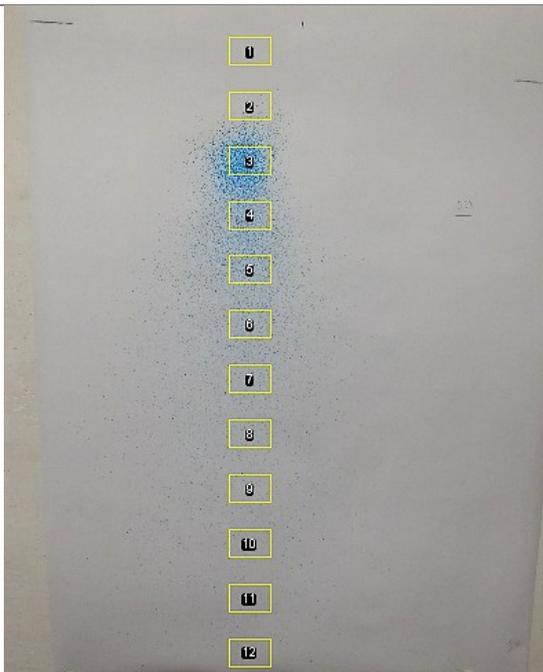
Prova 8 orizzontale



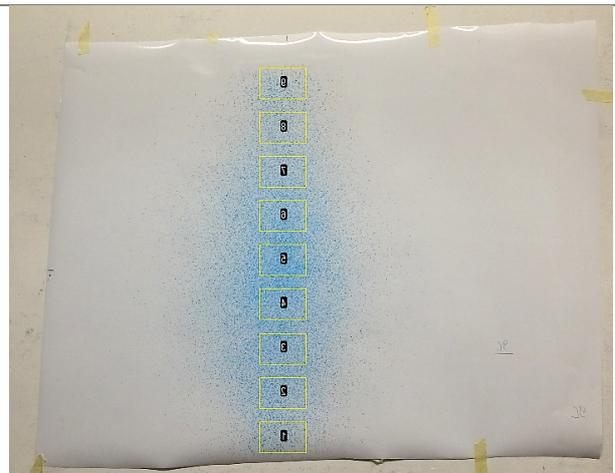
\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale l'orizzontale come indicato in figura 6.6

Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
9	LDC11001	LDC11001	60°	0,39 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Prova 9 verticale



Prova 9 orizzontale



### 6.5.1 Risultati prove su foglio verticale

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle prove su foglio verticale realizzate con ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001 sia in posizione centrale sia in posizione laterale per due diversi angoli di spruzzo tra l'ugello e la normale al foglio verticale. La prova 8 è stata eseguita con un angolo  $\alpha$  di  $45^\circ$ , la prova 9 con un angolo di  $60^\circ$ . Entrambe le prove sono state eseguite con distanza ugello-foglio laterale di 450 mm. In figura 6.31 sono diagrammati i valori di VMD ottenuti dalle due prove in funzione della distanza y dalla cima della vite.

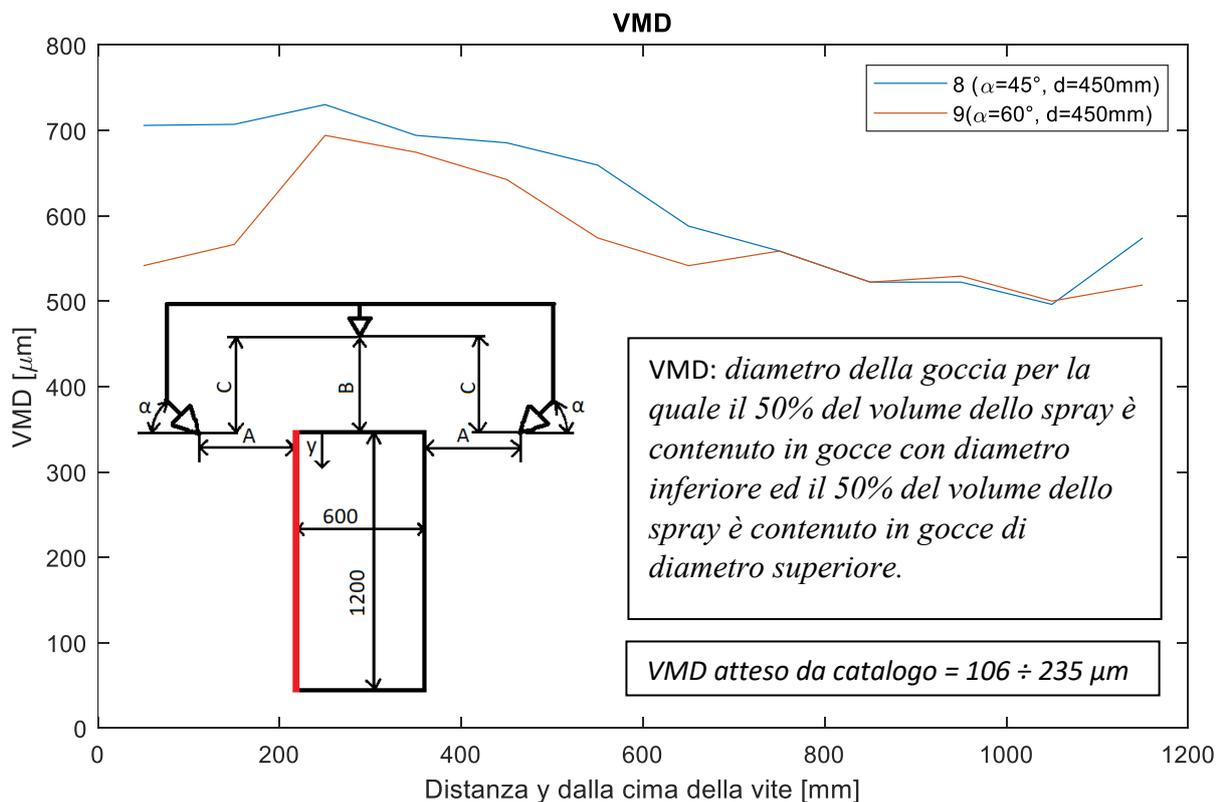


Figura 6.31 - Prova con ugelli LDC11001 in verticale e orizzontale, VMD

In figura 6.32 oltre ai valori di VMD sono diagrammati anche i valori di area di copertura e di densità di gocce. I risultati che si osservano sono molto simili a quelli ricavati dalle prove verticali eseguite con ugello a cono HCF80015 al centro e ugelli a ventaglio LDC11001 ai lati. Anche osservando direttamente il foglio su cui è stata eseguita la prova si può affermare che, nelle condizioni in cui è stata eseguita la prova, cioè in condizioni statiche e simulatore di vigneto a forma di parallelepipedo, l'influenza dell'ugello disposto perpendicolarmente al foglio orizzontale è minima, infatti esso non lascia alcuna traccia sui fogli verticali. Non è vero invece il contrario poiché esistono prove in cui l'ugello laterale lascia tracce importanti sul foglio orizzontale.

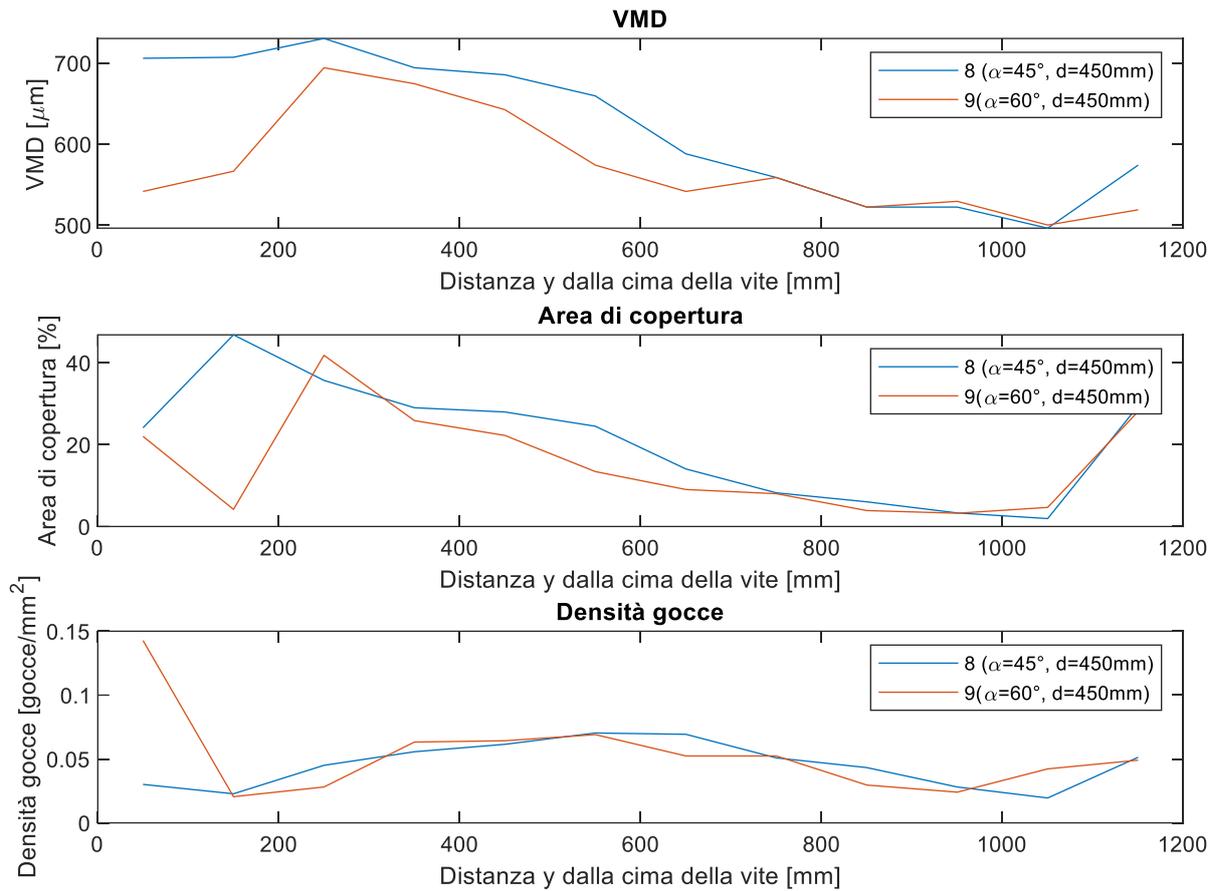


Figura 6.32 – Prova con ugelli LDC11001 in verticale e orizzontale, variazione dell'angolo

Facendo riferimento alla figura 6. 32, che riporta i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce per le prove su foglio verticale eseguite con tre ugelli anti-deriva a ventaglio LDC11001, si può osservare che, come al solito, un aumento dell'angolo di spruzzo sposta i picchi di copertura verso il basso, coprendo meglio la fascia bassa e tralasciando la fascia superiore.

### 6.5.2 Risultati prove su foglio orizzontale

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dalle prove su foglio orizzontale eseguite con tre ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001. In figura 6.33 è riportato il grafico che rappresenta i valori di VMD in funzione della distanza dal bordo sinistro della vite (si faccia riferimento allo schema riportato in figura 6.33).

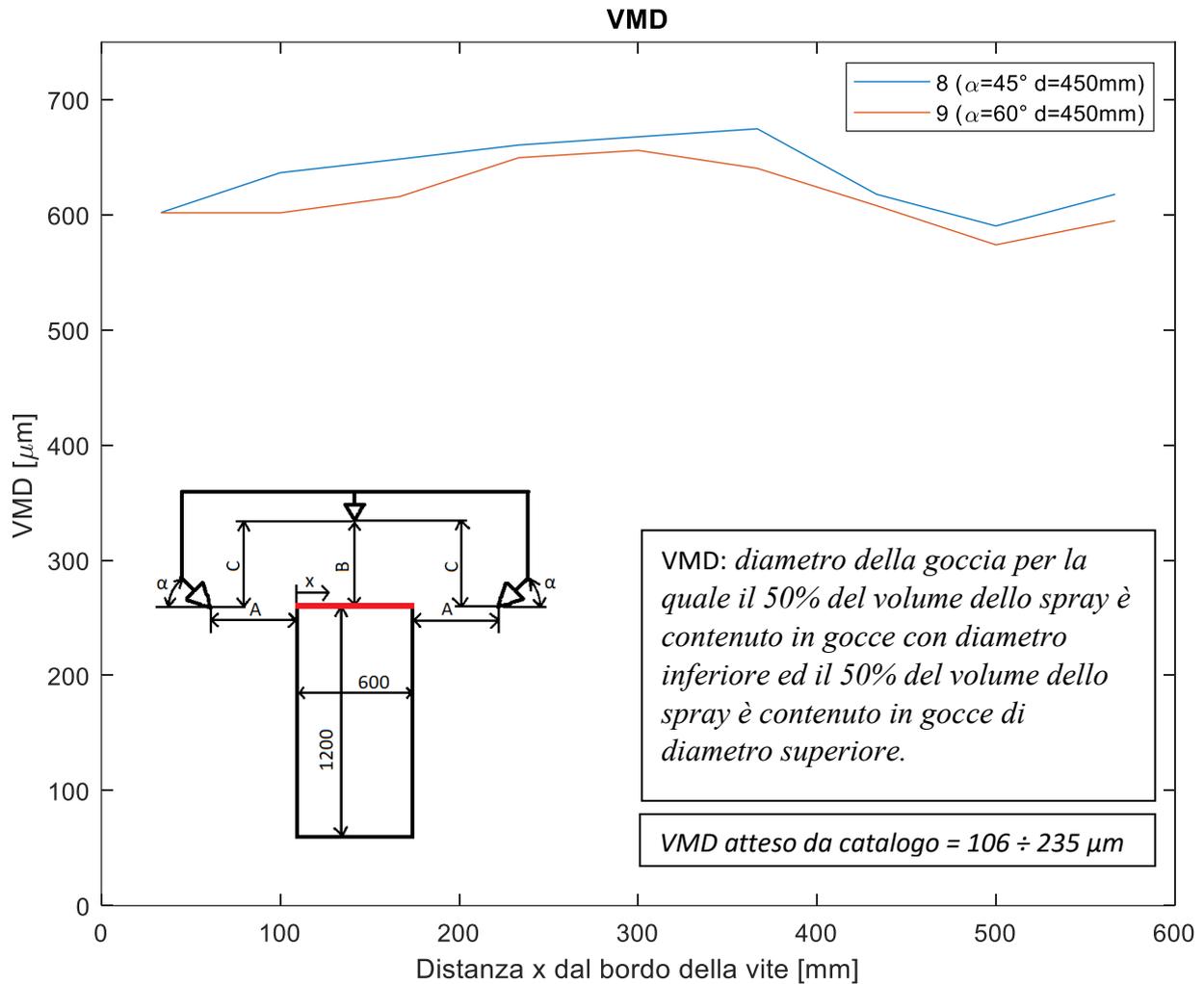


Figura 6.33 – Prove orizzontali con ugelli LDC11001

In figura 6.34 oltre ai valori di VMD, sono diagrammati anche i valori di area di copertura e di densità di gocce.

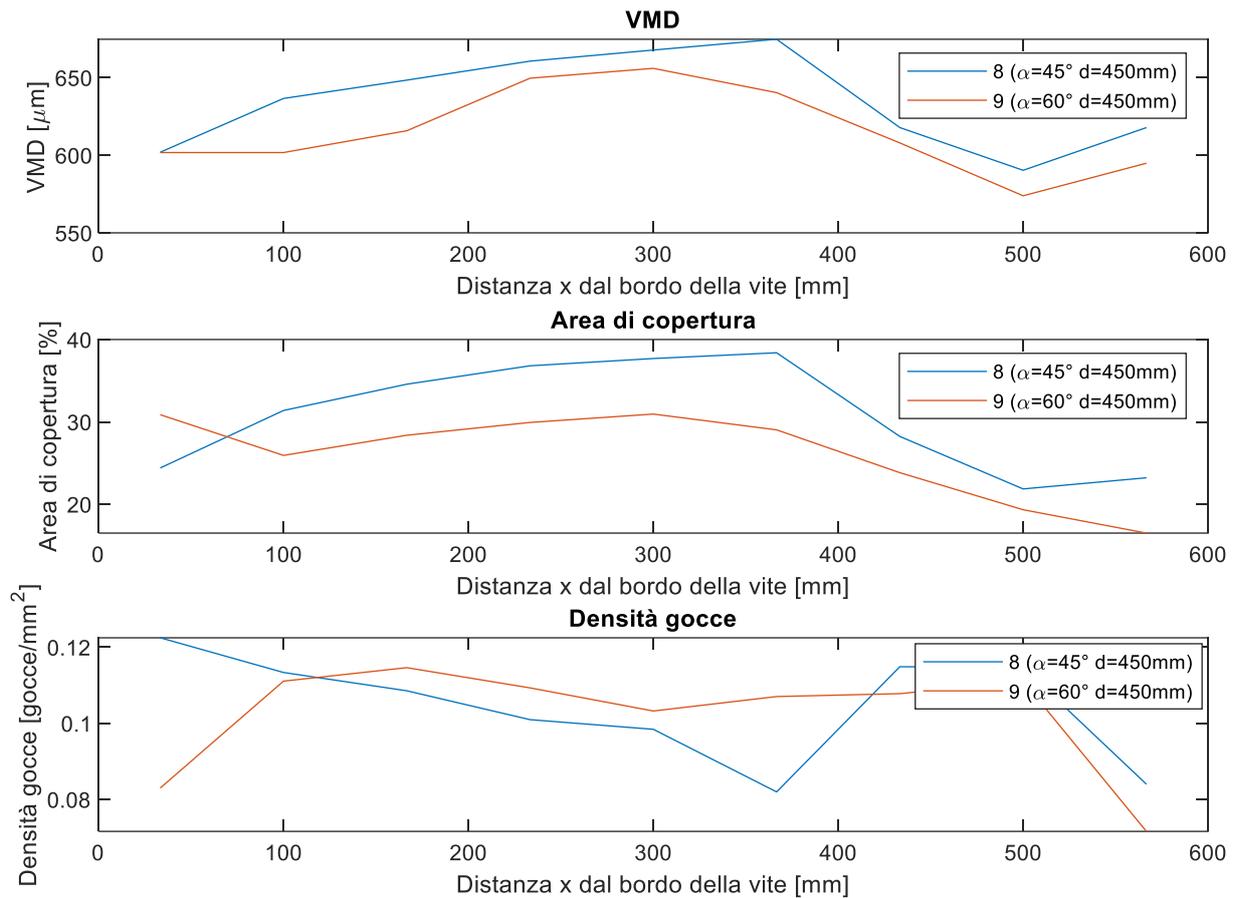


Figura 6.34 – Prove orizzontali con ugelli LDC11001

Osservando i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce ottenuti dalle prove orizzontali eseguite con tre ugelli a ventaglio anti-deriva LDC11001, si può notare che gli andamenti sono abbastanza regolari e uniformi su tutta la larghezza della cima della vite. Per tale motivo questa configurazione è particolarmente adatta ad essere utilizzata per viti piuttosto larghe. L'unica pecca di questa configurazione è il rischio che, data la maggior apertura del getto, una parte del liquido erogato dall'ugello non vada a colpire il foglio (vite) ma vada sul terreno. Questa condizione è inaccettabile perché fonte di sprechi, ma soprattutto di inquinamento.

## 6.6 Confronto tra tutte le prove verticali

Di seguito sono riportati i risultati di tutte le prove su foglio verticale eseguite con i diversi parametri di prova e le diverse combinazioni di ugelli. L'obiettivo è quello di confrontare tutti i risultati su di un unico diagramma per osservare le differenze ed i vantaggi di ogni configurazione. In figura 6.35 sono riportati tutti i valori di VMD ricavati dalle prove su foglio verticale esposte nei paragrafi precedenti. Commenti e considerazioni sono riportati alla fine del paragrafo.

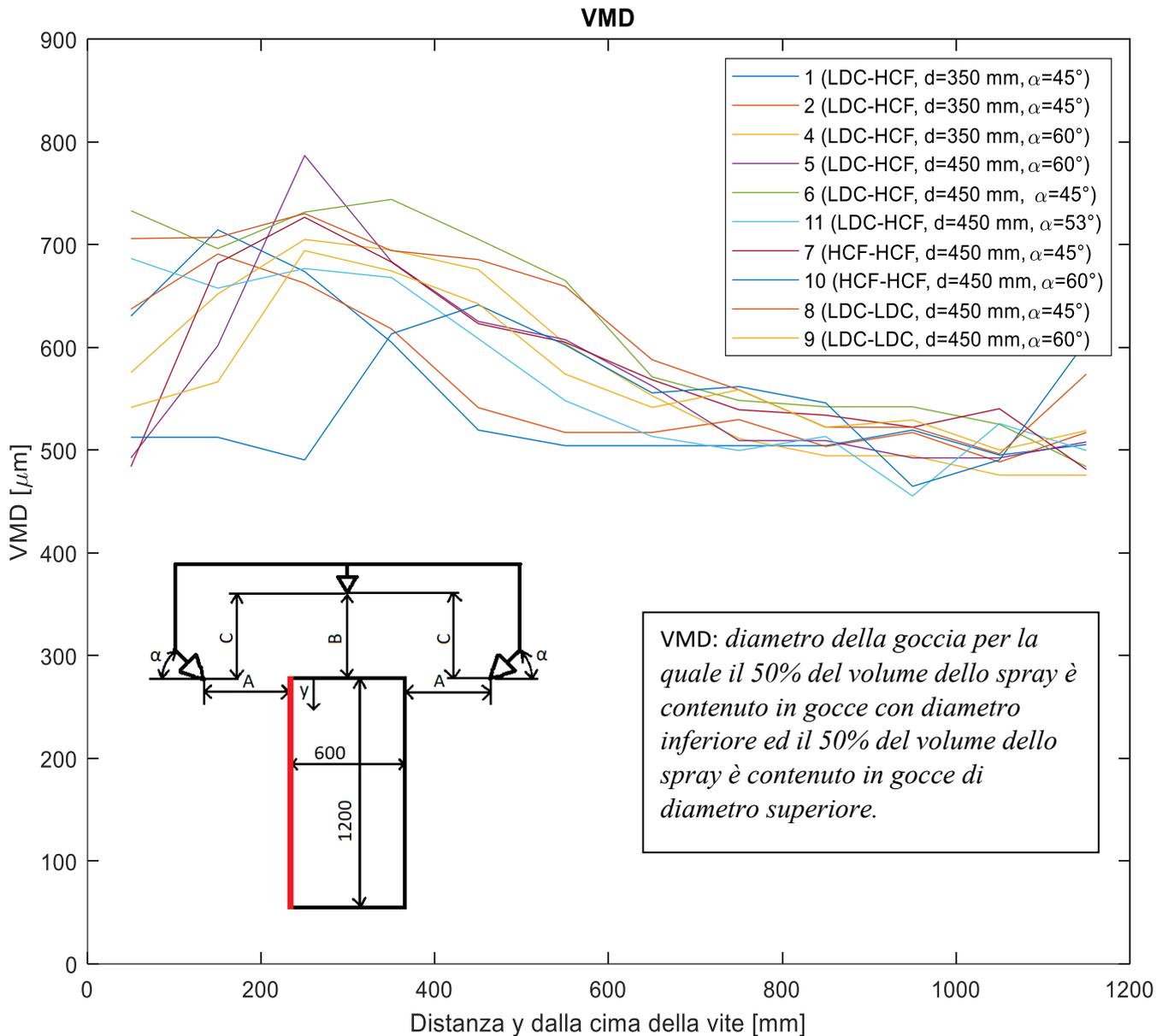


Figura 6.35 – VMD, confronto prove verticali

In figura 6.36 sono riportati tutti i valori di area di copertura ricavati dalle prove su foglio verticale esposte nei paragrafi precedenti. Purtroppo, l'elevata densità di linee rende poco leggibili questi diagrammi ma è comunque utile osservare graficamente le differenze tra le varie prove.

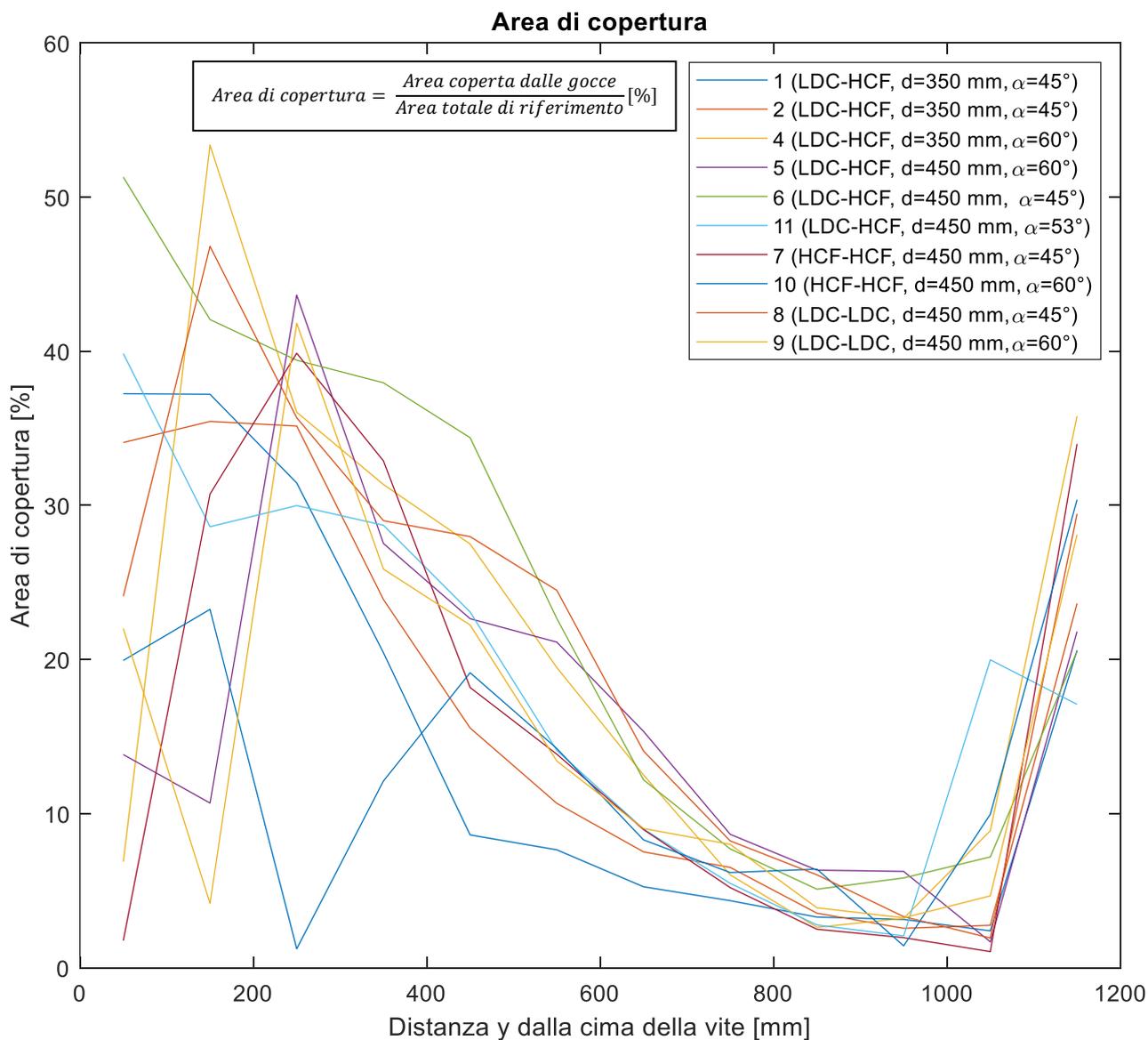
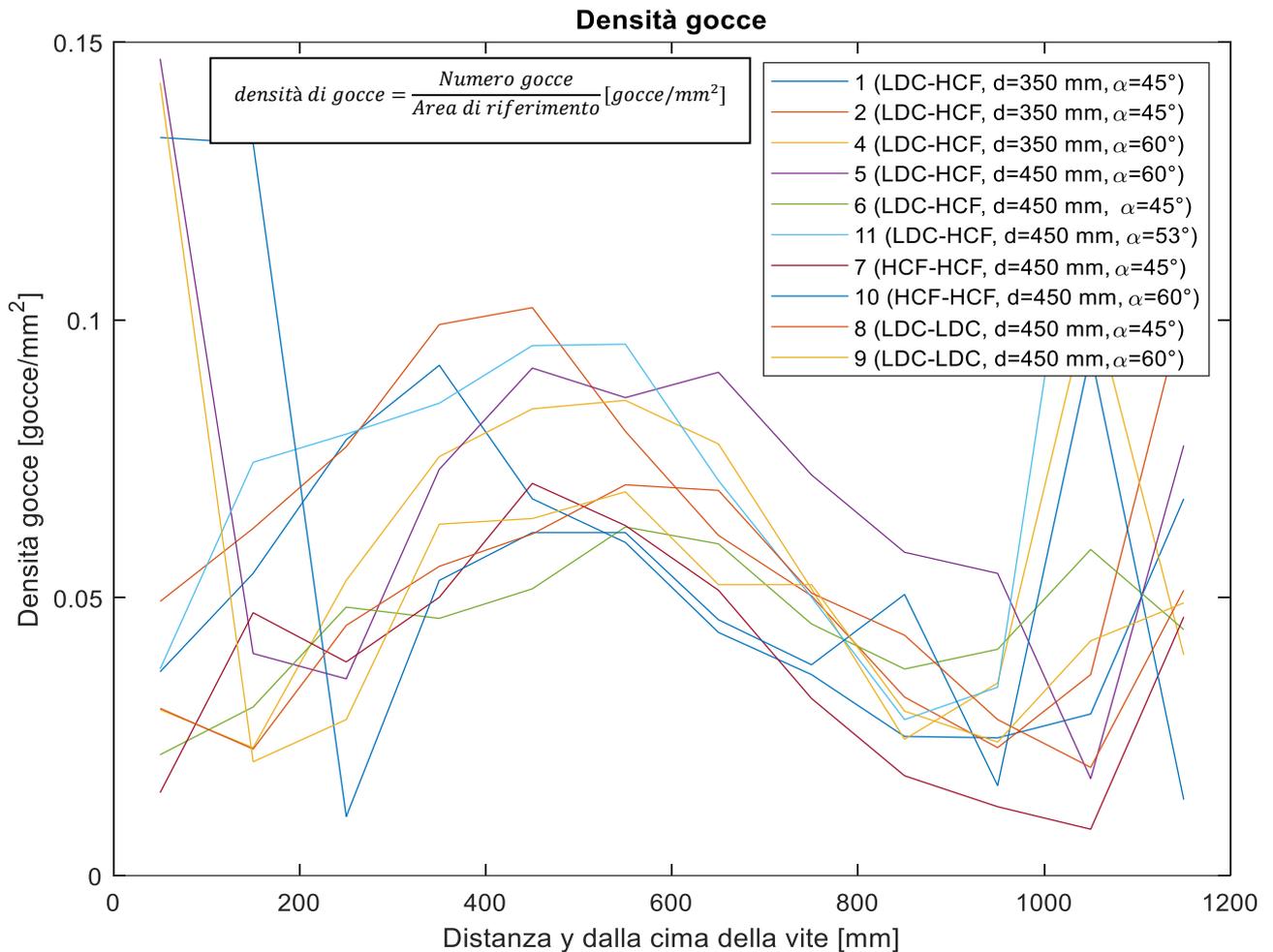


Figura 6.36 – Area di copertura, confronto prove verticali

In figura 6.37 sono riportati tutti i valori di densità di gocce ricavati dalle prove su foglio verticale esposte nei paragrafi precedenti.



*Figura 6.37 – Densità gocce, confronto prove verticali*

Nelle figure 6.36, 6.37 e 6.38 sono riportati i confronti tra VMD, area di copertura e densità delle gocce per tutte le diverse prove verticali svolte con ugelli di tipo HCF80015 e LDC11001 cambiando angolo e distanza dal foglio. Come sempre i risultati di queste prove sono indicativi e possono variare tra due prove eseguite nelle stesse condizioni teoriche. Dal confronto sono comunque visibili gli effetti della variazione di angolo, distanza e ugello.

In generale si possono fare le seguenti osservazioni:

- Con un ugello a cono si ottiene uno spruzzo più localizzato, con una fascia più ristretta ad alta copertura, mentre per un ugello a ventaglio la fascia di massima copertura è un po' più ampia.
- Per entrambe le tipologie di ugello al di sopra della fascia di massima copertura la copertura è quasi nulla, mentre al di sotto di questa fascia si ha una diminuzione progressiva delle gocce che raggiungono il foglio verticale.
- Aumentando la distanza dell'ugello dal foglio si riducono leggermente i picchi ed aumenta la fascia con buona copertura.
- Aumentando l'angolo i picchi si spostano verso il basso coprendo meglio la parte più bassa della vite e lasciando scoperta la parte alta.
- Un buon compromesso sembra essere l'utilizzo di un ugello a ventaglio con una distanza di 450 mm (massimo ammesso dal drone di riferimento) e un angolo compreso fra 45°-53°.
- La copertura al fondo della vite è bassa per tutte le configurazioni implementate. È necessario cercare nuove soluzioni.

### 6.7 Confronto prove orizzontali

In analogia con quanto fatto nel capitolo precedente con le prove su foglio verticale in questo capitolo sono riportati tutti i risultati ottenuti da prove su foglio orizzontale, in modo da poter essere confrontati tutti su di un unico diagramma. In figura 6.38 sono riportati tutti i valori di VMD ricavati dalle prove su foglio verticale esposte nei precedenti paragrafi.

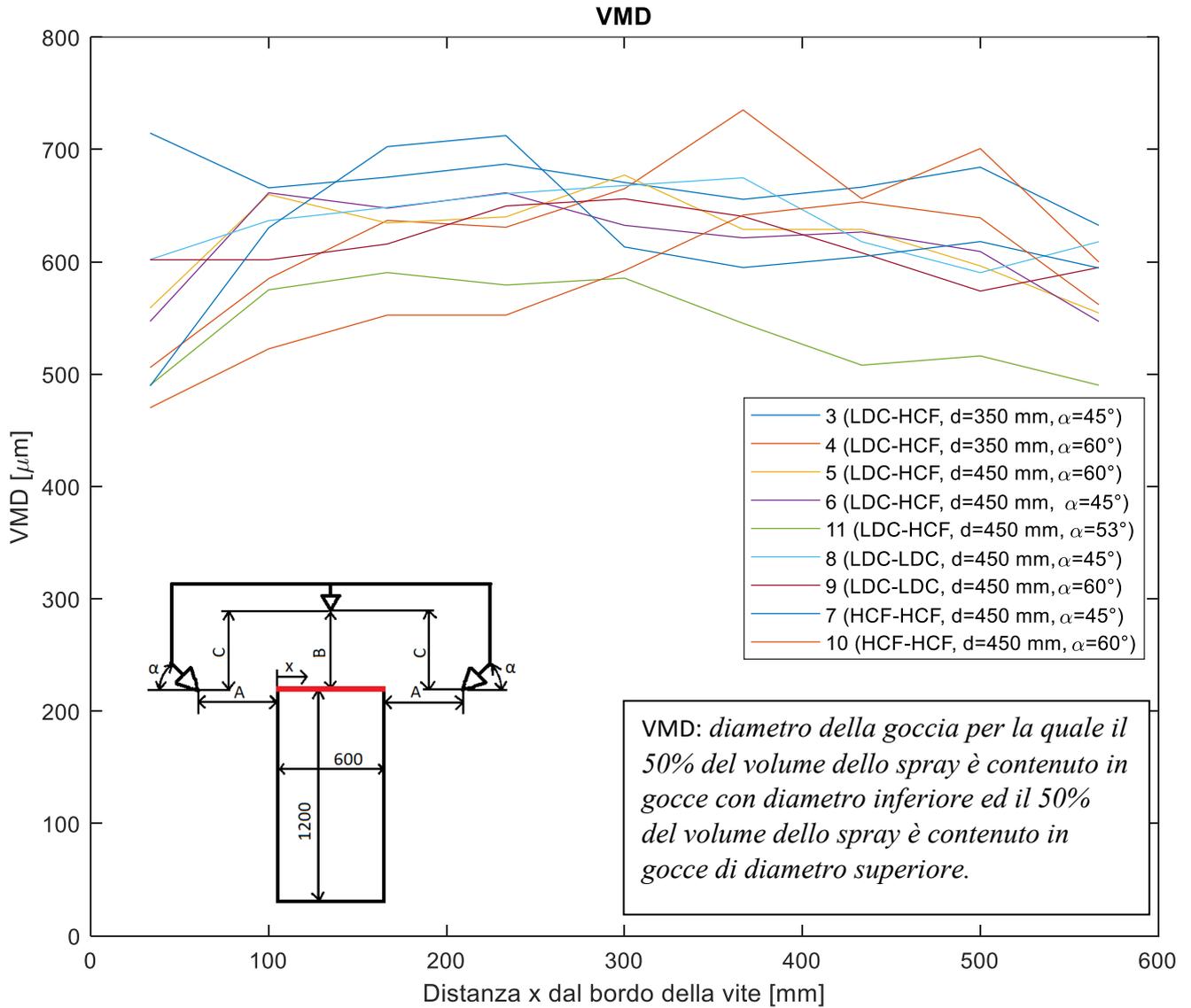


Figura 6.38 – Confronto prove orizzontali, VMD

In figura 6.39 è riportato un dettaglio di figura 6.38 focalizzato nel range di valori di VMD ottenuti nelle prove.

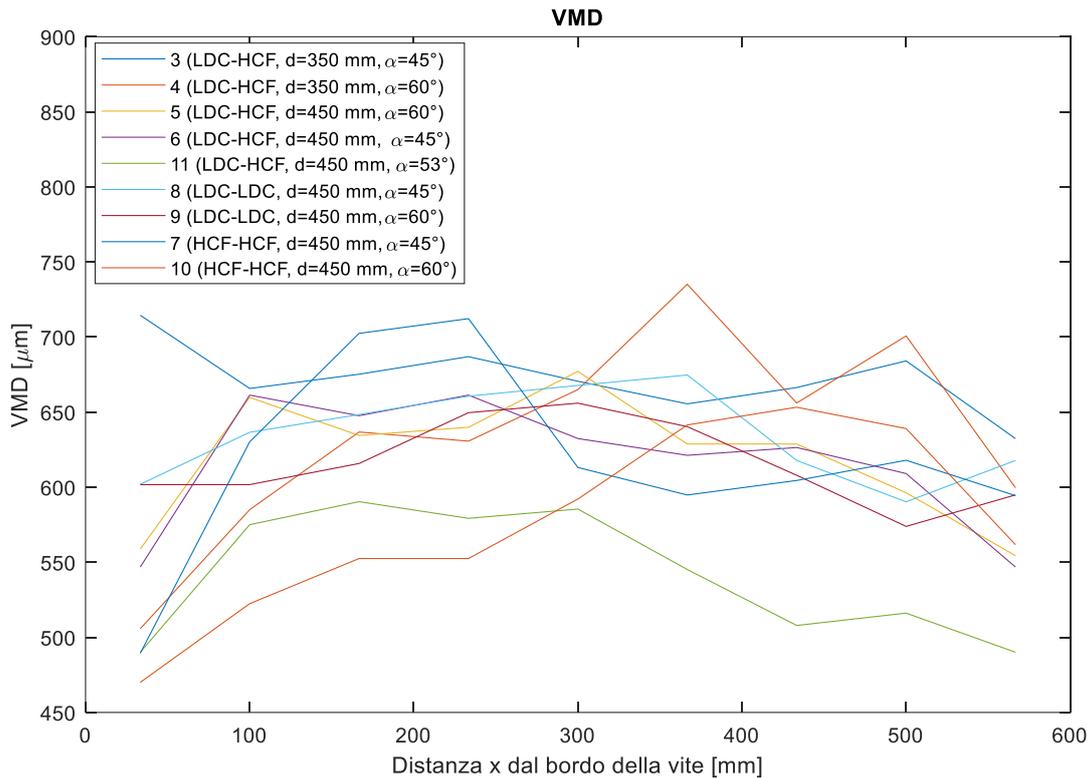


Figura 6.39 – Confronto prove orizzontali, VMD, dettaglio

In figura 6.40 è riportato il confronto tra tutti i valori di area di copertura ottenuti dalle prove su foglio orizzontale riportate nei precedenti paragrafi.

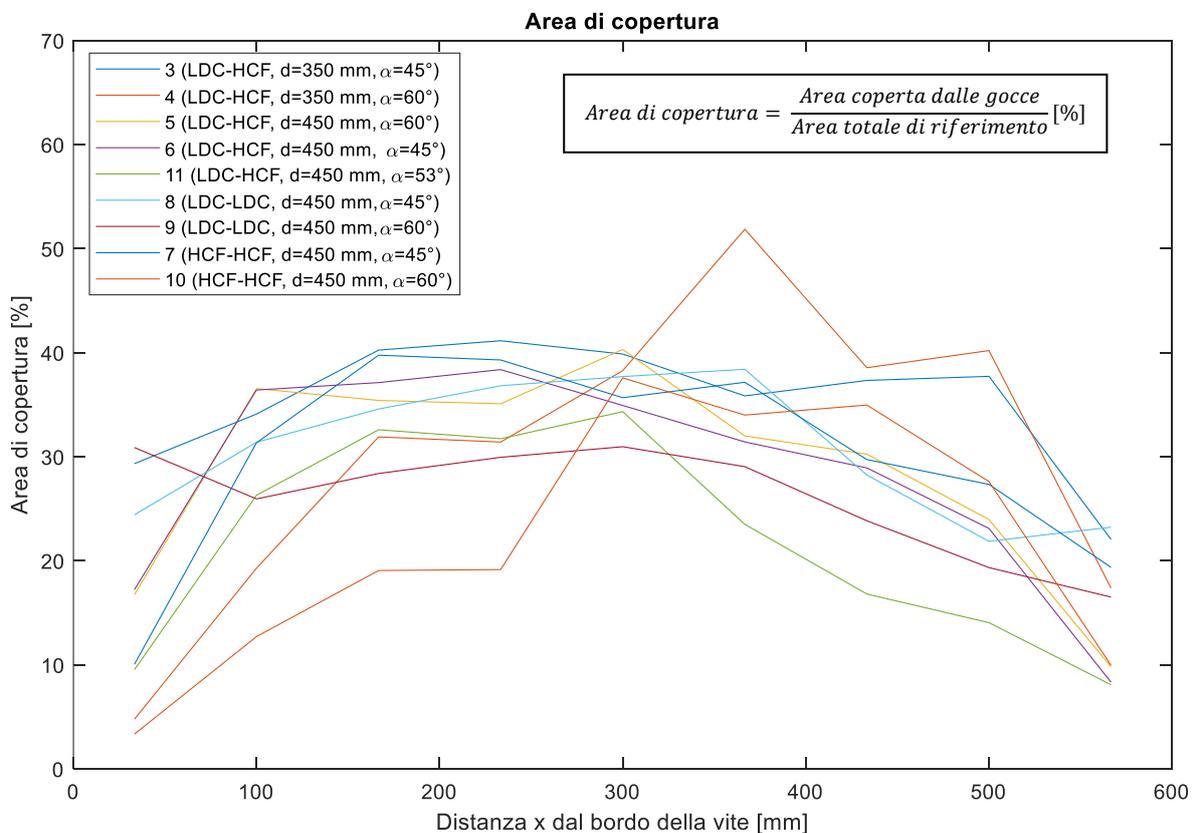


Figura 6.40 – Area di copertura, confronto prove orizzontali

In figura 6.41 è riportato il confronto tra tutti i valori di densità di gocce ottenuti dalle prove su foglio orizzontale riportate nei precedenti paragrafi.

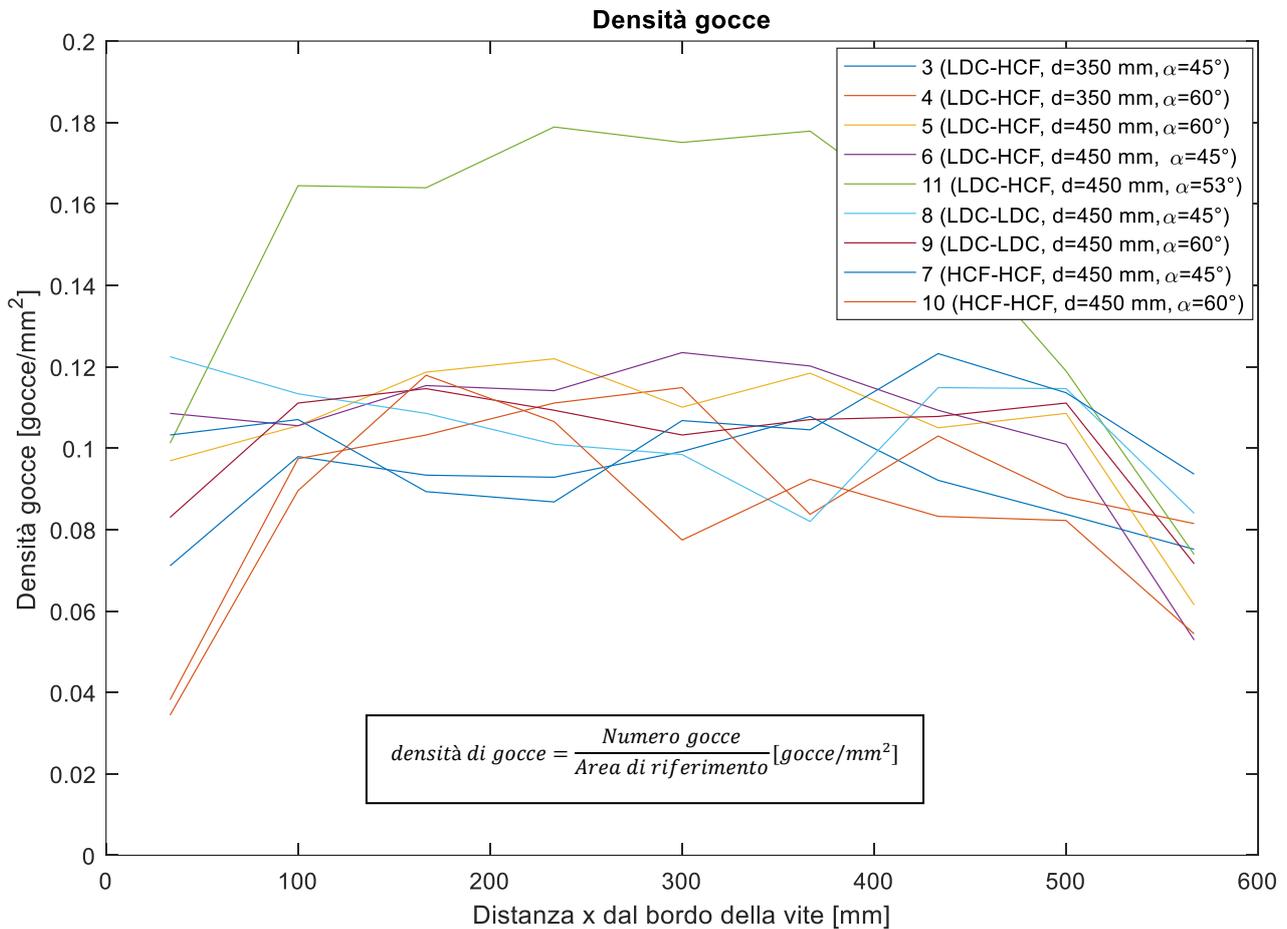


Figura 6.41 – Densità gocce, confronto prove orizzontali

Nelle figure 6.38, 6.39, 6.40 e 6.41 sono riportati gli andamenti di VMD, area di copertura e densità delle gocce calcolati a partire dai fogli orizzontali delle prove con simulatore di vigneto. Valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza riguardo alla variabilità dei risultati. In questo caso, trascurando la prova 11 nella quale è ragionevole pensare alla presenza di un disturbo che ha condizionato la prova, i risultati sono molto simili: anche variando l'ugello. Sebbene i valori siano pressappoco gli stessi per le due tipologie di ugello si può osservare una differenza sull'andamento, infatti, nelle prove con ugello a ventaglio non si manifesta il crollo dei valori agli estremi che invece si manifesta con gli ugelli a cono. Fa eccezione a quanto detto la prova 3 dove il guadagno in termini di copertura è dovuto al getto proveniente dall'ugello a 45°.

## 6.8 Tabelle riassuntive prove con tre ugelli

In quest'ultimo paragrafo del capitolo 6 si è scelto di riportare alcune tabelle riassuntive che raccolgono i valori calcolati durante l'attività sperimentale, in modo che siano facilmente consultabili dall'utente finale. Sono dunque riportate tre tabelle: la prima tabella riporta tutti i parametri imposti durante l'esecuzione delle prove eseguite con circuito a tre ugelli su simulatore di vigneto, la seconda raccoglie i valori ricavati dalle prove sul foglio verticale del simulatore di vigneto e la terza tabella raccoglie i valori ricavati dalle prove sul foglio orizzontale. In figura 6.42 è riportato lo schema che permette di interpretare le quote riportate in tabella 14.

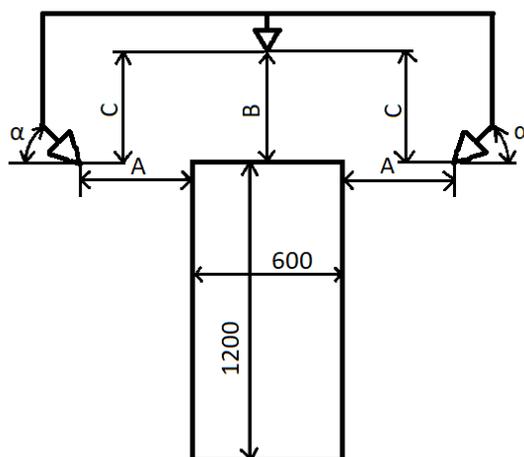


Figura 6.42 – Schema di riferimento per le quote

### 6.8.1 Prove

In tabella 14 sono riportati i valori dei parametri di prova impostati per ogni prova eseguita con circuito a tre ugelli su simulatore di vigneto. Come si può osservare tutte le prove sono state eseguite con una pressione di alimentazione di 3 bar. Questa scelta è stata fatta per sfruttare al meglio i due ugelli utilizzati compatibilmente con le pressioni ottenibili dal circuito di alimentazione.

Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
1	LDC11001	HCF80015	45°	0,47 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm
2	LDC11001	HCF80015	45°	0,51 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm
3	LDC11001	HCF80015	45°	0,9 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm
4	LDC11001	HCF80015	60°	0,6 s	3 bar	350 mm	450 mm	450 mm
5	LDC11001	HCF80015	60°	0,45 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm
6	LDC11001	HCF80015	45°	0,65 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm
7	HCF80015	HCF80015	45°	0,45 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm
8	LDC11001	LDC11001	45°	0,36 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm
9	LDC11001	LDC11001	53°	0,39 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm
10	HCF80015	HCF80015	60°	0,30 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm
11	LDC11001	HCF80015	53°	0,60 s	3 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Tabella 14 – Valori parametri di prova, prove con circuito a tre ugelli e simulatore di vigneto

\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale ed il foglio verticale come indicato in figura 6.42

### 6.8.2 Risultati delle prove su foglio verticale

In tabella 15 sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi delle prove su foglio verticale ricavate dagli esperimenti con circuito a tre ugelli su simulatore di vigneto. Si riportano per ogni prova i valori massimo, minimo e medio di VMD, area di copertura e densità di gocce. Si ritiene utile valutare, per ogni parametro calcolato, il valore massimo, minimo e medio, in quanto: il valore medio può servire a comprendere le prestazioni generali del getto, il valore massimo può essere utile per evitare l'eccessiva concentrazione del fitosanitario nelle aree di più alta concentrazione ed il valore minimo per garantire una certa copertura in tutte le zone del getto, per quanto riguarda i valori di area di copertura, e controllare il fenomeno della deriva, per quanto riguarda i valori di VMD.

NOME PROVA	VMD [ $\mu\text{m}$ ]				AREA DI COPERTURA [-]			DENSITÀ GOCCE [Gocce/ $\text{mm}^2$ ]		
	Catalogo**	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media
1	F	714,4	495,2	556,7	0,372	0,024	0,151	0,092	0,025	0,051
2	F	690,9	488,5	561,7	0,355	0,026	0,168	0,102	0,023	0,065
3	Solo orizzontale									
4	F	705,1	475,7	576,0	0,533	0,026	0,203	0,105	0,023	0,057
5	F	786,7	492,4	572,6	0,436	0,017	0,166	0,147	0,0175	0,070
6	F	744,0	483,9	624,0	0,513	0,051	0,239	0,062	0,022	0,046
7	F	726,7	481,2	582,4	0,399	0,011	0,159	0,071	0,008	0,038
8	F	730,3	496,3	620,3	0,468	0,019	0,209	0,070	0,020	0,046
9	F	694,2	500,1	572,0	0,418	0,032	0,155	0,142	0,021	0,053
10	F	641,4	464,8	549,8	0,304	0,012	0,127	0,133	0,011	0,059
11	F	686,5	455,4	571,1	0,399	0,021	0,1839	0,144	0,029	0,076

Tabella 15 – Risultati delle prove su foglio verticale

\*\*Secondo ASABE 572.1

### 6.8.3 Risultati delle prove su foglio orizzontale

In tabella 16 sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi delle prove su foglio orizzontale ricavate dagli esperimenti con circuito a tre ugelli su simulatore di vigneto. Si riportano per ogni prova i valori massimo, minimo e medio di VMD, area di copertura e densità di gocce. Valgono le stesse considerazioni espresse per i risultati delle prove su foglio verticale.

NOME PROVA	VMD [ $\mu\text{m}$ ]				AREA DI COPERTURA [-]			DENSITÀ GOCCE [Gocce/ $\text{mm}^2$ ]		
	Catalogo**	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media
1	Solo verticale									
2	Solo verticale									
3	F	714,5	632,4	672,4	0,411	0,220	0,353	0,108	0,071	0,090
4	F	735,1	505,8	635,0	0,519	0,048	0,304	0,115	0,038	0,091
5	F	677,1	554,4	619,8	0,403	0,098	0,289	0,122	0,062	0,105
6	F	661,3	546,8	617,0	0,384	0,083	0,284	0,124	0,053	0,106
7	F	712,3	489,4	617,7	0,398	0,100	0,300	0,123	0,087	0,103
8	F	674,7	590,3	635,1	0,384	0,218	0,307	0,123	0,082	0,104
9	F	656,0	573,9	615,8	0,310	0,165	0,261	0,115	0,072	0,102
10	F	653,3	470,0	576,1	0,376	0,033	0,220	0,118	0,034	0,082
11	F	590,4	490,1	542,2	0,343	0,081	0,219	0,179	0,074	0,146

Tabella 16 - Risultati delle prove su foglio orizzontale

\*\*Secondo ASABE 572.1

## Capitolo 7 : Differenze tra analisi dati singolo ugello e analisi dati simulatore di vigneto

Nei capitoli 5 e 6 sono state analizzate le prove a singolo ugello su foglio verticale e le prove a tre ugelli con simulatore di vigneto. Siccome tra i due capitoli vi sono molte differenze, anche in merito allo scopo, alle modalità di prova e ai metodi di calcolo ed esposizione dei risultati, si è ritenuto necessario dedicare un capitolo a tali differenze.

### 7.1 Scopo

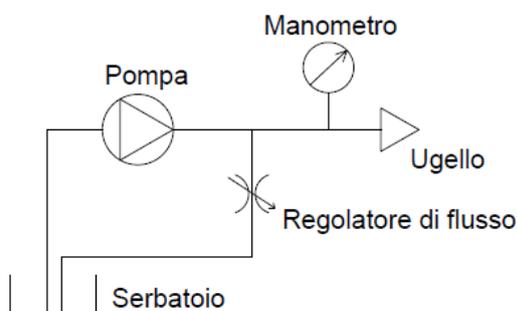
Le prove con singolo ugello su foglio verticale hanno principalmente lo scopo di essere confrontate con le prove a singolo ugello su foglio orizzontale realizzate da Antonio Conte [6], per questo motivo si è scelto di utilizzare i tre diversi metodi per la valutazione del VMD denominati VMD\_I, VMD\_II, VMD\_III nel capitolo 5. Sempre per rimanere il più possibile aderenti al lavoro di Conte si è scelto di realizzare i grafici con Excel®. In generale le prove a singolo ugello hanno lo scopo di caratterizzare l'impronta del getto di un singolo ugello su foglio orizzontale o verticale.

Le prove con simulatore di vigneto hanno invece lo scopo di osservare ed analizzare l'impronta del getto su superfici che simulano in maniera semplificata una vite, tenendo conto anche dell'interazione dei getti provenienti dai diversi ugelli. Il getto è generato da un circuito a tre ugelli del tutto simile a quello che sarà caricato sul drone. La maggiore complessità del circuito è un altro motivo per cui si rende necessario eseguire questo tipo di prove non ritenendo del tutto realistici i risultati delle prove realizzate con circuito a singolo ugello.

### 7.2 Differenze sul circuito e modalità di prova

In tabella 17 è rappresentato il confronto dello schema circuitale dei circuiti utilizzati per le prove a singolo ugello e a tre ugelli: si può notare che il circuito è lo stesso, l'unica differenza sta nel diverso numero di ugelli collegati ad esso. La presenza di tre ugelli anziché uno comporta un notevole incremento della portata uscente dal circuito e di conseguenza influenza notevolmente le pressioni. Durante l'esecuzione delle prove con circuito a tre ugelli, infatti, tutti e tre gli ugelli spruzzavano contemporaneamente, anche se, per risparmiare carta e per semplicità di esecuzione della prova, si è scelto che solo due ugelli spruzzassero sui fogli (ugello diretto sul foglio orizzontale ed uno dei due verticali), il getto del terzo ugello è stato convogliato e rimandato al serbatoio.

**Circuito 1 ugello**



**Circuito 3 ugelli**

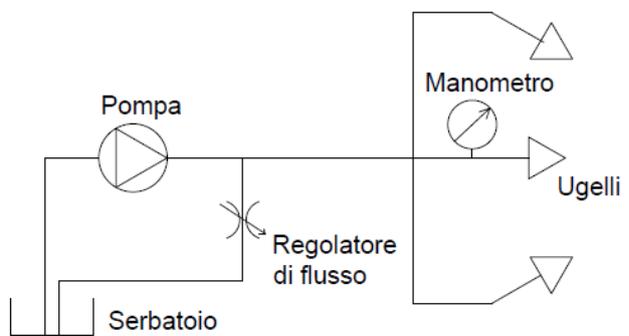


Tabella 17 – Confronto schema circuito con un ugello e circuito con tre ugelli

Le modalità di prova sono simili ma nel caso di prova con simulatore di vigneto si ottengono due fogli (uno verticale e uno orizzontale) che costituiscono insieme una prova. Quando possibile si è cercato di indicare un solo tempo di prova per i due fogli, ma è probabile che in realtà vi siano differenze tra i tempi di prova effettivi.

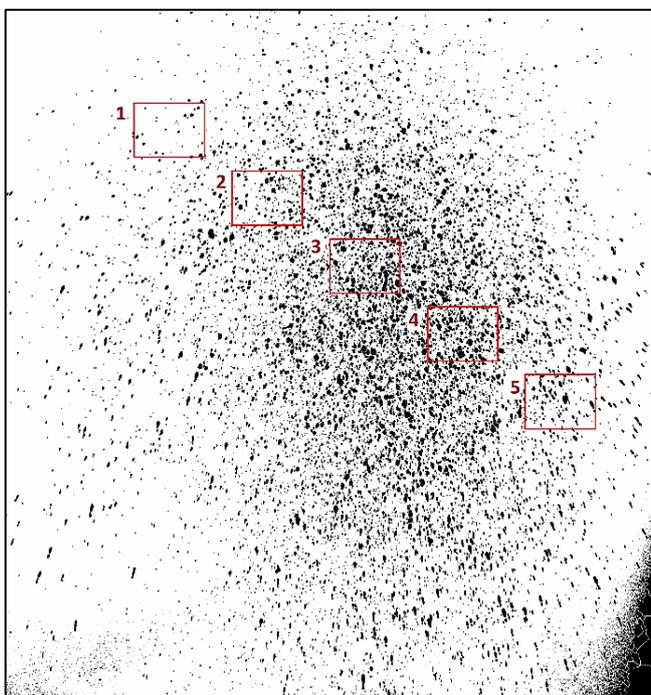
### 7.3 Differenze nei calcoli e sull'esposizione dei risultati

La principale differenza tra l'analisi delle prove a ugello singolo e l'analisi delle prove eseguite con simulatore di vigneto sta nella **scelta delle selezioni da analizzare**. Nel caso di ugello singolo, infatti, non è stata fatta una vera e propria mappatura ma sono state selezionate delle **aree più o meno casuali** per osservare come variano i parametri nelle diverse zone del getto, non solo sull'asse. Nel caso di prove con simulatore di vigneto è stata eseguita invece una **mappatura sull'asse della prova**, in modo da osservare come variano i parametri del getto alle diverse altezze della vite. La differenza tra le selezioni scelte è ben visibile nel confronto di tabella 18.

Un'altra differenza riguarda l'esposizione dei risultati: i risultati delle prove eseguite con singolo ugello sono riportate singolarmente, mentre i risultati delle prove eseguite con simulatore di vigneto sono stati riportati sovrapposti a quelli di altre prove, in modo da comprendere come varia il getto al variare di determinati parametri come l'angolo di inclinazione dell'ugello e la distanza ugello-foglio.

Infine, mentre per le prove a singolo ugello è stato utilizzato Excel® per effettuare i calcoli e realizzare i grafici, per le prove con simulatore di vigneto si è scelto di usare Matlab® per calcoli e grafici.

#### Selezioni prova singolo ugello



#### Selezioni prova verticale ottenuta con simulatore di vigneto

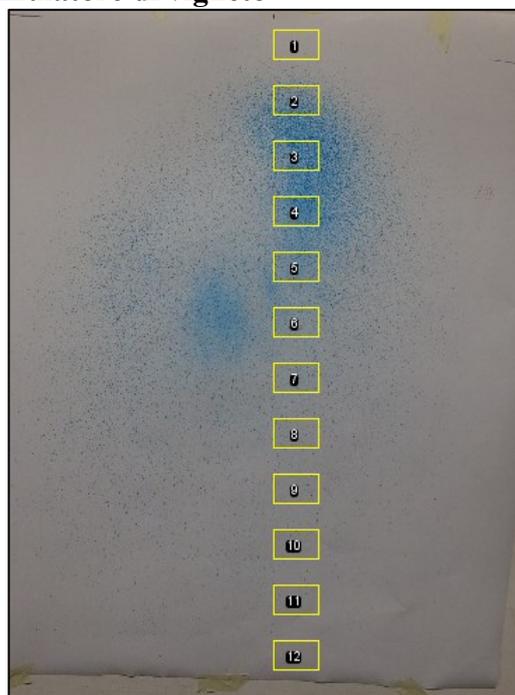


Tabella 18 – Confronto selezioni prova singolo ugello e prova con simulatore di vigneto

## Capitolo 8 : Studio del serbatoio anti-sloshing

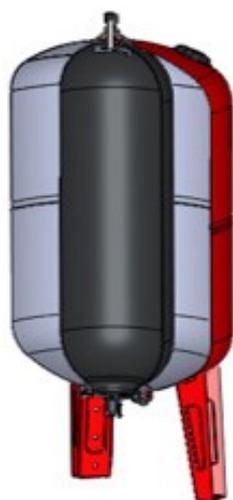
Tra i problemi che si riscontrano nella prova in campo aperto di droni per l'irrorazione, uno dei più rilevanti è quello dell'instabilità dovuta a moti di sciabordio del liquido all'interno dei serbatoi. I sistemi di controllo del drone, infatti, spesso non sono in grado di compensare il moto di sloshing. Si richiede dunque una soluzione tecnologica a livello di serbatoio che consenta di limitare al minimo il moto di sciabordio in modo da aumentare la stabilità del drone. Tradizionalmente a questo scopo sono utilizzati serbatoi a paratie. All'interno di questo lavoro verrà invece testato l'utilizzo di un **vaso d'espansione come serbatoio anti-sloshing**. In questo modo, nelle intenzioni del progetto, oltre a limitare il moto di sciabordio, è possibile rimuovere la pompa dal drone, risparmiando peso e batteria.

### 8.1 Il serbatoio anti-sciabordio: vaso di espansione

Come riportato nella premessa, l'idea alla base di questo progetto è quella di utilizzare un vaso di espansione come serbatoio anti-sloshing. I vasi d'espansione sono dei dispositivi atti alla compensazione dell'aumento di volume dell'acqua dovuto all'innalzamento della temperatura della stessa, sia negli impianti di riscaldamento che in quelli di produzione di acqua calda sanitaria [13]. Essi vengono utilizzati anche negli impianti di distribuzione idrosanitari come autoclavi, ossia vengono caricati di fluido in pressione dalla pompa per poi rilasciarlo gradualmente, in base alla richiesta delle utenze, evitando l'attacca-stacca della pompa stessa. Il vaso di espansione chiuso a membrana è costituito da un contenitore chiuso suddiviso in due parti da una membrana che separa l'acqua dal gas, solitamente azoto o aria compressa. Quando il liquido in pressione entra nel vaso il gas si comprime aumentando di pressione. Quando invece il liquido è libero di uscire dal vaso, il gas, spingendo il liquido fuori dal serbatoio, si espande riducendo la sua pressione.

L'idea che ha portato alla scelta di questi dispositivi come serbatoi anti-sloshing si basa sull'ipotesi che il fluido, confinato all'interno della membrana e tenuto in pressione dal gas, sia meno libero di muoversi e dunque presenti un minor moto di sciabordio, rispetto ai serbatoi tradizionali.

Vaso a Membrana



Vaso a Diaframma



Figura 8.1 – Vasi di espansione a membrana e a diaframma.

Fonte: Varem S.p.A., Linea sollevamento acqua.

Le principali specifiche tecniche che caratterizzano un vaso di espansione sono:

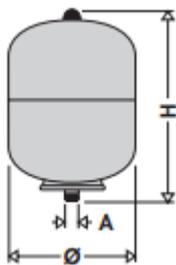
- Tipologia di vaso: le più comuni sono *vaso a membrana* e *vaso a diaframma*. Vedi figura 8.1.
- Capacità: volume del vaso misurato in litri.
- Pressione massima di esercizio, di solito espressa in bar.
- Pressione di precarica del gas, di solito espressa in bar. Nella maggior parte dei casi la pressione di precarica è modificabile dall'utente.
- Altro (materiali, massa, temperature di utilizzo, fluido di utilizzo, attacchi, ecc...)

Il dispositivo che è stato utilizzato nella fase sperimentale è un vaso di espansione Caleffi, della serie 5557. Le principali specifiche tecniche sono riportate in tabella 19, la tabella 20 riporta invece masse e ingombri del dispositivo.



CODICE	CAPACITÀ [L]	TIPOLOGIA	PRESSIONE MASSIMA DI ESERCIZIO [bar]	PRESSIONE DI PRECARICA [bar]
555708	8	Membrana	10	2,5 modificabile

Tabella 19 – Specifiche tecniche vaso di espansione [13]



CODICE	MASSA [kg]	ATTACCO	DIAMETRO Ø	ALTEZZA H
555708	2,1	3/4"	230	305

Tabella 20 – Masse e ingombri vaso di espansione [13]

## 8.2 Circuito di prova serbatoio anti-sloshing

Per testare il vaso di espansione come serbatoio anti-sloshing è stato costruito un circuito ad hoc. In figura 8.2 è riportata la messa in tavola del circuito con bollatura dei componenti. Il circuito di figura 8.2 è collegato tramite tubo in gomma alla pompa (la stessa *Remco F2133031E1* utilizzata per i circuiti precedenti) nel lato dell'adattatore da 5/8" (12) e, sempre tramite tubo in gomma, agli ugelli nel lato dell'adattatore da 1/2" (9). Il circuito è provvisto di due valvole di intercettazione (4) che permettono di isolare il serbatoio dalla pompa e dagli ugelli. Il serbatoio è direttamente collegato ad una valvola di sfogo (7) per far uscire l'aria eventualmente intrappolata nel circuito e per scaricare rapidamente il serbatoio. A valle del serbatoio è presente un riduttore di pressione (6) che permette di regolare la pressione diretta verso gli ugelli disaccoppiando la pressione in uscita dal vaso con la pressione a monte degli ugelli. Il tubo flessibile (13) è stato aggiunto per poter effettuare le prove di scuotimento del serbatoio (vedi paragrafo *Prova di scuotimento del serbatoio*). Il manometro (14) è stato posto il più vicino possibile all'uscita del vaso per monitorare la pressione all'interno del serbatoio. In figura 8.3 è riportato il modello 3D del circuito.

16	Tubo collegamento manometro	1
15	Attacco rapido pneumatico	2
14	Manometro	1
13	Tubo flessibile di collegamento	1
12	Adattatore tubo 5/8"-1/2"M	3
11	Adattatore 1/2"M-1/4"F	3
10	Attacco per trasduttore di pressione	2
9	Adattatore tubo 1/2"-1/2"M	1
8	Raccordo a T 1/2"F	3
7	Valvola di sfogo aria 1/2"	1
6	Riduttore di pressione 1/2"	1
5	Segmento di tubo filettato 1/2"	5
4	Valvola di intercettazione 1/2" F-F	2
3	Adattatore 1/2"M- 3/4"F	1
2	Raccordo a croce 1/2"F	1
1	Vaso di espansione	1
N.	Descrizione	Q

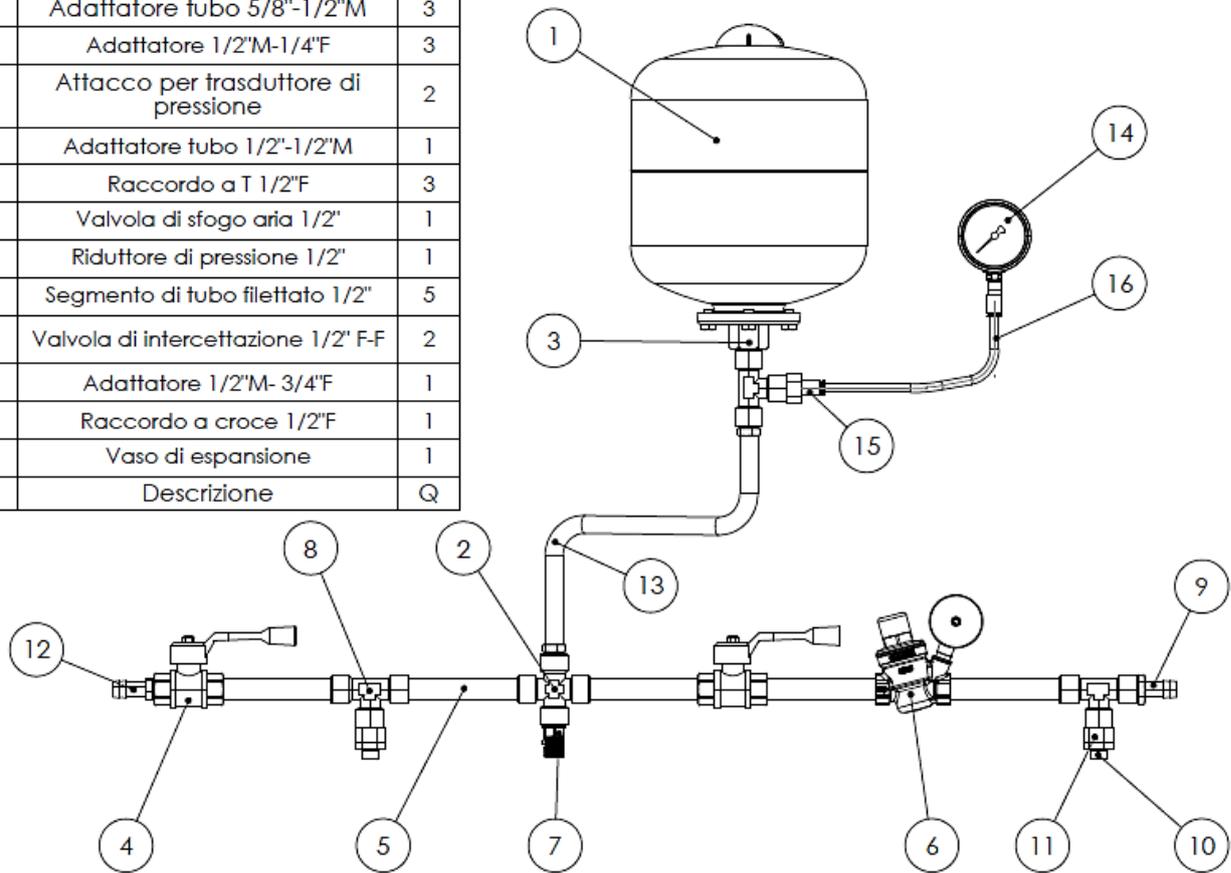


Figura 8.2 – Messa in tavola del circuito di prova serbatoio anti-sloshing con bollatura

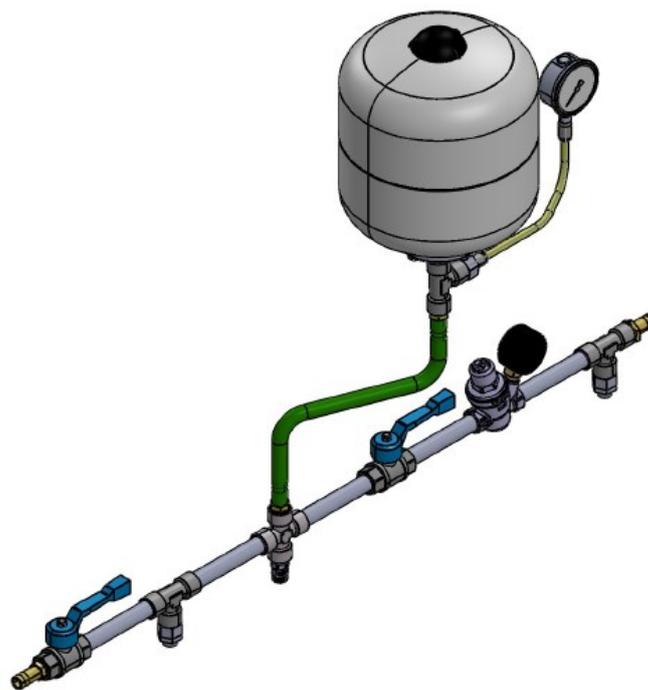


Figura 8.3 – Modello 3D, circuito di prova serbatoio anti-sloshing

### 8.3 Prova di scuotimento del serbatoio

Per testare le capacità anti-sciabordio del serbatoio è stata eseguita una prova di scuotimento. La prova di scuotimento consiste essenzialmente nel prendere in mano il serbatoio semipieno e scuoterlo in modo da percepire la reazione del liquido allo scuotimento. Si tratta ovviamente di una prova qualitativa ma è molto utile per farsi un'idea del comportamento del liquido nel serbatoio a seguito di uno stimolo esterno. Nel caso in esame, infatti, scuotendo il serbatoio è facile rendersi conto che **la membrana piena di liquido si muove all'interno dell'involucro metallico sbattendo sulle pareti**. La membrana interna del serbatoio, infatti, non è vincolata se non alla flangia del vaso, come si può osservare nello spaccato di figura 8.4, essa è quindi libera di muoversi all'interno del vaso. Risulta quindi evidente che **il modello di vaso d'espansione testato non è adatto ad essere utilizzato come serbatoio anti-sloshing**. Le possibili soluzioni proposte per risolvere il problema del movimento interno della membrana di liquido sono proposte nel capitolo 10.

Sebbene la prova di scuotimento non abbia dato i risultati sperati sono state comunque effettuate altre prove sul serbatoio, nella speranza che il problema, legato al movimento della membrana piena di liquido nel vaso, sia risolvibile senza dover rinunciare all'idea di utilizzare un vaso d'espansione come serbatoio anti-sloshing.



Figura 8.4 – Spaccato vaso d'espansione. Fonte: <https://www.cimmspa.com>

### 8.4 Prove di svuotamento del serbatoio

Perché il sistema di irrorazione sia efficace è necessario che il serbatoio garantisca di poter erogare una certa portata di liquido alla pressione richiesta dagli ugelli. È inoltre necessario che il serbatoio sia in grado di contenere un volume sufficiente di liquido in modo da garantire una certa autonomia del sistema evitando una troppo frequente necessità di rifornimento. Per questo motivo sono stati eseguiti dei test di svuotamento del serbatoio. Le prove sono state eseguite dapprima con un solo ugello, dopodiché sono state eseguite prove con tre ugelli.

#### 8.4.1 Prove di svuotamento con singolo ugello

Per le prove di svuotamento del serbatoio con singolo ugello è stato usato il circuito descritto nel paragrafo *Circuito di prova serbatoio anti-sloshing*, di cui è riportata una fotografia in figura 8.5. Il fluido utilizzato per le prove è acqua.



Figura 8.5 – Circuito prova serbatoio anti-sloshing con un ugello

Il sistema con singolo ugello è stato utilizzato per delle semplici prove di riempimento e svuotamento del serbatoio a pressione di precarica nulla e per valutare il tempo di svuotamento partendo da una pressione di 4,3 bar. In seguito, si è preferito virare su di un sistema a tre ugelli, più rappresentativo del sistema finale.

##### 8.4.1.1 Prova di riempimento e svuotamento

La prova di riempimento e svuotamento del serbatoio è stata eseguita per caratterizzare il serbatoio in termini di volume e pressione. Il serbatoio, inizialmente vuoto, è stato riempito fino a contenere sei litri di acqua. La pressione è stata misurata ad ogni mezzo litro di acqua inserito nel serbatoio. Una volta pieno, il serbatoio, è stato svuotato ripetendo le misure. In questo modo è possibile costruire il diagramma di figura 8.6. La pressione di precarica lato aria è stata posta a zero ad inizio test. Non essendo stata tenuta traccia del tempo la prova dovrebbe essere indipendente dall'ugello utilizzato, in ogni caso si trattava di un ugello a ventaglio WRC110015 con riduttore di pressione regolato a 2 bar.

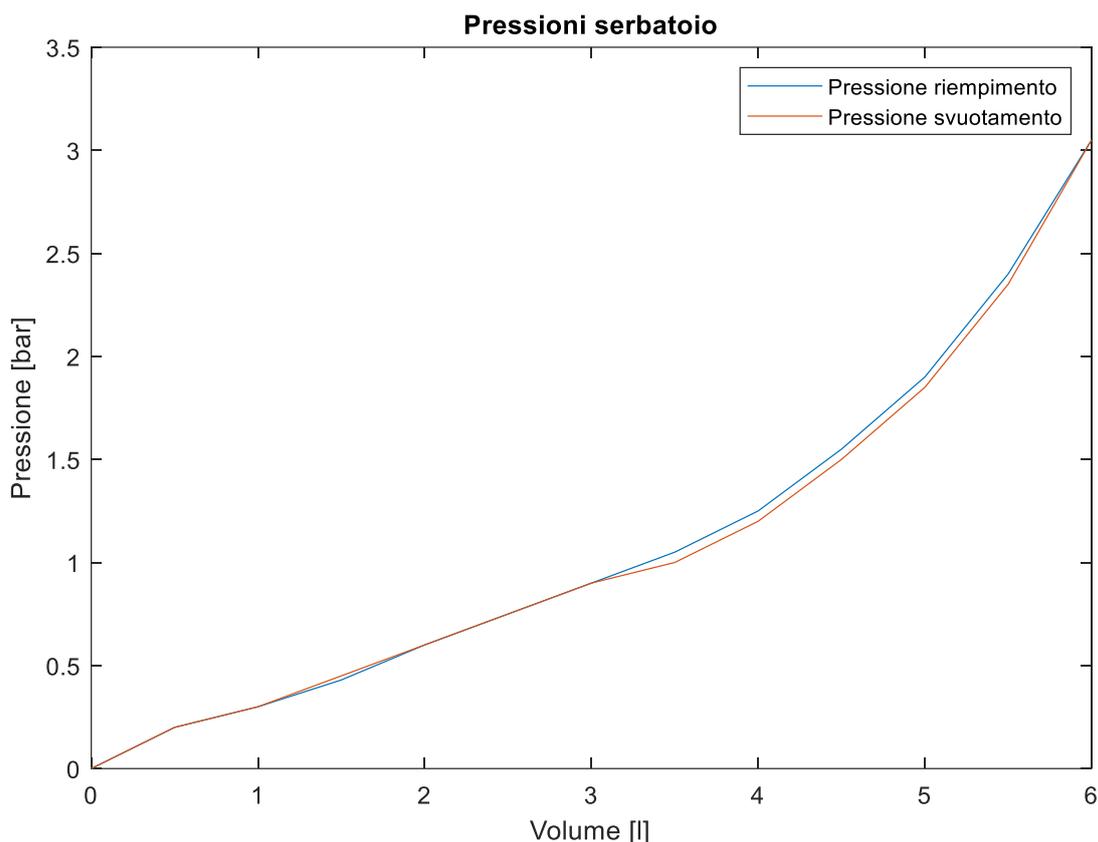


Figura 8.6 – Prove di riempimento e svuotamento del sistema

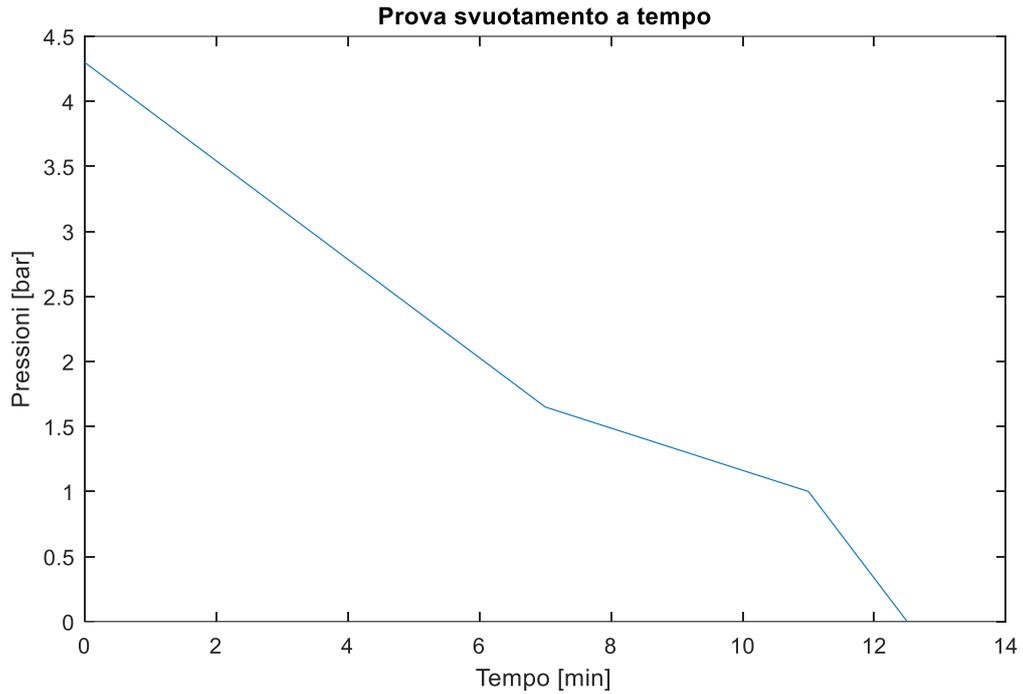
In figura 8.6 sono riportati in forma grafica i risultati della prova di riempimento e svuotamento. I risultati di queste prove mostrano come varia la pressione all'interno del serbatoio al variare del volume di liquido inserito in esso. I risultati di questa prova sono stati utilizzati anche per verificare la correttezza del modello matematico che descrive l'andamento volume-pressione del liquido nel serbatoio, la trattazione di questo argomento è riportata nel paragrafo *Modello matematico*.

#### 8.4.1.2 Prova di svuotamento a tempo

La prova di svuotamento a tempo è stata eseguita per valutare i tempi di svuotamento del serbatoio tramite un solo ugello. Si tratta di una prova qualitativa e poco rilevante ai fini del progetto. Si riporta per completezza. I dati di partenza sono i seguenti:

- Volume di liquido nel serbatoio: 5 litri.
- Pressione iniziale liquido: 4,3 bar. (La pressione è stata portata a 4,3 bar modificando la pressione di precarica del gas con un compressore dopo che il serbatoio è stato riempito).
- Ugello a ventaglio WRC110015.
- Pressione di regolazione riduttore di pressione: 2 bar.

I risultati ottenuti dalla prova di svuotamento sono riportati in figura 8.7, purtroppo durante l'esecuzione della prova sono stati presi pochi punti; quindi, la curva che si ottiene è poco dettagliata. In ogni caso possiamo osservare che un sistema a singolo ugello, con ugello a ventaglio WRC110015 alimentato a 2 bar, impiega più di 12 minuti a svuotare completamente il serbatoio, una buona parte del tempo però è stata usata per erogare liquido ad una pressione inferiore a 2 bar e quindi troppo bassa per alimentare correttamente l'ugello.



*Figura 8.7 – Prova di svuotamento a tempo*

#### 8.4.2 Prove di svuotamento con sistema a tre ugelli

Anche nel caso delle prove di svuotamento del serbatoio con sistema a tre ugelli è stato usato il circuito descritto nel paragrafo *Circuito di prova serbatoio anti-sloshing* a cui sono stati aggiunti tre ugelli anziché uno. Una fotografia del circuito utilizzato con i tre ugelli è riportata in figura 8.8.



*Figura 8.8 – Circuito prova serbatoio anti-sloshing con tre ugelli*

Le prove sperimentali con tre ugelli sono state eseguite secondo la seguente procedura:

1. Si regola il riduttore di pressione, posto tra il serbatoio e l'ugello, alla pressione desiderata.
2. Si riempie il serbatoio di una quantità nota di acqua.
3. Usando un compressore, si regola la pressione all'interno del vaso d'espansione, attraverso la valvola di precarica dell'aria compressa.
4. Si dispone un contenitore graduato in modo che raccolga il liquido erogato dagli ugelli.
5. Si apre la valvola a sfera posta tra il serbatoio e gli ugelli. A questo punto gli ugelli cominciano a irrorare acqua.
6. Si chiude il circuito ogni volta che la pressione nel vaso raggiunge un valore prefissato (ad esempio ogni 0,5 bar), intanto si tiene traccia del tempo impiegato.
7. Si misura il volume erogato dal sistema tramite il contenitore graduato.
8. Si ripetono le fasi 5, 6 e 7 fino a completo svuotamento del serbatoio (pressione relativa del liquido = 0 bar)

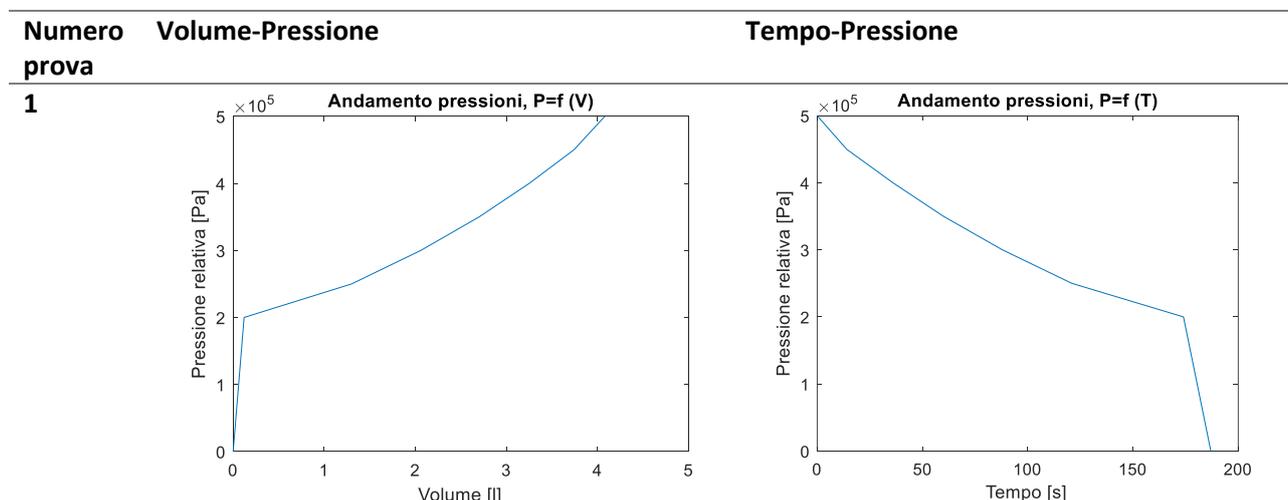
I risultati delle prove, in termini di pressione, volume e tempo, sono stati riportati su tre colonne di un documento di testo per essere facilmente letti da uno script Matlab®.

Sono state eseguite cinque diverse prove in condizioni differenti. I parametri fondamentali delle prove sono riportati in tabella 21.

Numero prova	Pressione iniziale [bar]	Volume scaricato [l]	Ugelli utilizzati	Pressione di regolazione [bar]	Tempo svuotamento [s]
1	5	4,08	3 x WRC110015	2	187
2	5	4,00	3 x WRC110015	2	185
3	5	5,30	3 x WRC110015	2	265
4	5	5,35	3 x WRC110015	2	267
5	5	3,07	2 x LDC11001 + 1 HCF80015	3	138

Tabella 21 – Prove di svuotamento tre ugelli, parametri fondamentali

In tabella 22 sono rappresentati i diagrammi volume-pressione e tempo-pressione ricavati dalle prove di svuotamento con sistema a tre ugelli. I valori di pressione e volume sono riferiti al liquido.



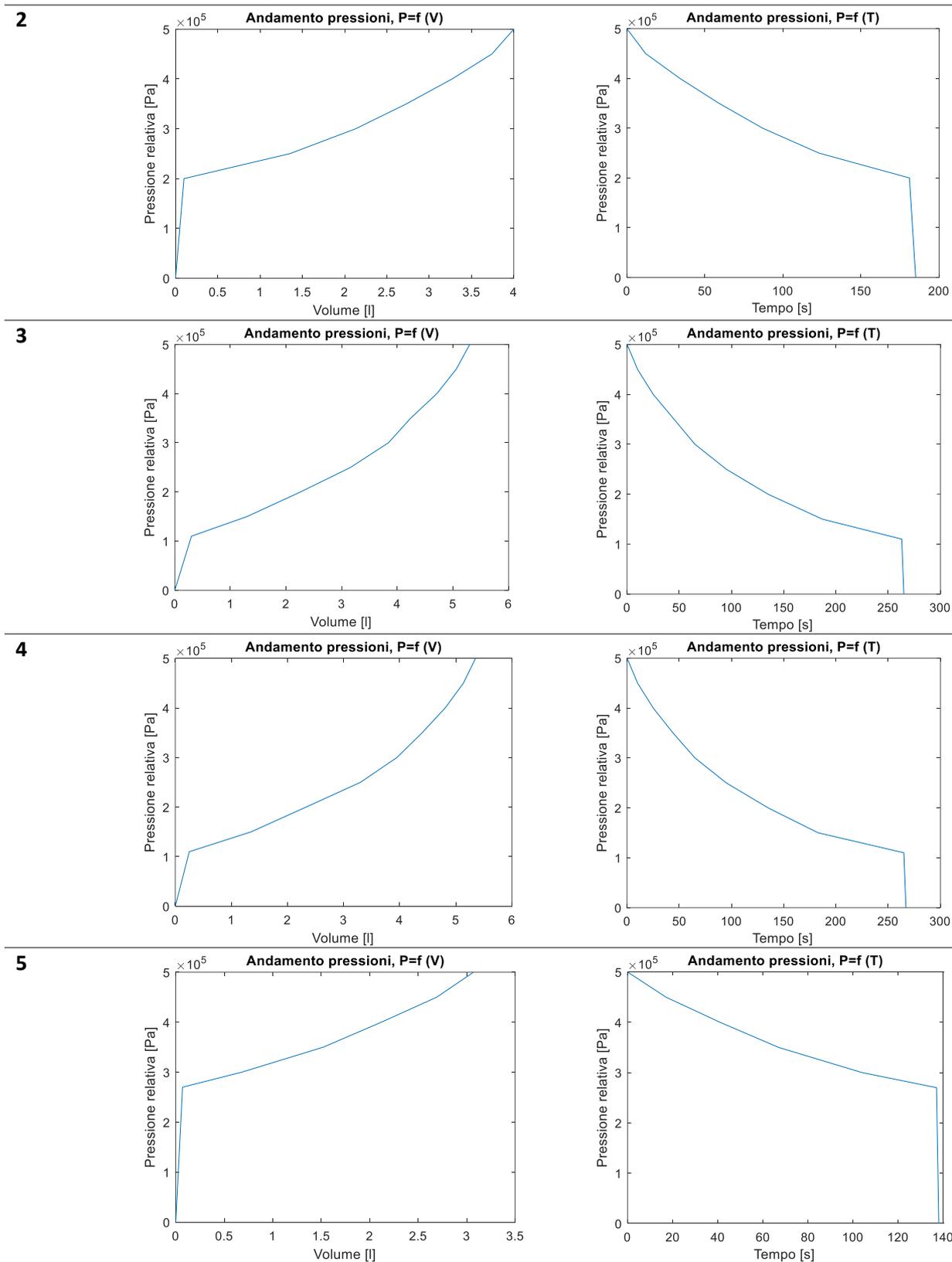


Tabella 22 – Diagrammi volume-pressione e tempo-volume delle prove di svuotamento con sistema a tre ugelli

È importante segnalare che i valori di pressione e volume indicati nei diagrammi di tabella 22 si riferiscono al liquido. All'aumentare del volume di liquido nel serbatoio, infatti, diminuisce il volume occupato dal gas all'interno del serbatoio e quindi la pressione aumenta. L'aumento di pressione nel lato gas comporta un aumento di pressione anche nel lato liquido. È quindi giustificato l'aumento di pressione del liquido all'aumentare del volume, inserito nel serbatoio, del liquido stesso.

## 8.5 Modello matematico p-v

Introducendo alcune ipotesi semplificative, il problema dello svuotamento del serbatoio può essere descritto con un semplice modello matematico. Le ipotesi sono:

1. Perfetto equilibrio di pressioni tra il liquido e il gas (rigidezza trascurabile della membrana)
2. L'aria all'interno del serbatoio si comporta come un gas perfetto
3. L'espansione del gas all'interno del serbatoio è isoterma
4. Serbatoio rigido indeformabile.

La prima ipotesi si traduce in:

$$(1) p_{aria} = p_{acqua}$$

La quantità di aria contenuta all'interno del serbatoio non cambia durante l'esecuzione della prova; quindi, sfruttando le ipotesi 2 e 3, si può scrivere:

$$(2) p_{aria} \cdot V_{aria} = cost$$

Il volume complessivo del serbatoio non cambia durante la prova (ipotesi 4, serbatoio rigido), quindi:

$$(3) V_{aria} + V_{acqua} = V_{serbatoio} = cost$$

Utilizzando l'equazione (2) dell'espansione isoterma, conoscendo le condizioni di partenza è possibile calcolare la pressione nel gas in funzione del volume da esso occupato.

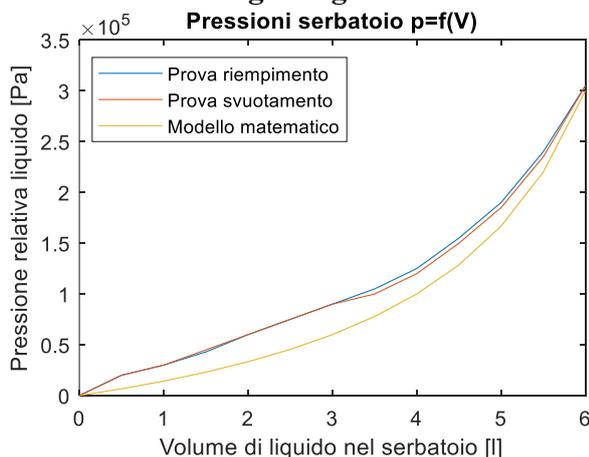
Il volume di gas all'interno del serbatoio è calcolabile a partire dal volume di liquido inserito nel componente, rielaborando l'equazione (3):

$$V_{aria} = V_{serbatoio} - V_{acqua}$$

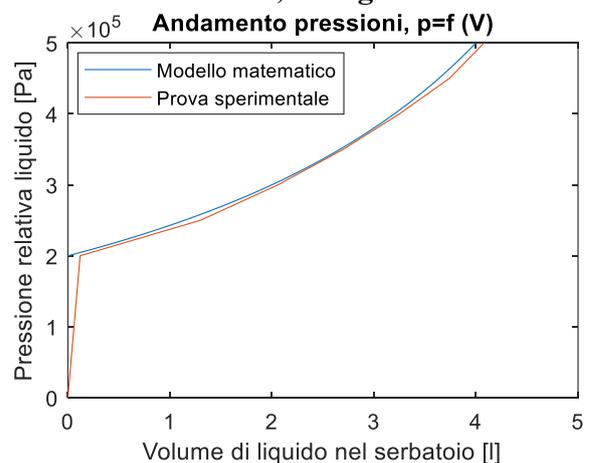
Sfruttando ancora la relazione (1) è quindi possibile calcolare la pressione nel serbatoio (sia lato liquido sia lato gas, dato che sono state supposte uguali) in funzione del volume di liquido inserito in esso.

Sfruttando queste relazioni sono stati prodotti i diagrammi riportati in tabella 23 indicati a legenda con *Modello matematico*. Come si può vedere dai grafici di tabella 23 i risultati ottenuti con il modello matematico seguono abbastanza fedelmente i valori ricavati sperimentalmente.

**Prova di riempimento e svuotamento con singolo ugello**



**Prova 1, tre ugelli**



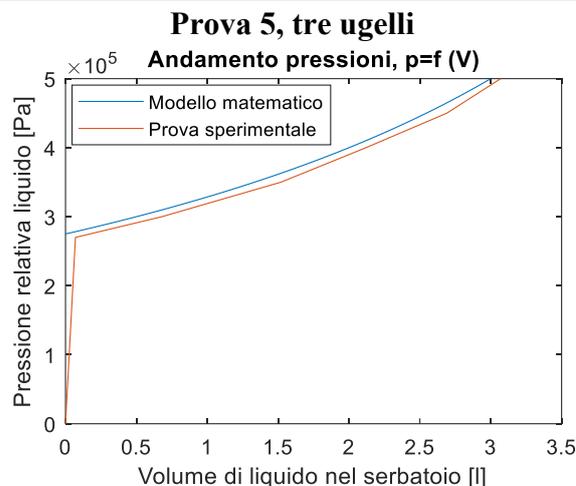
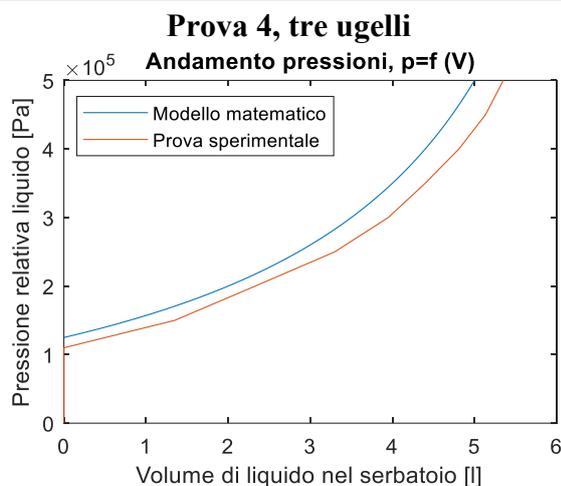
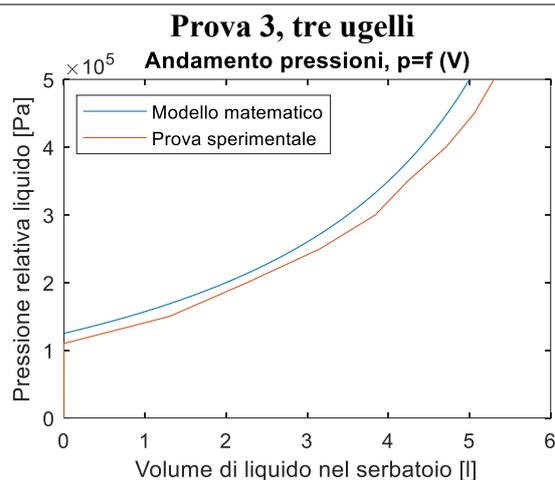
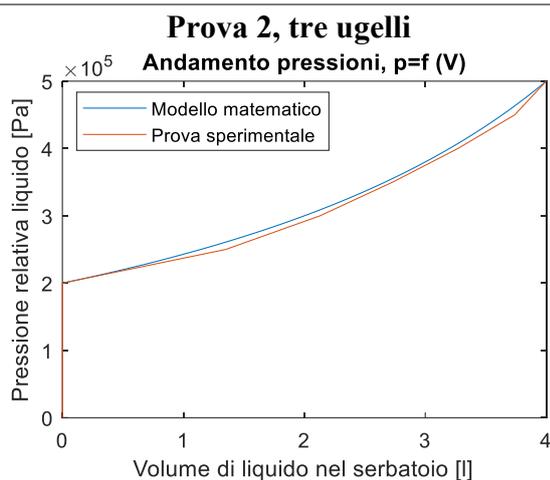


Tabella 23 – Confronto diagrammi sperimentali con il modello matematico

## 8.6 Simulazioni eseguite sfruttando il modello matematico

Come dimostrano i diagrammi riportati nel sottoparagrafo precedente, i risultati ottenuti con il modello matematico ricavato predicono abbastanza bene l'andamento sperimentale. Per questo motivo il modello matematico è stato utilizzato per eseguire alcune simulazioni di funzionamento del sistema. L'utilizzo del modello matematico, infatti, permette di variare anche alcuni parametri che non è possibile modificare in laboratorio, come la capacità del serbatoio e le pressioni massime raggiungibili. Ovviamente, trattandosi di un modello molto semplificato, i risultati ottenuti con il modello matematico non sono da ritenersi validi finché non siano verificati sperimentalmente. È comunque utile utilizzare il modello per effettuare alcune previsioni e per pianificare l'attività sperimentale. Il modello matematico è stato largamente utilizzato per ricavare i valori delle tabelle esposte nel paragrafo *Possibili configurazioni e soluzioni proposte*.

## 8.7 Valutazione della portata

Oltre alle pressioni e al volume contenuti nel serbatoio un altro parametro fondamentale da valutare è la portata di fluido erogata dagli ugelli. In figura 8.9 è riportato un diagramma che rappresenta la portata, ottenuta numericamente come derivata del volume erogato rispetto al tempo, in funzione della pressione. Le prove riportate in figura 8.9 sono state eseguite tutte con tre ugelli del tipo WRC110015 e regolatore di pressione impostato a 2 bar. Si può osservare, infatti, che per pressioni superiori a 2 bar la portata rimane circa costante, ciò è dovuto alla presenza del riduttore di pressione che limita la pressione a monte dell'ugello.

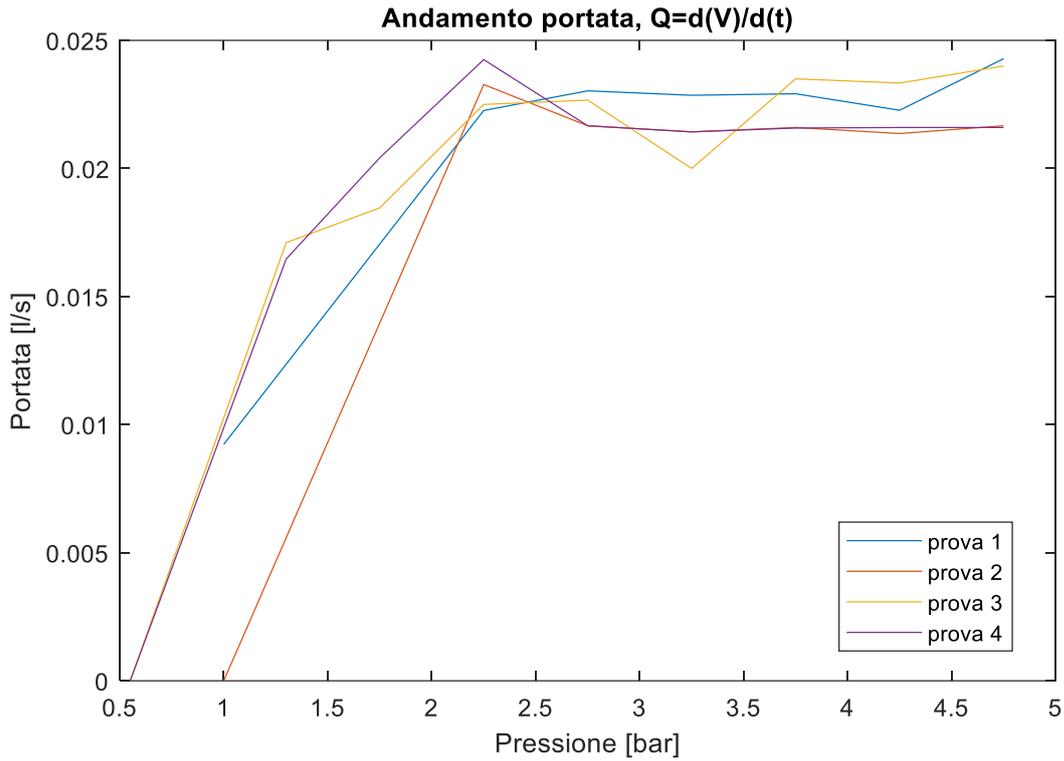


Figura 8.9 – Andamento della portata in funzione della pressione

In figura 8.10 è riportato un particolare del diagramma dove si osserva che le portate, per pressioni superiori a 2 bar sono tutte comprese tra 0.02 e 0.024 l/s. Si è scelto come valore di portata di riferimento un valore medio di 0,0216 l/s.

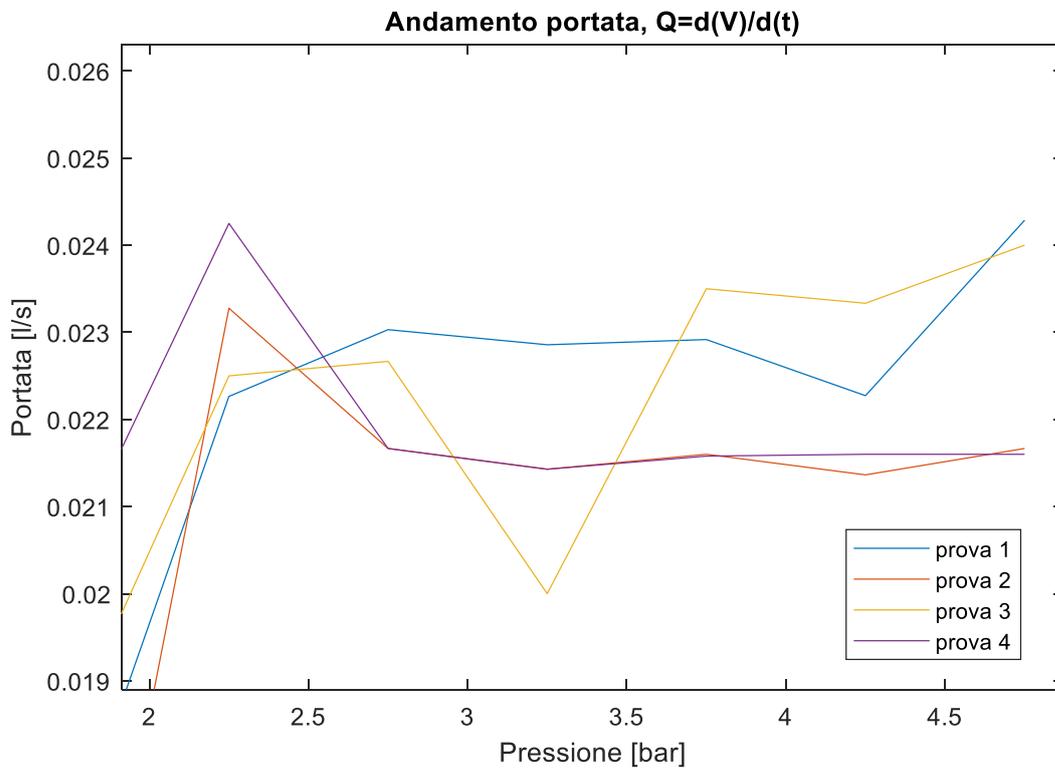


Figura 8.10 – Andamento della portata in funzione della pressione, particolare

Per quanto riguarda la prova 5, eseguita con due ugelli del tipo LDC11001 e un ugello del tipo HCF80015, regolata a 3 bar, il diagramma pressione-portata è riportato in figura 8.11. Come portata di riferimento si è scelto un valore di 0.0228 l/s.

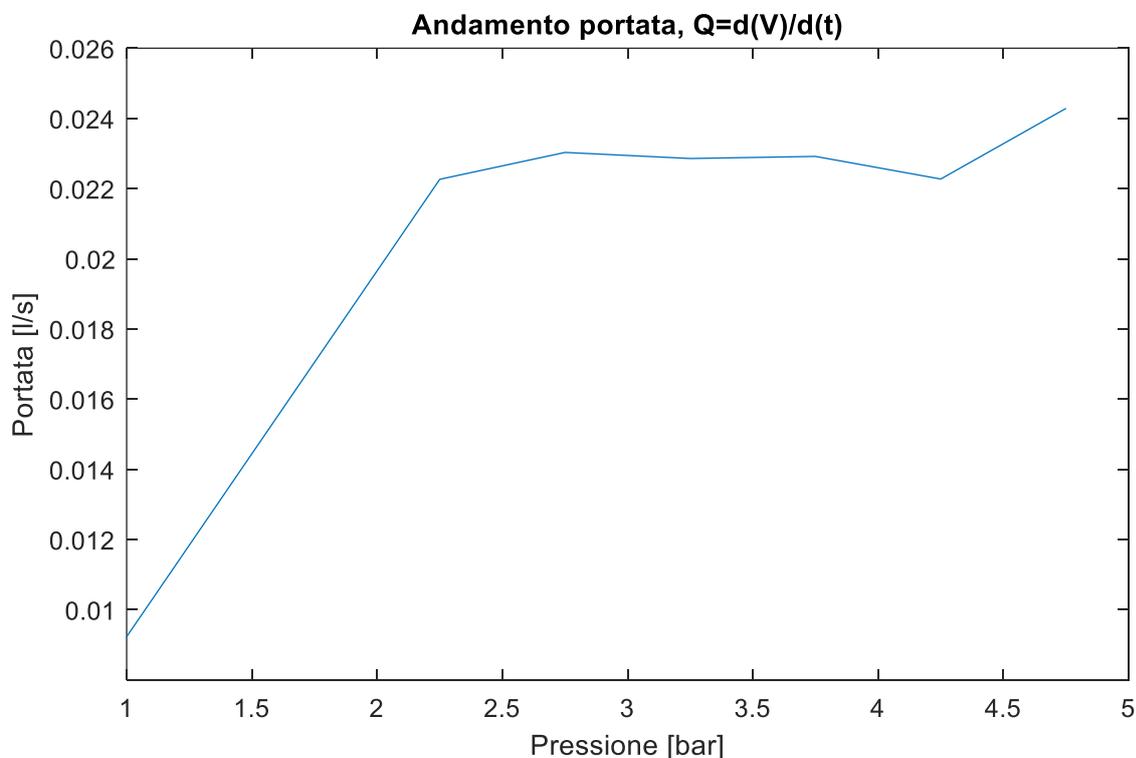


Figura 8.11 – Diagramma pressione portata, prova 5

### 8.8 Possibili configurazioni e soluzioni proposte

Di seguito sono riportate una serie di tabelle che rappresentano le possibili soluzioni implementabili. Nel realizzare queste tabelle si è cercato di prendere in considerazione il maggior numero di configurazioni possibili. La colonna *verificata sperimentalmente?* indica se la prova è stata verificata sperimentalmente oppure no. Nel caso in cui la prova non sia stata verificata sperimentalmente i valori di pressione finale sono stati calcolati utilizzando il modello matematico presentato nel paragrafo *Modello matematico* e i tempi sono stati calcolati utilizzando le portate di riferimento indicate nel paragrafo *Valutazione della portata*. La valutazione delle possibili configurazioni è stata eseguita anche valutando le masse del serbatoio e del liquido in esso contenuto.

Come pressione massima del serbatoio si è scelto un valore di 6 bar, compatibile con la maggior parte dei vasi di espansione in commercio. La pressione minima indica la pressione a cui il serbatoio si svuota completamente di liquido e coincide con la pressione di precarica del gas a serbatoio vuoto.

Come drone è stato preso di riferimento il modello DJI AGRAS MG-1, con capacità di carico di 10 kg; quindi, la somma della massa di serbatoio e liquido deve essere inferiore a 10 kg.

All'interno delle tabelle il colore rosso è stato utilizzato per indicare che si tratta di un valore critico, al di fuori del range consigliato, il colore arancione per indicare che si trova al limite del range consigliato.

### 8.8.1 Soluzioni possibili per sistema a tre ugelli con pressione di regolazione di 2 bar

In tabella 24 sono esposte 12 possibili soluzioni di configurazione ed utilizzo del sistema di alimentazione con serbatoio anti-sloshing. Le soluzioni qui proposte sono state ricavate sperimentalmente, oppure calcolate con il modello matematico, utilizzando un sistema con tre ugelli a ventaglio WRC110015 alimentato a 2 bar.

N	Capienza vaso d'espansione [l]	Volume liquido [l]	Pressione massima [bar]	Pressione minima [bar]	tempo di svuotamento [s]	Verificata sperimentalmente?
1	8	4	5	2	181	Sì
2	8	4	6	2,5	181	No
3	8	5	5	1,25	227	No
4	8	5,3	5	1,1	265	Sì
5	8	5	6	1,62	227	No
6	8	5	7	2	227	No
7	8	4,57	6	2	207	No
8	8	5,3	8	2	240	No
9	12	6	6	2,5	272	No
10	12	6,85	6	2	311	No
11	12	6	5	2	272	No
12	12	4,8	4	2	218	No

Tabella 24 – Soluzioni sistema tre ugelli WRC11001, pressione di regolazione 2 bar

In tabella 25 sono valutate le masse di carico delle stesse prove riportate in tabella 24. Il valore di massa del serbatoio è stato ricavato da un catalogo commerciale, la massa di liquido è stata calcolata ipotizzando una densità del liquido di 1,0 kg/l.

N	Capienza vaso d'espansione [l]	Massa vaso <sup>1</sup> [kg]	Volume liquido [l]	Massa liquido [kg]	Massa vaso + liquido [kg]
1	8	2,47	4	4	6,47
2	8	2,47	4	4	6,47
3	8	2,47	5	5	7,47
4	8	2,47	5,3	5,3	7,77
5	8	2,47	5	5	7,47
6	8	2,47	5	5	7,47
7	8	2,47	4,57	4,57	7,04
8	8	2,47	5,3	5,3	7,77
9	12	3,21	6	6	9,21
10	12	3,21	6,85	6,85	10,06
11	12	3,21	6	6	9,21
12	12	3,21	4,8	4,8	8,01

Tabella 25 - Soluzioni sistema tre ugelli WRC11001, pressione di regolazione 2 bar, valutazione delle masse

<sup>1</sup> \* Indicativa. Fonte: Catalogo Pressure Wave™ Series, Global Water Solutions Ltd.

### 8.8.2 Soluzioni proposte

A partire dalle 12 possibili soluzioni riportate in tabella 24 sono state selezionate quattro proposte, ritenute per qualche motivo più significative delle altre. Queste proposte sono state riportate in tabella 26 con piccole modifiche di ottimizzazione.

							Portata: 0,0216 l/s
N	Capienza vaso d'espansione [l]	Volume liquido [l]	Pressione massima [bar]	Pressione minima [bar]	tempo di svuotamento [s]	Massa vaso + liquido [kg]	
S1	8	4,5	6	2,06	204	6,97	
S2	8	5,3	8	2	240	7,77	
S3	12	6	5,5	2,25	272	9,21	
S4	12	5,5	5	2,25	250	8,71	

Tabella 26 – Soluzioni proposte

In tabella 27 sono riportate alcune note utili a comprendere le proposte di tabella 26.

N	NOTE
S1	N 7, arrotondata, con piccolo margine sulla pressione in uscita
S2	N 8, adatta a vasi di espansione con pressione massima di esercizio superiore a 8 bar
S3	N 9, con pressione massima ridotta
S4	N 11, volume ridotto per aumentare margine sul peso e sulle pressioni

Tabella 27 – Soluzioni proposte, note

### 8.8.3 Soluzioni possibili per sistema a tre ugelli con pressione di regolazione di 3 bar

Similmente a quanto fatto in precedenza con le prove effettuate con tre ugelli a ventaglio WRC110015 e regolate a 2 bar, in tabella 28 sono esposte 4 possibili soluzioni di configurazione ed utilizzo del sistema di alimentazione con serbatoio anti-sloshing. Le soluzioni qui proposte sono state ricavate sperimentalmente, oppure calcolate con il modello matematico, utilizzando un sistema con configurazione a due ugelli a ventaglio LDC11001 e un ugello a cono HCF80015, alimentati a 3 bar.

N	Capienza vaso d'espansione [l]	Volume liquido [l]	Pressione massima [bar]	Pressione minima [bar]	tempo di svuotamento [s]	Verificata sperimentalmente?
13	12	5,14	6	3	228	No
14	12	6	7	3	266	No
15	12	6,6	8	3	293	No
16	8	5	3	2,7	138	Sì

Tabella 28 – Soluzioni sistema tre ugelli pressione di regolazione 3 bar

In tabella 29 sono valutate le masse di carico delle stesse prove riportate in tabella 28. Il valore di massa del serbatoio è stato ricavato da un catalogo commerciale, la massa di liquido è stata calcolata ipotizzando una densità del liquido di 1,0 kg/l.

N	Capienza vaso d'espansione [l]	Massa vaso* [kg]	Volume liquido [l]	Massa liquido [kg]	Massa vaso + liquido [kg]
13	12	3,21	5,14	5,14	8,35
14	12	3,21	6	6	9,21
15	12	3,21	6,6	6,6	9,81
16	8	2,47	3	3	5,47

Tabella 29 – Soluzioni sistema tre ugelli pressione di regolazione 3 bar, valutazione delle masse

#### 8.8.4 Soluzioni proposte

Analogamente a quanto fatto con le prove alimentate a 2 bar con tre ugelli a ventaglio WRC110015, sono state scelte delle combinazioni ottimali di parametri anche per il sistema con configurazione a due ugelli a ventaglio LDC11001 e un ugello a cono HCF80015 ed alimentazione a 3 bar. Esse sono riportate in tabella 30.

Portata: 0,0228 l/s

N	Capienza vaso d'espansione [l]	Volume liquido [l]	Pressione massima [bar]	Pressione minima [bar]	tempo di svuotamento [s]	Massa vaso + liquido [kg]
S5	12	5	6	3,08	222	8,21
S6	12	6	7	3	266	9,21

Tabella 30 – Soluzioni proposte

In tabella 31 sono riportate delle note utili a comprendere le soluzioni proposte in tabella 30.

N	NOTE
S5	N 13, arrotondata, piccolo margine sulla pressione in uscita
S6	N14, adatta a vasi di espansione con pressione massima di esercizio superiore a 7 bar

Tabella 31 – Soluzioni proposte, note

#### 8.8.5 Pro e contro delle soluzioni proposte

Si riporta infine un confronto tra le sei proposte di configurazioni ottimali. In tabella 32 sono riportati i pro e i contro di ogni soluzione proposta.

N	Pro	Contro
S1	Serbatoio da 8 litri: più leggero, meno ingombro	Minor volume, minor tempo di svuotamento, non sfrutta a pieno le prestazioni del drone, alimenta a 2 bar
S2	Massimo sfruttamento serbatoio da 8 litri, minore ingombro, minor peso	Pressione massima elevata, alimenta a 2 bar
S3	Massimo volume erogabile, buon margine sulla pressione minima, pressione massima bassa	Serbatoio da 12 litri: più pesante, maggiore ingombro, poco margine di peso, alimenta a 2 bar
S4	Maggior volume erogato, pressione massima bassa, margine sulla pressione minima	Serbatoio da 12 litri: più pesante, maggiore ingombro, alimenta a 2 bar
S5	Può alimentare a 3 bar (circuito ottimale)	Serbatoio da 12 litri poco sfruttato, ingombro
S6	Maggior volume erogato, può alimentare a 3 bar	Pressione massima elevata, vaso 12 litri, poco margine di peso

Tabella 32 – Pro e contro delle soluzioni proposte

## 8.9 Conclusioni dello studio del serbatoio anti-sloshing

In questo capitolo è stato sperimentato l'utilizzo di un vaso d'espansione come serbatoio anti-sloshing da utilizzare su droni agricoli per l'irrorazione di prodotti fitosanitari nei vigneti. Lo scopo è quello di avere un serbatoio che limiti il movimento di sciabordio del liquido e allo stesso tempo sia in grado di fornire al sistema liquido in pressione senza la necessità di montare una pompa sul velivolo. L'evidenza sperimentale ha dimostrato che il dispositivo testato (vaso d'espansione a membrana Caleffi 5557 da 8 litri) non è adatto a essere utilizzato come serbatoio anti-sloshing.

Al di là dei risultati poco soddisfacenti del test anti-sloshing sono stati eseguiti degli esperimenti sul serbatoio, per analizzare come variano volume e pressione durante lo svuotamento e per calcolare le portate erogate dal sistema. Formulando alcune ipotesi semplificative, è stato realizzato un modello matematico che descrive l'andamento della pressione in funzione del volume durante lo svuotamento del serbatoio. Il confronto tra le prove sperimentali ed i risultati del modello matematico ha evidenziato che il modello descrive bene gli andamenti sperimentali. Utilizzando il modello matematico sono state eseguite delle simulazioni di funzionamento del serbatoio, tra le quali sono state selezionate sei soluzioni ottimali di utilizzo del dispositivo da proporre all'utilizzatore.

## Capitolo 9 : Prove preliminari con tre ugelli su simulatore di vigneto alimentati dal serbatoio anti-sloshing e sviluppi futuri

Nel capitolo 8 è stato illustrato il circuito con serbatoio anti-sloshing e sistema di irrorazione a tre ugelli, con cui sono state svolte prove di svuotamento del serbatoio. Il presente capitolo espone invece come lo stesso circuito si possa utilizzare per svolgere delle prove di irrorazione su carta con simulatore di vigneto ed i risultati ottenuti dalle prove preliminari svolte con tale circuito. L'obiettivo è quello di avvicinarsi ulteriormente all'applicazione reale di studio nella quale il sistema di irrorazione a tre ugelli è alimentato dal serbatoio anti-sloshing. A questo scopo è stato realizzato un banco prova montando il circuito utilizzato per le prove di svuotamento del serbatoio con sistema a tre ugelli, descritto nel capitolo 8, sulla struttura porta ugelli utilizzata per le prove di irrorazione a tre ugelli descritta nel capitolo 6.

Gli scopi delle prove di irrorazione con sistema a tre ugelli su simulatore di vigneto, alimentati dal serbatoio anti-sloshing sono essenzialmente due:

- **Confrontare gli effetti dei due diversi circuiti di alimentazione (pompa e serbatoio in pressione) sui risultati delle prove.** Alcune delle prove descritte nel capitolo 6 vanno ripetute utilizzando come circuito di alimentazione il circuito con serbatoio anti-sloshing. In questo modo, è possibile osservare se la modifica al circuito di alimentazione incide sui risultati finali della prova, ossia sull'impronta del getto, oppure no. Se il confronto non evidenzia sostanziali differenze si può ritenere che i risultati delle prove alimentate da pompa siano rappresentativi del sistema finale, altrimenti le prove del capitolo 6 andrebbero ripetute con il nuovo circuito.
- **Eeguire nuove prove con una diversa combinazione di ugelli che consenta di ridurre le pressioni nel serbatoio;** in particolare usando ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 adatti a lavorare con una pressione di alimentazione di 2 bar.



Figura 9.1 – Prove con tre ugelli su simulatore di vigneto alimentate da vaso di espansione, banco prova

### 9.1 Limiti e criticità del banco prova utilizzato per le prove preliminari

Il banco prova realizzato presenta alcuni limiti e criticità che andranno affrontati in futuro. In particolare, i principali limiti sono due:

- **Posizione del serbatoio nel circuito:** nell'applicazione reale il serbatoio va montato al di sopra del circuito di irrorazione con la bocca di uscita del vaso d'espansione rivolta verso il basso, mentre nel banco prova utilizzato per le prove preliminari il serbatoio si trova al di sotto del circuito di irrorazione con la bocca di uscita del liquido rivolta verso l'alto. La scelta della disposizione del serbatoio in questo caso è dovuta semplicemente a motivi pratici e di sicurezza: per poter eseguire le prove di irrorazione su simulatore di vigneto con il serbatoio al di sopra del circuito di irrorazione sarebbe stato necessario posizionare il serbatoio molto in alto e questa operazione non avrebbe consentito di lavorare in condizioni di sicurezza. In ogni caso la diversa disposizione del serbatoio nel circuito può influenzare il funzionamento dello stesso.
- **Misurazione della pressione a monte degli ugelli:** nel banco prova utilizzato per le prove sperimentali la pressione a monte degli ugelli, per semplicità, è stata misurata a monte del raccordo a T che divide il getto nei tre rami che portano agli ugelli, mentre sarebbe stato più opportuno misurare la pressione subito a monte degli ugelli.

### 9.2 Prove preliminari effettuate e sviluppi futuri

Malgrado i limiti esposti nel paragrafo 9.1 sono state effettuate delle prove preliminari di irrorazione con sistema a tre ugelli su simulatore di vigneto. In particolare, sono state eseguite **prove con tre ugelli a ventaglio WRC110015 alimentati a 2 bar** e angolo di spruzzo variabile. Questo modello di ugello, infatti, è molto interessante perché tra gli ugelli che si hanno a disposizione è quello che permette di essere alimentato alla pressione minore. L'ugello in questione non è stato provato nelle prove di irrorazione a tre ugelli riportate nel capitolo 6 perché gli è stato preferito il modello di ugello a ventaglio anti-deriva LDC11001. Nel momento in cui si vuole alimentare il circuito con serbatoio anti-sloshing, però, diventa molto importante controllare le pressioni massime che si ottengono nel serbatoio, per questo motivo è utile prendere in considerazione soluzioni che consentano di abbassare le pressioni nel circuito, come appunto l'utilizzo di ugelli a ventaglio WRC110015. Le prove realizzate sono definite preliminari perché sono state svolte con il circuito non ottimizzato e andranno ripetute una volta che saranno risolte le criticità esposte nel capitolo 9.1. È comunque utile fin da subito svolgere alcune prove preliminari per farsi un'idea, anche solo approssimativa, dei risultati ottenibili con questa tipologia di ugelli.

Le prove preliminari sono poco utili invece al confronto tra i risultati ottenibili con sistema alimentato da serbatoio e il sistema alimentato da pompa. Si prevede dunque tra gli **sviluppi futuri** del lavoro quello di risolvere le criticità del banco prova esposte nel paragrafo 9.1, in modo da poter effettuare un confronto significativo tra i risultati delle prove ottenute alimentando il sistema con il serbatoio e le prove ottenute alimentando il sistema con la pompa. Oltre a queste prove potranno essere effettuate molte altre prove utili all'ottimizzazione del sistema di irrorazione. La realizzazione di un circuito funzionale che riproduca in modo corretto il circuito di alimentazione con serbatoio anti-sloshing da studiare è fondamentale per gli sviluppi futuri del progetto.

### 9.3 Procedura sperimentale

La procedura sperimentale è la stessa utilizzata per tutte le prove su simulatore di vigneto, con l'unica differenza che il circuito è alimentato dal serbatoio anziché dalla pompa e la regolazione delle pressioni avviene tramite riduttore di pressione. Le fasi sono le seguenti:

1. I fogli vengono posizionati sui piani del simulatore di vigneto. Gli ugelli vengono posizionati alle distanze volute e con gli angoli di prova scelti.
2. Si regola il riduttore di pressione in modo da avere la pressione desiderata a monte degli ugelli. In questa fase gli ugelli spruzzano ma vi è un oggetto interposto tra ugello e foglio in modo che il getto non colpisca il foglio.
3. Gli ugelli vengono fatti spruzzare sui fogli, nel mentre, si misura il tempo di prova.
4. I fogli vengono rimossi dal simulatore di vigneto e lasciati asciugare.
5. Si procede con l'acquisizione dell'immagine tramite fotografia.
6. Si esegue l'analisi dell'immagine ed i successivi calcoli.

In figura 9.2 è riportata una fotografia scattata durante l'esecuzione di una prova.



Figura 9.2 - Prove con tre ugelli su simulatore di vigneto alimentate da vaso di espansione, esecuzione di una prova

#### 9.4 Prove preliminari con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione di alimentazione di 2 bar

Per un sistema alimentato da vaso d'espansione, utilizzato come serbatoio in pressione, è **importante avere una pressione minima di uscita il più bassa possibile**. La pressione di precarica dell'aria, infatti, è tarata sulla pressione minima di uscita desiderata. Riducendo la pressione di precarica si riducono tutte le pressioni all'interno del serbatoio. Di conseguenza, dato che solitamente è la pressione massima raggiungibile dal serbatoio a vincolare il volume che può essere contenuto in esso, riducendo la pressione minima, aumenta il volume che il serbatoio può contenere. Per questo motivo può essere conveniente studiare una soluzione che utilizza ugelli che lavorano bene alle basse pressioni. A questo scopo si è pensato ad una soluzione con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 e pressione di regolazione a 2 bar. Il vantaggio di questo tipo di ugello è che lavora bene anche a pressioni basse, per contro non è un ugello anti-deriva; quindi, andrebbe valutato sul campo se il rischio di deriva è accettabile o meno.

Nelle tabelle che seguono sono riportate le fotografie di tutte le prove preliminari svolte con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015, alimentate da circuito con serbatoio anti-sloshing, in cui sono evidenziate le aree di selezione analizzate. Le immagini di ogni prova sono correlate da una tabella che riporta i valori dei parametri utilizzati per quella prova.

Per i parametri geometrici della prova si faccia riferimento alla figura 9.3.

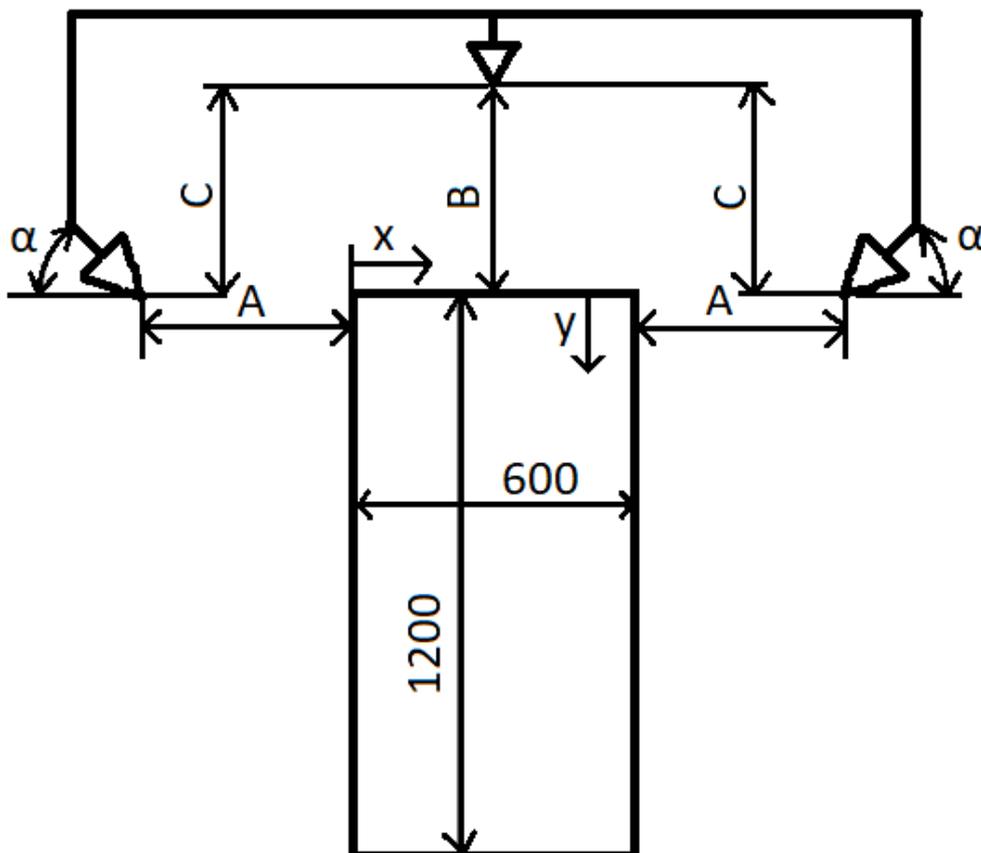
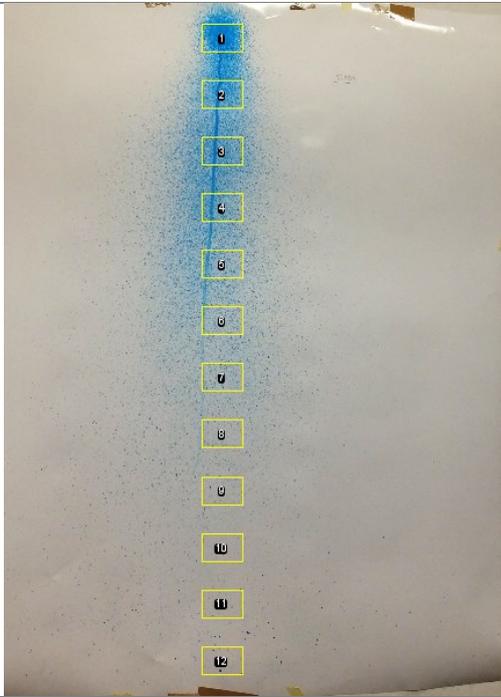


Figura 9.3 – Schema circuito a tre ugelli

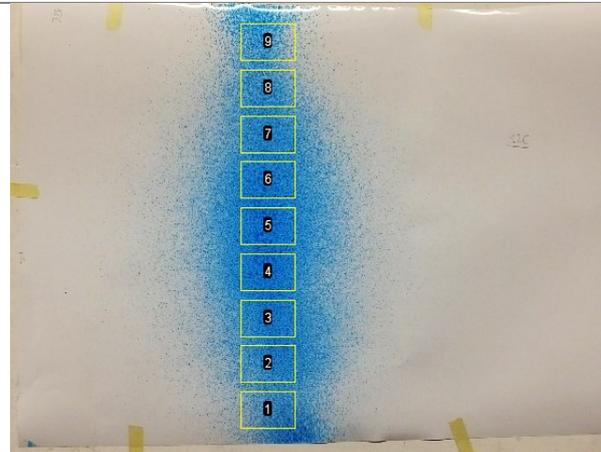
Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
12	WRC110015	WRC110015	45°	0,60 s (v) 0,52 s (o)	2 bar	450 mm	450 mm	450 mm

\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale e l'orizzontale, come indicato in figura 9.3

Prova 12 verticale



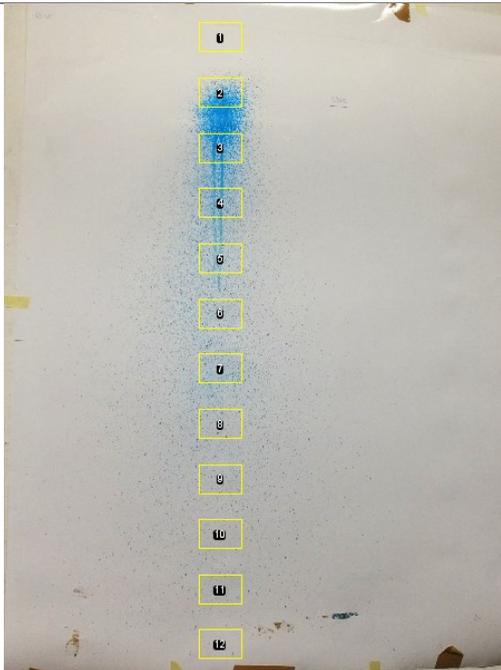
Prova 12 orizzontale



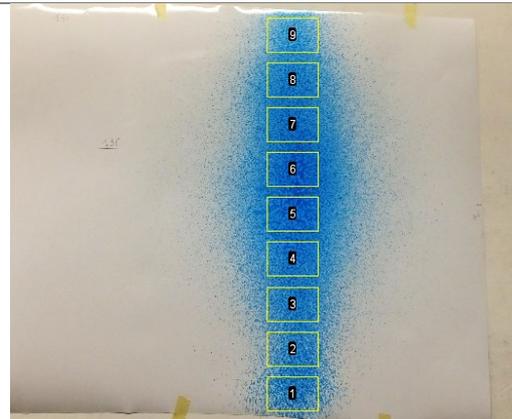
Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
13	WRC110015	WRC110015	60°	0,53 s (v) 0,54 s (o)	2 bar	450 mm	450 mm	450 mm

\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale l'orizzontale, come indicato in figura 9.3

Prova 13 verticale



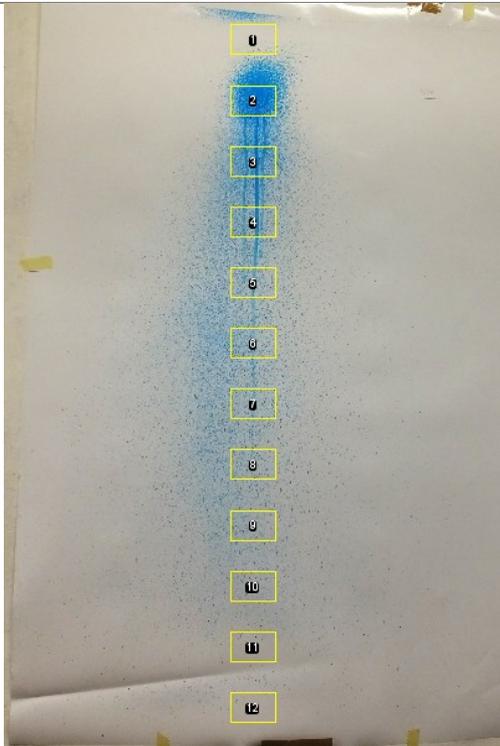
Prova 13 orizzontale



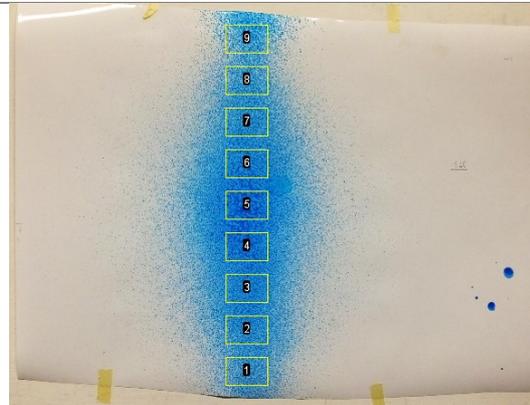
Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
14	WRC110015	WRC110015	53°	0,47 s (v) 0,42 s (o)	2 bar	450 mm	450 mm	450 mm

\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale e l'orizzontale, come indicato in figura 9.3

**Prova 14 verticale**



**Prova 14 orizzontale**



## 9.5 Risultati prove preliminari con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione di alimentazione di 2 bar

In questo paragrafo sono riportati i risultati delle prove preliminari effettuate con sistema a tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015, alimentato da serbatoio anti-sloshing ad una pressione di regolazione di 2 bar. Come sempre sono riportati i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce per le diverse prove svolte con differenti angoli di spruzzo  $\alpha$  tra la direzione dell'ugello e l'orizzontale.

### 9.5.1 Risultati prove su foglio verticale

In figura 9.4 sono diagrammati i valori di VMD ottenuti dalle prove su foglio di carta verticale eseguite con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 e diversi angoli di spruzzo.

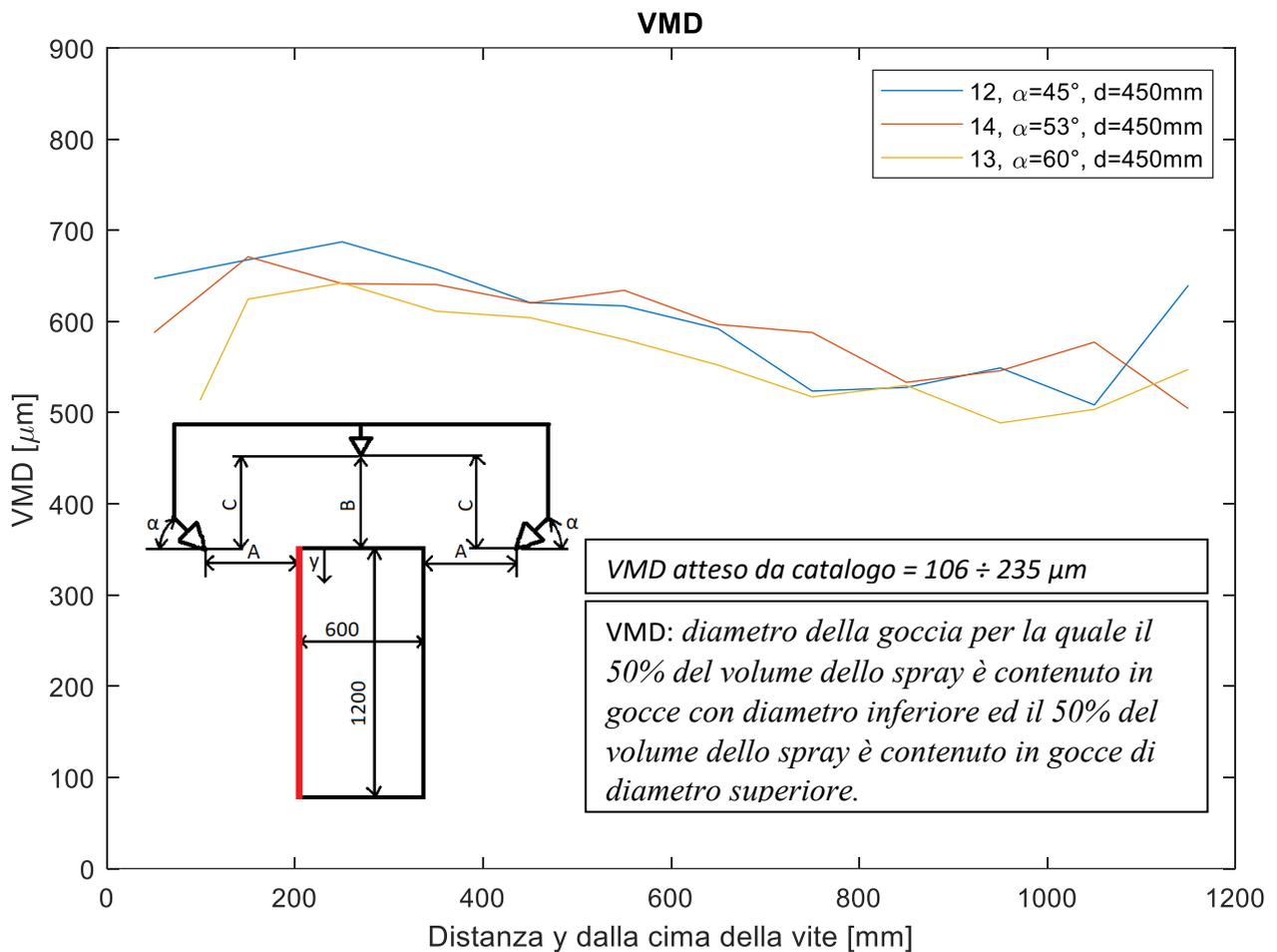


Figura 9.4 - prove con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione regolata a 2 bar, VMD

In figura 9.5 è riportato un dettaglio di figura 9.4 focalizzato nel range dei valori assunti dal VMD nelle prove riportate.

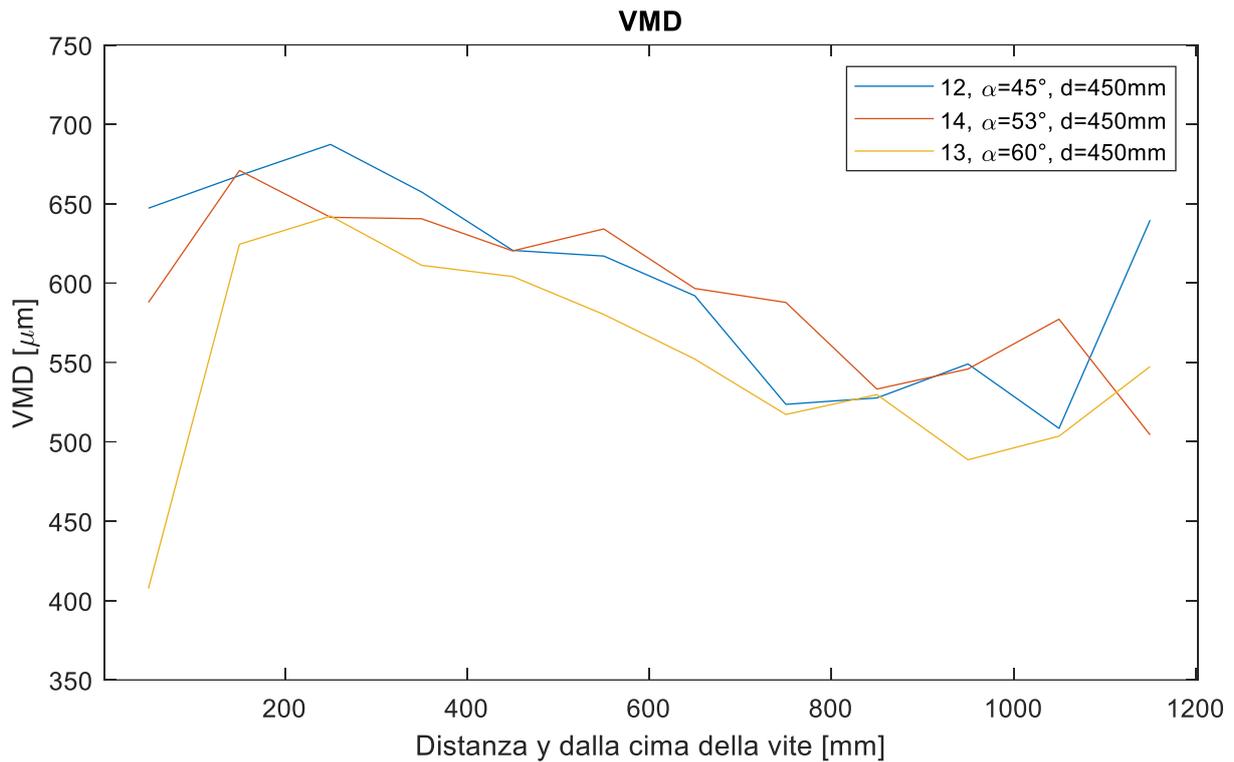


Figura 9.5 prove con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione regolata a 2 bar, VMD, dettaglio

In figura 9.5 sono diagrammati i valori di area di copertura ottenuti dalle prove preliminari su foglio verticale eseguite con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 e diversi angoli di spruzzo, indicati nella legenda.

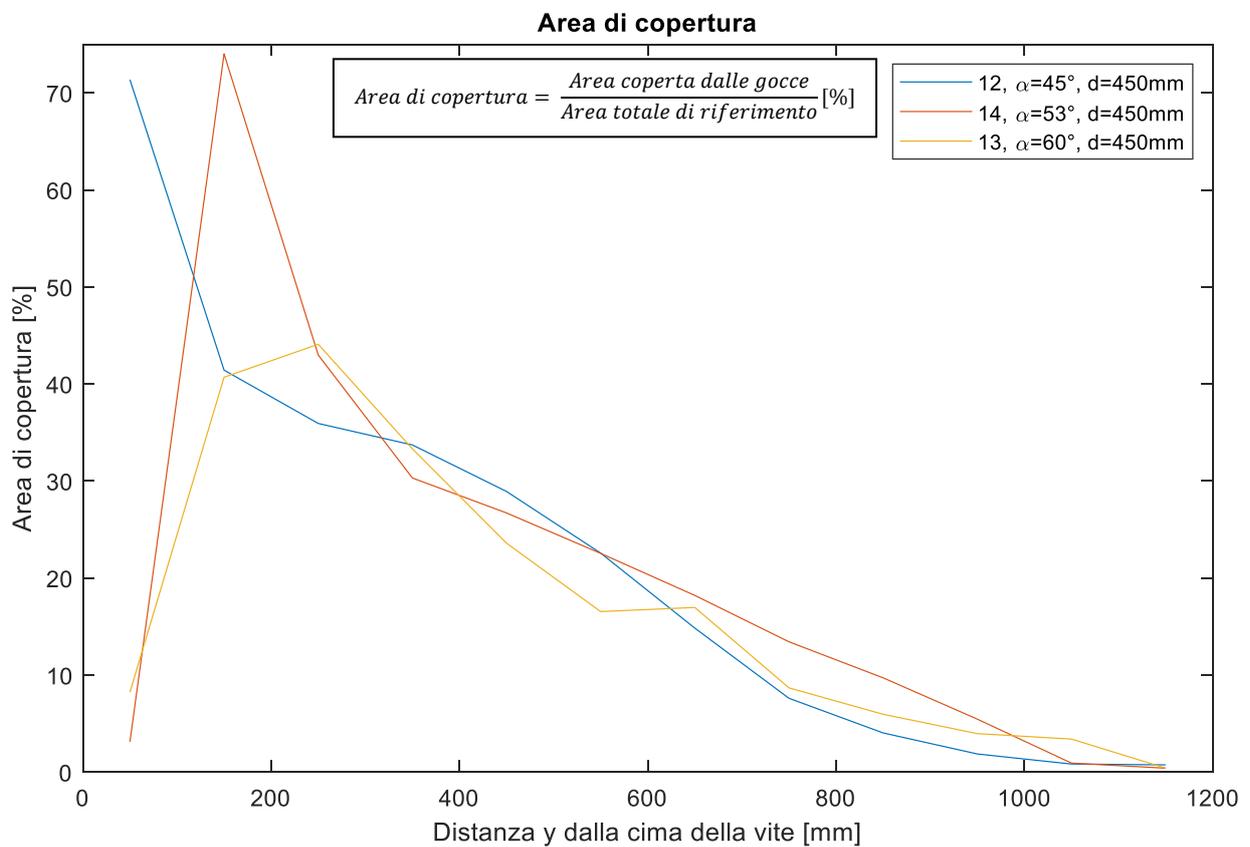


Figura 9.6 - prove con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione regolata a 2 bar, Area di copertura

In figura 9.7 sono diagrammati i valori di densità di gocce ottenuti dalle prove preliminari su foglio verticale eseguite con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 e diversi angoli di spruzzo.

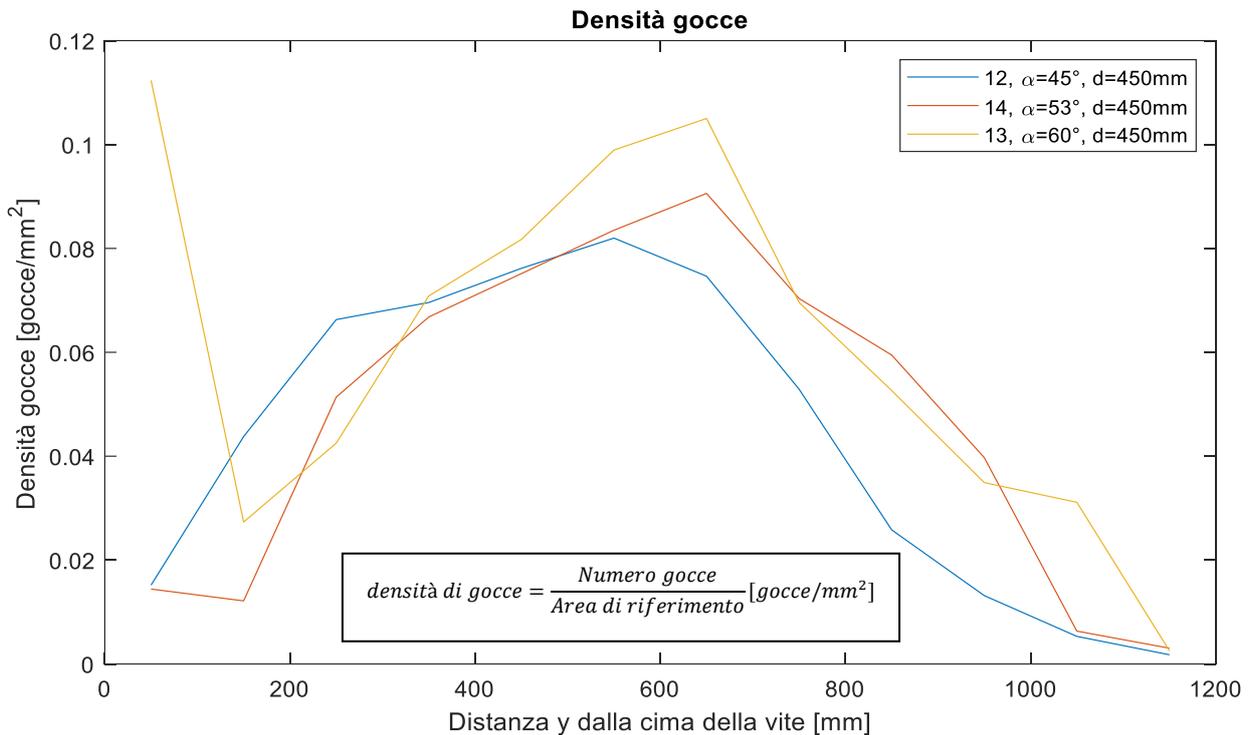


Figura 9.7 - prove con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione regolata a 2 bar, Densità di gocce

Nelle figure da 9.4 a 9.7 sono riportati gli andamenti di VMD, area di copertura e densità di gocce delle prove realizzate utilizzando un circuito dotato di tre ugelli a ventaglio WRC110015 con pressione di regolazione impostata a 2 bar. Si può notare che l'andamento del VMD è abbastanza regolare, l'area di copertura è molto elevata nella fascia alte della vite e diminuisce notevolmente nelle fasce più basse, la densità di gocce invece raggiunge il picco per valori medi di altezza. Osservando bene le figure salta all'occhio la presenza di un notevole picco di area di copertura in una zona dove la densità di gocce è molto bassa e il VMD non esageratamente elevato. Questo fenomeno si può spiegare constatando la presenza di una **grande macchia di colore**, come visibile in figura 9.8 che mostra un dettaglio della prova 14, con ugello laterale inclinato a 53°. La dimensione della macchia, infatti, viene ridotta notevolmente dallo spread factor nel calcolo del VMD, ma non nel calcolo dell'area di copertura. In definitiva, la macchia influisce molto poco sul valore di VMD, mentre incide notevolmente sul valore dell'area di copertura. Per quanto riguarda la densità di gocce, infine, viene sottostimata in quanto la macchia conta come una singola goccia, anche se in realtà si è formata dall'aggregazione di tante gocce più piccole.

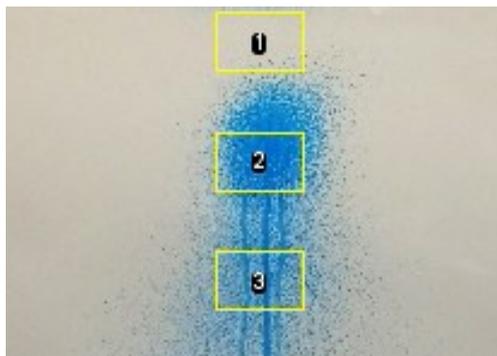


Figura 9.8 – Particolare prova 14 che evidenzia la presenza di una grande macchia di colore

Ricordando l'obiettivo finale di questi esperimenti, ovvero la realizzazione di un sistema di irrorazione di prodotti fitosanitari, la presenza di colate e grandi macchie di colore sulla prova risulta un problema poiché porta, nell'applicazione reale, ad avere zone con un'elevata concentrazione di fitosanitario che possono danneggiare la foglia, oppure gocce molto grosse che possono scivolare dalla foglia rendendo inefficace il trattamento. Pertanto, è bene fare attenzione alle prove che presentano elevati picchi di area di copertura non supportati da valori di densità di gocce e VMD elevati. Si ricorda che le prove qui riportate sono semplicemente prove preliminari e andranno ripetute una volta ottimizzato il circuito di prova. Se tale aspetto dovesse permanere anche nelle prove realizzate con il circuito ottimizzato l'utilizzo di questa configurazione di ugelli sarebbe sconsigliato.

### 9.5.2 Risultati prove su foglio orizzontale

Di seguito sono riportati in forma grafica i risultati ottenuti dall'analisi delle prove su foglio di carta orizzontale realizzate con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 alimentate da serbatoio anti-sloshing con pressione di regolazione di 2 bar.

In figura 9.9 sono diagrammati i valori di VMD ottenuti da tali prove, con angolo di spruzzo  $\alpha$  variabile.

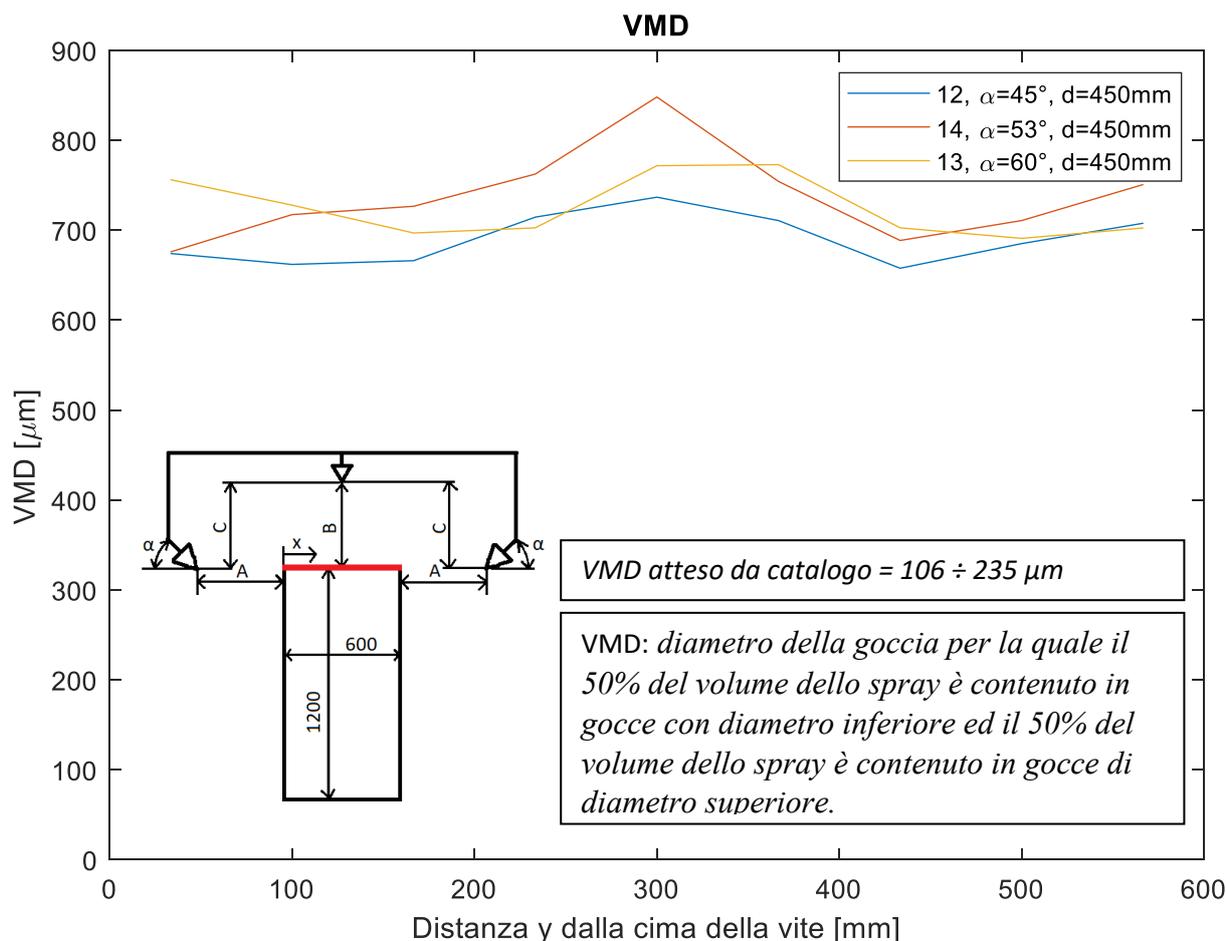


Figura 9.9 - Prove orizzontali con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione regolata a 2 bar, VMD

In figura 9.10 sono diagrammati i valori di area di copertura ottenuti dalle prove preliminari su foglio orizzontale realizzate con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 alimentate da serbatoio anti-sloshing e pressione di regolazione di 2 bar.

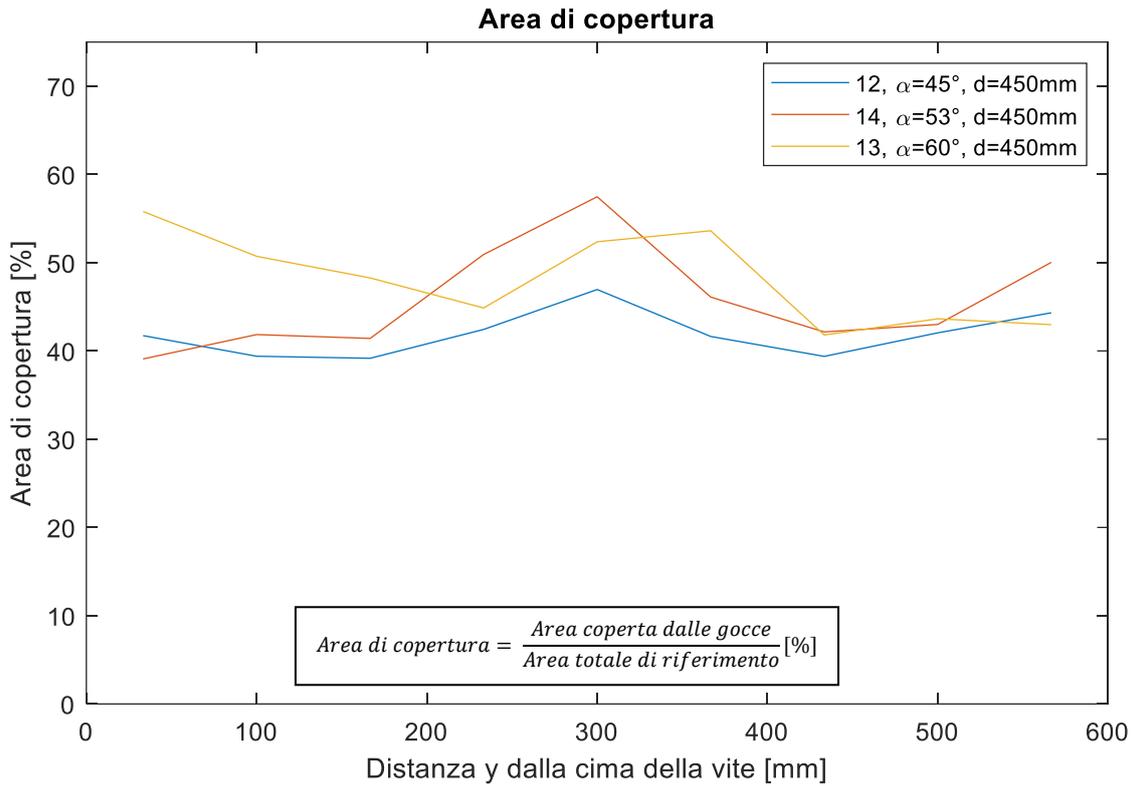


Figura 9.10- Prove orizzontali con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione regolata a 2 bar, area di copertura

In figura 9.11 sono riportati i valori di densità di gocce ottenuti dalle prove preliminari su foglio orizzontale realizzate con tre ugelli a ventaglio del tipo WRC110015 alimentate da serbatoio anti-sloshing e pressione di regolazione di 2 bar.

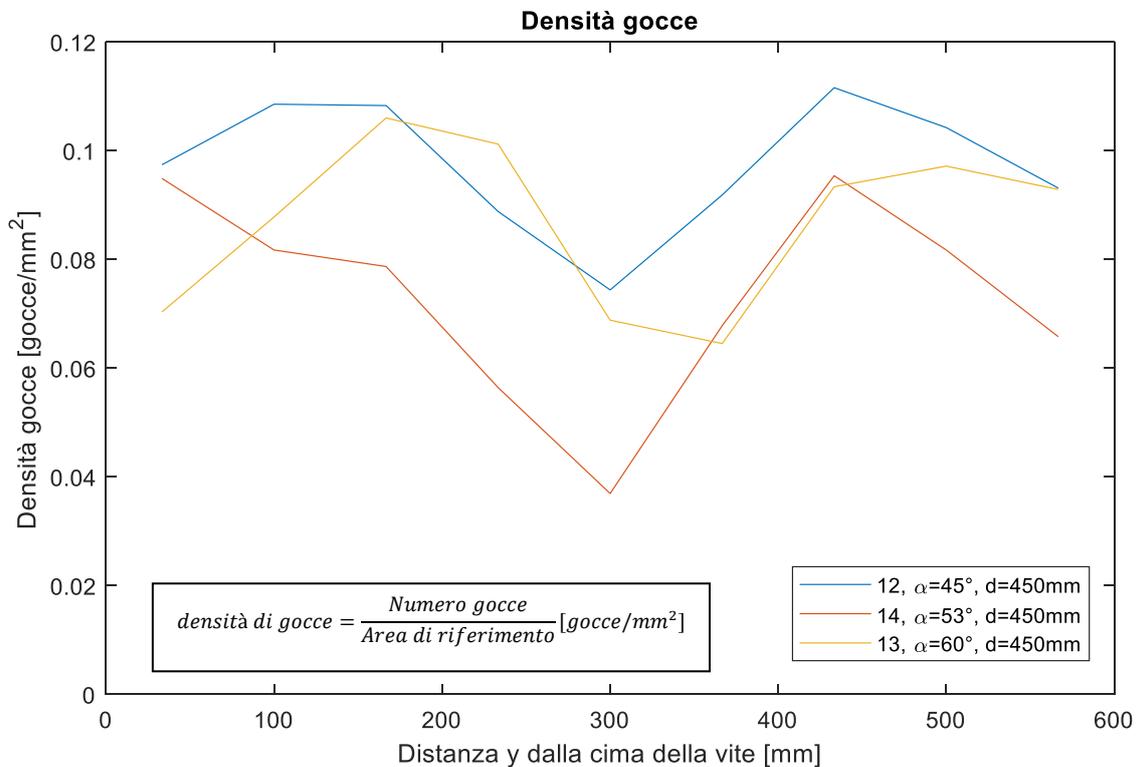


Figura 9.11- Prove orizzontali con ugelli a ventaglio WRC110015 e pressione regolata a 2 bar, densità di gocce

Osservando i grafici delle figure 9.9, 9.10 e 9.11, che rappresentano VMD, area di copertura e densità di gocce sulla sommità della vite, si deduce che la copertura è buona e molto regolare. Al centro il numero di gocce diminuisce poiché le gocce diventano molto grosse, ai bordi le gocce sono più piccole e numerose, anche se comunque rimangono in generale molto grandi. L'area di copertura è elevata anche ai bordi e ciò significa che una parte del getto viene dispersa nell'ambiente. Si ricorda che una dispersione nell'ambiente del prodotto fitosanitario, oltre a rappresentare uno spreco del prodotto, può essere fonte di inquinamento del terreno. È quindi di fondamentale importanza ridurre al minimo la dispersione del prodotto nell'ambiente.

### 9.6 Grafici 3D

Si riportano di seguito i grafici 3D che rappresentano i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce in funzione dall'angolo di spruzzo  $\alpha$  e della distanza  $y$  dalla cima della vite (si faccia riferimento a figura 9.4 per l'interpretazione di questa quota). I grafici 3D sono utili per poter visualizzare l'effetto di più parametri su di uno stesso grafico. In questo caso i parametri sono la distanza  $y$  e l'angolo  $\alpha$ .

In figura 9.12 sono appunto rappresentati i valori di VMD ottenuti dalle prove preliminari su foglio verticale eseguite con circuito a tre ugelli a ventaglio di tipo WRC110015 alimentate da serbatoio anti-sloshing con pressione di regolazione di 2 bar.

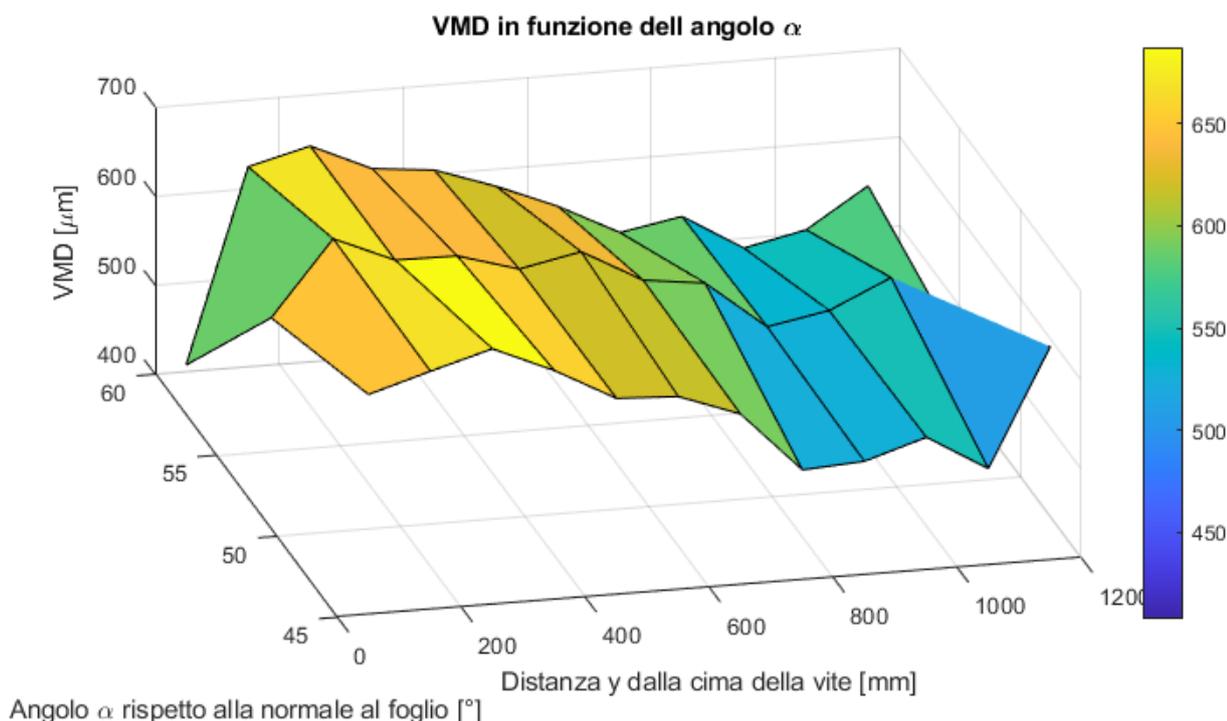


Figura 9.12 – Grafico 3D, VMD

In figura 9.13 è riportato il grafico 3D che rappresenta i valori di area di copertura ottenuti dalle prove preliminari su foglio verticale eseguite con circuito a tre ugelli a ventaglio di tipo WRC110015 alimentate da serbatoio anti-sloshing con pressione di regolazione di 2 bar.

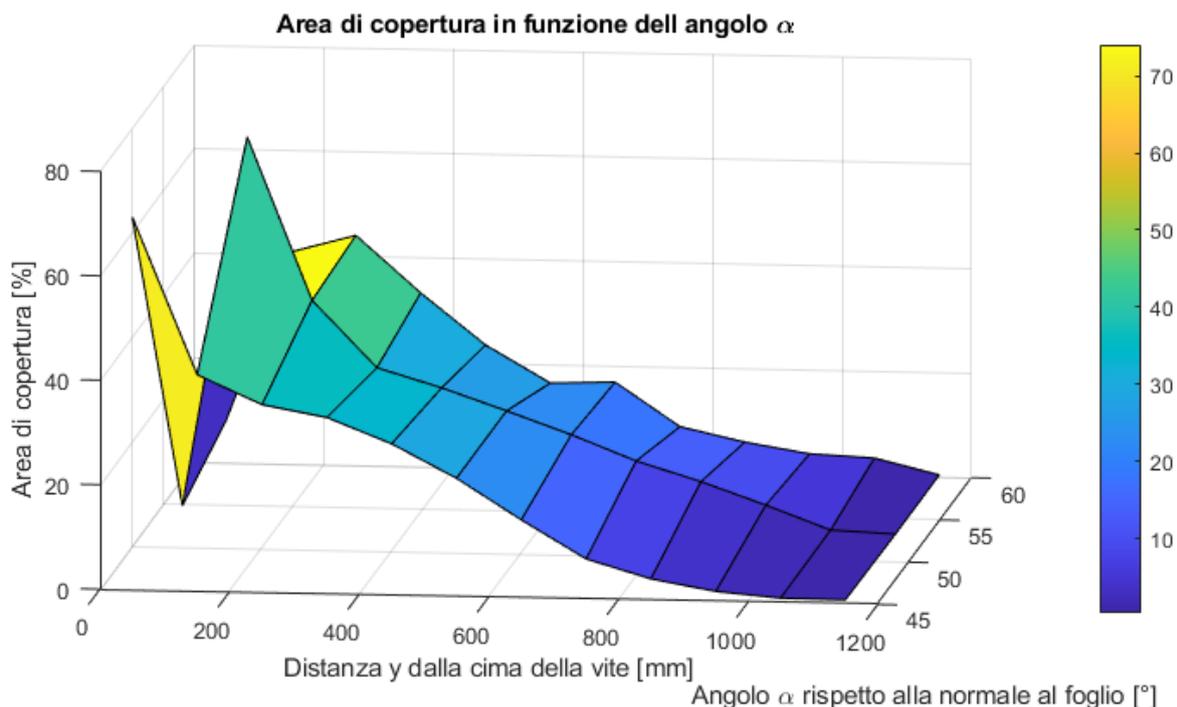


Figura 9.13 - Grafico 3D, Area di copertura

In figura 9.14 è riportato il grafico 3D che rappresenta i valori di densità di gocce ottenuti dalle prove preliminari su foglio verticale eseguite con circuito a tre ugelli a ventaglio di tipo WRC110015 alimentate da serbatoio anti-sloshing con pressione di regolazione di 2 bar.

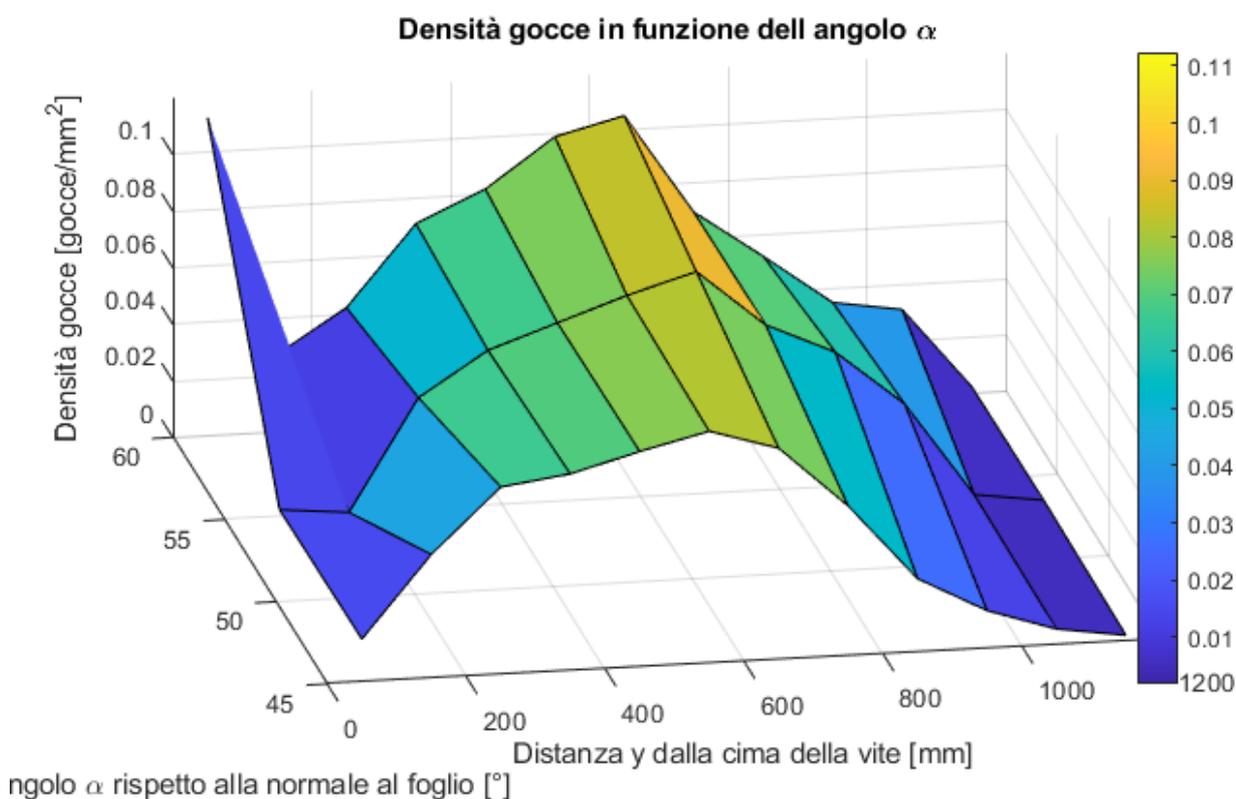


Figura 9.14 – Grafico 3D, Densità di gocce

## 9.7 Tabelle riassuntive dei risultati

Come è stato fatto al termine del capitolo 6 anche in questo caso si ritiene utile raccogliere i valori significativi ottenuti dall'attività sperimentale in una tabella riassuntiva in modo che siano facilmente reperibili per l'utilizzatore finale. Sono quindi riportate tre tabelle che descrivono le condizioni di prova, i risultati ottenuti dalle prove su foglio verticale ed i risultati ottenuti dalle prove su foglio orizzontale. In figura 9.15 è riportato uno schema utile a interpretare le quote riportate in tabella 33.

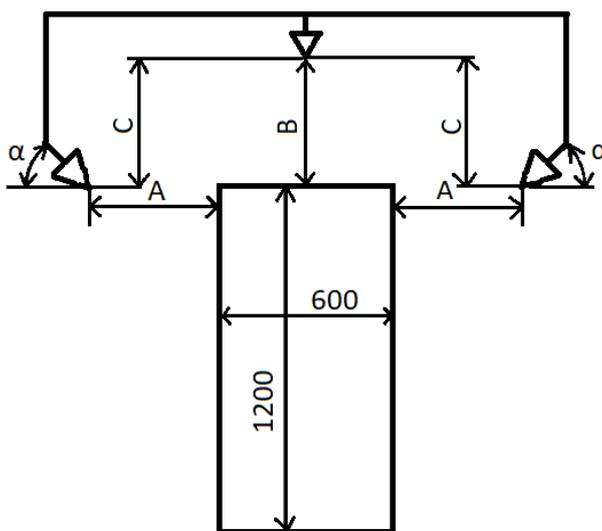


Figura 9.15 – Schema di riferimento per le quote

### 9.7.1 Prove

In tabella 33 sono riportati i parametri di prova utilizzati nello svolgimento delle prove di spruzzatura su carta alimentate da serbatoio anti-sloshing.

Nome prova	Ugello laterale	Ugello centrale	Angolo $\alpha^*$	Tempo di prova	Pressione a monte	Distanza A	Distanza B	Distanza C
12	WRC110015	WRC110015	45°	0,60 s (v) 0,52 s (o)	2 bar	450 mm	450 mm	450 mm
13	WRC110015	WRC110015	60°	0,53 s (v) 0,54 s (o)	2 bar	450 mm	450 mm	450 mm
14	WRC110015	WRC110015	53°	0,47 s (v) 0,42 s (o)	2 bar	450 mm	450 mm	450 mm

Tabella 33 – Parametri di prova delle prove effettuate alimentate da serbatoio anti-sloshing

\*L'angolo  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione dell'ugello laterale e l'orizzontale come indicato in figura (9.15)

### 9.7.2 Risultati prove su carta verticale

In tabella 34 sono riportati i risultati delle prove di spruzzatura su carta verticale con sistema di irrorazione a tre ugelli alimentato con serbatoio anti-sloshing. Come al solito si riportano i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce. Per ognuno dei tre parametri valutati sono riportati il valore massimo, minimo e medio.

NOME PROVA	VMD [ $\mu\text{m}$ ]				AREA DI COPERTURA [-]			DENSITÀ GOCCE [Gocce/ $\text{mm}^2$ ]		
	Catalogo**	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media
<b>12</b>	F	687,3	508,4	603,1	0,713	0,075	0,220	0,082	0,002	0,044
<b>13</b>	F	642,2	407,6	550,7	0,441	0,004	0,172	0,112	0,003	0,061
<b>14</b>	F	670,9	504,3	595,0	0,740	0,004	0,207	0,091	0,003	0,048

Tabella 34- Risultati prove su carta verticale alimentate da serbatoio anti-sloshing

\*\*Secondo ASABE 572.1

### 9.7.3 Risultati prove su carta orizzontale

In tabella 35 sono riportati i risultati delle prove spruzzatura su carta orizzontale con sistema di irrorazione a tre ugelli alimentato con serbatoio anti-sloshing. Si riportano i valori di VMD, area di copertura e densità di gocce. Per ognuno dei tre parametri valutati sono riportati il valore massimo, minimo e medio.

NOME PROVA	VMD [ $\mu\text{m}$ ]				AREA DI COPERTURA [-]			DENSITÀ GOCCE [Gocce/ $\text{mm}^2$ ]		
	Catalogo**	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media
<b>12</b>	F	736,6	657,7	690,5	0,470	0,392	0,419	0,112	0,074	0,098
<b>13</b>	F	772,8	690,9	724,9	0,558	0,418	0,482	0,106	0,065	0,087
<b>14</b>	F	848,1	675,8	737,1	0,575	0,391	0,458	0,095	0,037	0,073

Tabella 35 – Risultati prove su carta orizzontale alimentate da serbatoio anti-sloshing.

\*\*Secondo ASABE 572.1

## Capitolo 10 : Proposte e possibili soluzioni per ridurre il moto di sloshing

Nel capitolo 8 è stato evidenziato che un vaso d'espansione a membrana come quello utilizzato per le prove sperimentali non è adatto ad essere utilizzato come serbatoio anti-sloshing, poiché il movimento interno della sacca di liquido provoca problemi di stabilità paragonabili a quelli causati dallo sciabordio del liquido. Per risolvere questo problema sono state formulate alcune proposte di possibili soluzioni per ridurre il moto di sloshing. **Le soluzioni proposte all'interno di questo capitolo sono semplicemente spunti per sviluppi futuri e non sono state verificate sperimentalmente.**

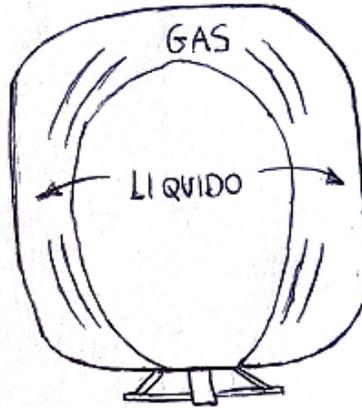


Figura 10.1 – Movimento della membrana piena di liquido nel serbatoio

### 10.1 Vaso di espansione a diaframma

In un vaso di espansione con membrana a diaframma, rispetto ad un vaso con membrana a palloncino (anche detto semplicemente a membrana), la membrana che separa lato aria e lato acqua non è fissata sulla flangia inferiore ma sul corpo del vaso stesso. Come si può vedere dalla figura 10.2 **il palloncino di liquido è meno libero di muoversi nel vaso, anche a causa della risultante delle pressioni che spinge il liquido contro le pareti del vaso.** Nel caso di vaso d'espansione a membrana invece si vede come la risultante delle pressioni non dia contributo alla stabilità del palloncino di liquido. Va però detto che solitamente le prestazioni di un vaso di espansione a diaframma sono ridotte rispetto ad un vaso di espansione a membrana.

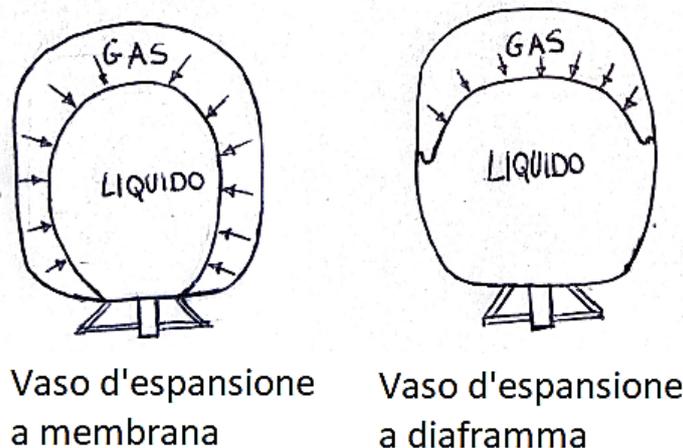


Figura 10.2 – Confronto vaso di espansione a membrana e a diaframma con rappresentazioni delle pressioni che agiscono sul palloncino di liquido

## 10.2 Vaso di espansione con tiranti interni

Un'altra possibile soluzione per ridurre il movimento della sacca di liquido all'interno del vaso è quella di utilizzare un vaso di espansione con tirante. La presenza del tirante limita senz'altro il moto del palloncino di liquido nel serbatoio. Purtroppo, però, questa soluzione è utilizzata soprattutto per vasi di grandi capacità e non è semplice trovare vasi da 8/12 litri con tirante interno. Un esempio di vaso di espansione con tirante è riportato in figura 10.3.



Figura 10.3 – Vaso di espansione con tirante. Fonte : <https://www.cimmspa.com/it-it/Prodotti/Vasi-di-espansione-per-acqua-potabile>

## 10.3 Vasi di espansione di forma allungata

Un'ulteriore possibile soluzione per ridurre il moto di sloshing è stata fornita da un tecnico dell'azienda produttrice di vasi d'espansione CIMM S.p.A. in risposta ad un'e-mail in cui si chiedeva consiglio su come ridurre i movimenti del liquido o delle membrane contenenti il liquido all'interno del serbatoio. La proposta è stata quella di utilizzare un vaso di espansione dalla forma allungata, nella fattispecie due vasi di espansione del modello STYLE 4, prodotti ovviamente da CIMM. Citando testuali parole:

*Il nostro suggerimento è quello di provare ad utilizzare i serbatoi modello STYLE litri 4: si potrebbe provare ad utilizzare 2 vasi modello STYLE 4 (in modo da avere un volume complessivo di 8 litri), in quanto questi vasi hanno una forma allungata e con diametro più ristretto: in questo modo **la membrana, avente una forma simile alla forma del vaso, potrebbe essere meno soggetta ai movimenti interni**; tuttavia si tratta soltanto di una supposizione, e chiaramente deve essere testata per verificarne l'attendibilità.*

L'idea, dunque, è quella di utilizzare non uno ma due serbatoi di forma allungata con capienza di 4 litri, oppure 6 litri, da valutare in base alle esigenze, da disporre orizzontalmente ai lati del corpo centrale del drone in modo da non alterarne la stabilità. In figura 10.4 si riporta una immagine del vaso di espansione CIMM STYLE 4.



Figura 10.4 – Vaso di espansione CIMM STYLE 4, Fonte: <https://www.cimmspa.com/it-it/Prodotti/Vasi-di-espansione-per-riscaldamento/category/style>

#### 10.4 Conclusione possibili soluzioni per ridurre il moto di sloshing

In questo capitolo sono state presentate alcune proposte che mirano a ridurre i movimenti interni al serbatoio, siano essi movimenti del liquido o della membrana che lo contiene, per aumentare la stabilità del sistema senza rinunciare all'idea di utilizzare come serbatoio un vaso di espansione. Si ricorda che tutte le soluzioni proposte all'interno di questo capitolo **non sono state testate sperimentalmente**; quindi, potrebbero non essere efficaci.

Si ricorda infine che, in alternativa a queste proposte, esiste la soluzione più classica di usare un serbatoio a paratie, al quale, ovviamente, va associata una pompa per mandare il fluido in pressione.

## Conclusioni

All'interno di questa tesi sono state svolte diverse attività sperimentali, alcune volte a studiare il sistema di irrorazione, altre volte a studiare il sistema di alimentazione. Andando per ordine le prove che sono state eseguite sono:

- Prove con singolo ugello su foglio di carta verticale.
- Prove con sistema a tre ugelli su simulatore di vigneto.
- Prove di scuotimento del serbatoio anti-sloshing.
- Prove di svuotamento del serbatoio anti-sloshing.
- Prove preliminari con sistema a tre ugelli su simulatore di vigneto alimentati da serbatoio anti-sloshing.

Le prove a singolo ugello su foglio di carta verticale sono state effettuate per essere confrontate con le prove a singolo ugello su foglio orizzontale realizzate da Antonio Conte all'interno della sua tesi di laurea magistrale [6]. I risultati sono tali da non poter essere confrontabili con quelli ottenuti da Conte. Le dimensioni ottenute delle gocce, in termini di VMD, infatti, sono molto più grandi di quelle attese. Come conseguenza all'aumento delle dimensioni delle gocce si ha una riduzione drastica di densità di gocce, infatti, all'aumentare delle dimensioni delle gocce diminuisce il numero di gocce che si depositano sul foglio. Questo fenomeno si manifesta in tutte le attività sperimentali che richiedono la misura delle gocce. **Per tutte le prove effettuate le dimensioni rilevate delle gocce, ovvero i valori di VMD, sono notevolmente più grandi di quelle attese.** La causa principale è molto probabilmente la **sovrapposizione di gocce**, ovvero più gocce che si sovrappongono nella stessa zona del foglio generando gocce di grandi dimensioni, questo fenomeno è favorito dalla **stazionarietà delle prove**, cioè alla mancanza di moto relativo tra il foglio e gli ugelli irroratori. Anche **l'impatto delle gocce sul foglio** causa la distorsione delle gocce, malgrado questo fattore sia teoricamente corretto dallo spread factor è possibile che il metodo di calcolo dello spread factor non offra una correzione adeguata alla prova. Un ultimo fattore che può influenzare i risultati delle prove è **l'analisi globale del getto**, le porzioni di getto selezionate dalle prove eseguite in questo lavoro sono state analizzate per intero da un software di analisi delle immagini, mentre solitamente le gocce vengono analizzate singolarmente attraverso il microscopio o la tecnica laser.

Oltre alle considerazioni, valide per tutte le prove di irrorazione su carta, fatte per quanto riguarda il VMD e la densità di copertura, le prove con tre ugelli sono state utili a comprendere come varia il getto al variare di posizione, angolo e tipologia di ugelli utilizzati per l'irrorazione. In generale si possono fare le seguenti osservazioni:

- Con un ugello a cono si ottiene uno spruzzo più localizzato, con una fascia più ristretta ad alta copertura, mentre per un ugello a ventaglio la fascia di massima copertura è un po' più ampia.
- Per entrambe le tipologie di ugello al di sopra della fascia di massima copertura la copertura è quasi nulla, mentre al di sotto di questa fascia si ha una diminuzione progressiva delle gocce che raggiungono il foglio verticale.
- Aumentando la distanza dell'ugello dal foglio si riducono leggermente i picchi ed aumenta la fascia con buona copertura.
- Aumentando l'angolo i picchi si spostano verso il basso coprendo meglio la parte più bassa della vite e lasciando scoperta la parte alta.
- La copertura al fondo della vite è bassa per tutte le configurazioni implementate.

Stando alle prove effettuate la soluzione ottimale sembra essere l'utilizzo di due ugelli a ventaglio, di apertura  $110^\circ$ , con una distanza di 450 mm (massimo ammesso dal drone di riferimento) e un angolo

compreso fra 45°-53°, come ugelli laterali ed un ugello a cono pieno con apertura di 80° come ugello centrale distante circa 500 mm dalla cima della vite. Sussiste però il problema di una **copertura molto scarsa della zona bassa della vite**, per la quale è necessario studiare nuove soluzioni. Una possibile soluzione a questo problema è quella di abbassare la posizione degli ugelli a ventaglio laterali in modo da disporli con asse perpendicolare al foglio.

Le prove di scuotimento del serbatoio anti-sloshing hanno evidenziato che **il vaso di espansione con membrana a vescica è poco adatto ad essere usato come dispositivo anti-sloshing**. Per ovviare a questo problema sono state formulate tre proposte ancora da verificare:

- Utilizzo di un vaso di espansione con membrana a diaframma.
- Utilizzo di un vaso d'espansione con tiranti interni.
- Utilizzo di due vasi d'espansione di forma allungata.

Le prove di svuotamento del serbatoio hanno evidenziato le capacità, le portate e le pressioni che il serbatoio è in grado di garantire. Oltre alle prove sperimentali è stato realizzato un semplice modello matematico. Utilizzando il modello matematico sono state eseguite alcune simulazioni che raccolgono un'ampia selezione di possibili casi di configurazione ed utilizzo del serbatoio. Tali soluzioni saranno ovviamente da verificare sperimentalmente. A partire dalle simulazioni sono state formulate sei proposte di soluzioni ottimali per l'utilizzo del serbatoio.

Le prove realizzate con sistema a tre ugelli su simulatore di vigneto alimentati con serbatoio anti-sloshing sono utili per poter essere confrontate con le prove svolte nelle stesse condizioni alimentate da pompa e per svolgere numerose altre prove di ottimizzazione del sistema. La realizzazione di un circuito ottimizzato che consenta di effettuare queste prove è fondamentale per gli **sviluppi futuri** del progetto. Un semplice circuito per l'esecuzione di prove di irrorazione con sistema a tre ugelli su simulatore di vigneto alimentati da serbatoio anti-sloshing è stato realizzato, ma presenta ancora alcune criticità. È stato comunque utilizzato per effettuare prove preliminari con sistema a tre ugelli del tipo WRC110015. Questa tipologia di ugelli è teoricamente adatta ad essere alimentata da una pressione di 2 bar, ciò consentirebbe di ridurre le pressioni nel serbatoio. Le prove preliminari effettuate con questa tipologia di ugelli alimentati a 2 bar manifestano colate e grandi macchie di colore. Qualora questi effetti dovessero ripresentarsi anche nelle prove svolte con circuito ottimizzato l'utilizzo di questa combinazione di ugelli e pressioni sarebbe sconsigliato.

## Bibliografia e sitografia

- [1] Pasquale Falzarano, *Agricoltura di Precisione, pubblicate le Linee guida nazionali*, Agriregionieuropa anno 14 n°53, giugno 2018.
- [2] <https://www.green.it/innovazione-agricola-droni/>
- [3] <https://www.istitutoagrariosartor.edu.it/wp-content/uploads/2013/11/09-Fitofarmaci-Lotta-Biologica.pdf>
- [4] Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Meccanica: candidato Filippi Nicolò, relatori Raparelli Terenziano, Eula Gabriella, Pepe Giuseppe, Ivanov Alexandre. *Studio di sistemi di irrorazione di vitigni mediante droni con particolare riferimento al circuito idraulico/pneumatico utilizzato per la spruzzatura di prodotti fitosanitari*. Politecnico di Torino, aprile 2021.
- [5] Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Meccanica: candidato Persico Marco, relatori Raparelli Terenziano, Eula Gabriella, Pepe Giuseppe. *Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni*. Politecnico di Torino, ottobre 2020.
- [6] Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Meccanica: candidato Conte Antonio, relatori Raparelli Terenziano, Eula Gabriella, Ivanov Alexandre. *Studio ed ottimizzazione di un circuito irroratore di pesticidi in vigneto tramite droni*. Politecnico di Torino, aprile 2022.
- [7] ASABE S572.1: *Droplet Size Classification*.
- [8] Syngenta Crop Protection, Switzerland, *Water Sensitive paper for monitoring spray distribution*.
- [9] Emanuele Cerruto, Giuseppe Manetto, Domenico Longo, Sabina Failla, Rita Papa, *A model to estimate the spray deposit by simulated water sensitive papers*, Department of Agricoltura, Alimentazione e Ambiente (Di3A), Section of Mechanics and Mechanisation, University of Catania
- [10]. W.C.Hoffmann, A.J.Hewitt. *Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers*
- [11] Asj Spray Jet Arag Group, *Catalogue DC 6010a 2021*.
- [12] ISO 10625:2005(E), *Equipment for crop protection — Sprayer nozzles — Colour coding for identification*.
- [13] Caleffi S.p.A., *Vasi di espansione serie 556 - 568 – 5557*, 2016.
- [14] Tesi di laurea in Ingegneria Meccanica: candidato Grenna Giacomo, relatori Raparelli Terenziano, Eula Gabriella, Ivanov Alexandre, Pepe Giuseppe, *Tecniche e metodi di analisi di risultati sperimentali di prove con circuiti di irrorazione di pesticidi agricoli*. Politecnico di Torino, dicembre 2021.
- [15] Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Meccanica: candidato Frate Antonio, relatori Raparelli Terenziano, Eula Gabriella, Ivanov Alexandre. *Studio sperimentale di un circuito irroratore di pesticidi in vigneto*. Politecnico di Torino, luglio 2022.