

POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale



**Politecnico
di Torino**

**Studio ed ottimizzazione di un circuito irroratore
di pesticidi in vigneto tramite droni**

Relatore

Prof. Terenziano Raparelli

Co-relatori

Prof. ssa Gabriella Eula

Dr. Alexandre Ivanov

Candidato

Conte Antonio

7 Aprile 2022

Sommario	1
Abstract	2
Capitolo 1: Agricoltura di precisione	3
1.1 Definizione	3
1.2 PAN: Piano d’Azione Nazionale per trattamenti fitosanitari	5
1.3 Guida fitosanitaria per la viticoltura	8
1.4 Uso dei droni in agricoltura	10
1.5 Classificazione dei droni	11
1.6 Droni agricoli	12
DJI Agras T16	13
Drone di riferimento: DJI AGRAS MG-1	14
1.7 Strategia di volo	18
Volo sopra il filare	18
Volo interfilare	19
1.8 Vigneto di riferimento	20
Capitolo 2: Descrizione banco prova	23
2.1 Caratteristiche generali banco prova	23
2.2 Banco prova: Circuito idraulico	25
Serbatoio e proprietà soluzione colorante	26
Pompa Remco F2133031E1	26
Manometro	27
Tubi e raccordi	28
2.3 Banco prova: Sistema ugello	29
Tipi di ugelli	29
Normative per l’identificazione ugelli e loro caratteristiche	30
Ugelli utilizzati	32
Capitolo 3: ImageJ	35
Capitolo 4: Procedura prove sperimentali	43
4.1 Montaggio banco prova	43
Scelta della carta	45
4.2 Programma delle prove	49
4.3 Fonti bibliografiche per l’analisi dei risultati	51
Metodo I	53
Metodo II	54
Metodo III	55
4.4 Parametri caratteristici del getto	56
Capitolo 5: Analisi e risultati	58
5.1 HCF80015: Ugello a cono pieno	58
Prove sperimentali $p_1 = 2$ bar	60
Prove sperimentali $p_2 = 3$ bar	76
Prove sperimentali $p_3 = 4$ bar	82
Confronti	88
5.2 HCI6001: Ugello a cono vuoto	93
Prove sperimentali $p_1 = 3$ bar	95
Prove sperimentali $p_2 = 4$ bar	102
Confronti	109
Conclusioni	112
Bibliografia e sitografia	116

Sommario

Il seguente lavoro di tesi fa riferimento ad un progetto nell'ambito dell'agricoltura di precisione finalizzato all'utilizzo ottimale delle risorse a salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente, dettato dal Piano d'Azione Nazionale (PAN) per trattamenti fitosanitari.

L'obiettivo del progetto è di analizzare lo spray prodotto dagli ugelli per individuare quale impiegare per il circuito irroratore che dovrà essere installato su un drone commerciale (DJI MG-1) per l'applicazione di trattamenti fitosanitari, prendendo come riferimento un vigneto situato a Vicoforte (CN).

I test sperimentali dello spray prodotto per ogni singolo ugello sono stati effettuati all'interno del Laboratorio di Aerodinamica "Modesto Panetti" del Politecnico di Torino e hanno richiesto una prima fase di progettazione del banco prova tale da garantire la variazione dei parametri di lavoro: pressione ed altezza del getto.

La scelta della pressione di lavoro è dettata dalle informazioni ricavate da catalogo, mentre, le altezze sono state differenziate per poter simulare il comportamento del getto sui vari strati della vite.

Il banco prova è costituito da un circuito idraulico di alimentazione e dal sistema ugello che realizza il getto su fogli di carta lucida fotografica, in grado di fornire informazioni più complete sull'intera area del getto rispetto all'utilizzo tradizionale di cartine idro sensibili (WSP).

Le prove sono state realizzate in condizioni statiche mediante il supporto di un sistema fisso senza tenere conto dell'avanzamento reale del drone per valutare esclusivamente le caratteristiche del getto dell'ugello.

Come fluido di lavoro è stata usata una soluzione di acqua e colorante Nouvema Acid blue 9 85% per realizzare un'impronta facile da valutare rispetto allo sfondo bianco.

I singoli fogli ottenuti, dopo essere stati lasciati ad asciugare sono stati analizzati tramite il software di elaborazione immagini ImageJ che consente di rilevare per ogni particella riconosciuta il corrispondente valore dell'area mediante la conversione della foto in un'immagine binaria ad 8-bit.

I parametri che sono stati valutati ai fini della scelta dell'ugello sono relativi al diametro medio volumetrico (VMD) rappresentativo dell'intera distribuzione delle gocce, il grado di copertura e la densità delle gocce sulla superficie di riferimento equivalente a quella di una cartina idro sensibile individuata in maniera casuale sull'intera area del getto.

Per evitare il gocciolamento e il fenomeno della deriva, i criteri di scelta adottati per la scelta degli ugelli sono stati la dimensione delle gocce e come sono distribuite in maniera tale che rientrano tra i 100-500 μm per evitare lo spreco di risorse e rendere il trattamento quanto più efficace possibile.

Le analisi effettuate costituiscono la fase preliminare relativa alla progettazione ottimale di un drone al termine della quale si potrà definire la disposizione degli ugelli e le rispettive pressioni di lavoro.

Abstract

The following thesis work refers to a project in the sector of precision agriculture aimed at the optimal use of resources to protect man and the environment, dictated by the National Action Plan (PAN) for phytosanitary treatments.

The project aims to analyze the spray produced by the nozzles to identify which one to use for the sprinkler circuit to be installed on a commercial drone (DJI MG-1) for the application of phytosanitary treatments, taking as a reference a vineyard located in Vicoforte (CN).

The experimental tests of the spray produced for each nozzle the tests were carried out in the "Modesto Panetti" Aerodynamics Laboratory of the Turin Polytechnic and required an initial design phase of the test bench to guarantee the variation of the working parameters: pressure and height of the jet.

The choice of the working pressure is dictated by the information obtained from the catalogue, while the heights have been differentiated to simulate the behavior of the jet on the various layers of the vine.

The test bench consists of a hydraulic supply circuit and the nozzle system that creates the jet on sheets of photographic paper, capable of providing more complete information on the entire area of the jet compared to the traditional use of water sensitive paper (WSP).

The tests were carried out in static conditions using the support of a fixed system without considering the real movement of the drone to evaluate only the characteristics of the nozzle jet.

A water solution with blue Nouvema Acid blue 9 85% dye was used as the working fluid to make a mark that is easy to evaluate against the white background.

The individual sheets obtained, after being left to dry, were analyzed using the ImageJ image processing software which allows to detect the corresponding value of the area for each recognized particle by converting the photo into an 8-bit binary image.

The parameters that have been evaluated to choose the nozzle are related to the mean volumetric diameter (VMD) representative of the entire distribution of the drops, the degree of coverage and the density of the drops on the reference surface equivalent to a hydro sensitive map randomly detected on the entire jet area.

To avoid dripping and drift, the selection criteria adopted for the choice of the nozzles were the size of the drops and how they are distributed in such a way that they fall between 100-500 μm to avoid wasting resources and make the treatment as effective as possible.

The analyzes carried out represent the preliminary phase from which to obtain information on the working pressure and the arrangement of the nozzles in such a way as to define the optimal configuration of the drone.

Capitolo 1: Agricoltura di precisione

Nel seguente capitolo vengono descritte quali sono le nuove tendenze associate ad una delle più antiche attività svolte dall'uomo fin dalla sua esistenza: l'agricoltura.

Il numero limitato di risorse affiancata da un crescente aumento demografico della popolazione sono stati i principali fattori che hanno spinto l'uomo a adottare negli ultimi decenni politiche green per salvaguardare l'ambiente.

Uno dei temi più delicati del settore agricolo è associato ai trattamenti con pesticidi per i quali si prospetta un progressivo abbandono poiché risultano essere dannosi sia per le colture ma anche per l'uomo.

In particolare, le nuove tendenze associate all'applicazione di prodotti fitosanitari si proiettano verso l'utilizzo di droni per effettuare sia attività di monitoraggio, tramite camere multispettrali, sia operazioni di spray aereo differenziate sulla base delle condizioni della coltura rilevate in tempo reale.

Vengono definite, pertanto, le varie tipologie di droni agricoli presenti attualmente sul mercato e, nello specifico, le caratteristiche del drone DJI Agras MG-1 che viene preso come riferimento per poter essere impiegato su un particolare vigneto situato a Vicoforte (CN).

Note, la metodologia di volo del drone e le caratteristiche geometriche del vigneto, l'obiettivo delle prove sperimentali è di ottimizzare il sistema di irrorazione in maniera tale da garantire le specifiche associate alla dimensione delle gocce e una buona distribuzione del prodotto, sulla base delle indicazioni riportate sulla guida sanitaria per la viticoltura.

1.1 Definizione

Il processo di rivoluzione che ha riguardato sia l'industria che il settore terziario ha interessato anche una delle più antiche attività alla base della civilizzazione umana: l'agricoltura.

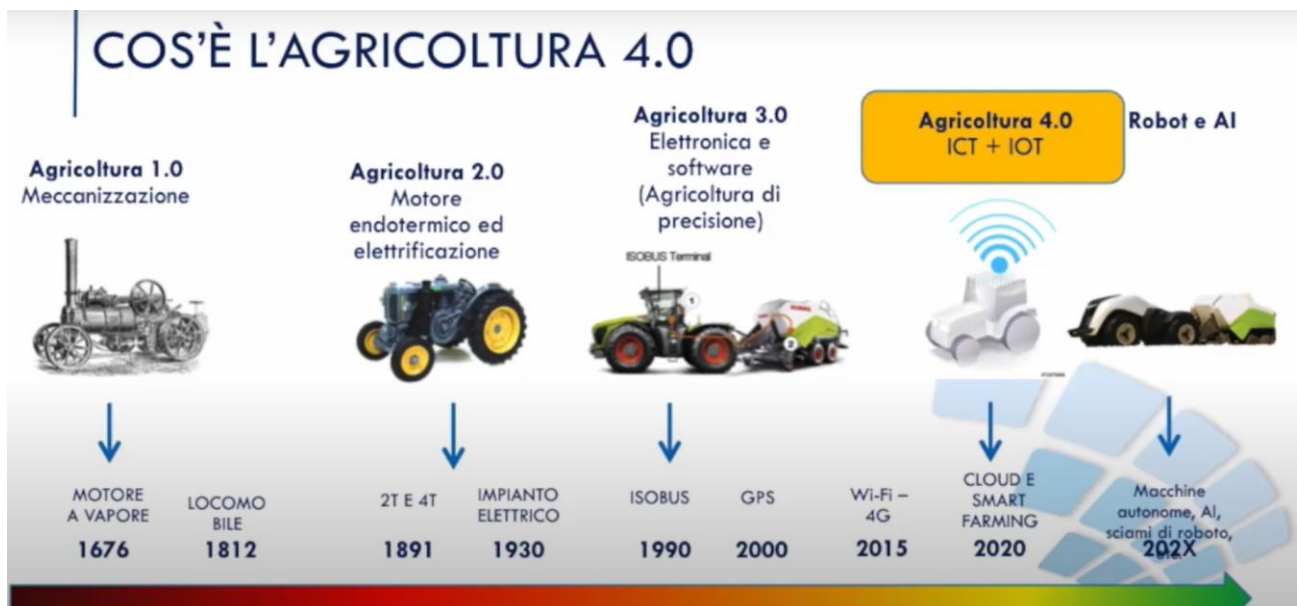


Figura 1.1 - Fasi sviluppo del settore agricolo. Fonte: Eima Interantional "Utilizzo dei droni in agricoltura - DronEzine /Macchine Trattori (italiano)", Youtube, video,4:14, <https://www.youtube.com/watch?v=1rpHWvT8DfE>.

L'agricoltura, come si può osservare dalla *Figura 1.1*, ha subito una serie di trasformazioni nelle varie epoche storiche: inizialmente era un'attività che richiedeva l'impiego di una forte manodopera spesso integrata con la trazione animale, ma, a partire dal 1600 si è assistito al processo di

meccanizzazione delle attrezzature che ha portato nel primo decennio del XXI allo sviluppo di un nuovo tipo di agricoltura, meglio nota come *Agricoltura di precisione o Agricoltura 4.0*.

Ciò che ha determinato lo sviluppo e l'innovazione nel settore agricolo negli ultimi decenni è dovuto dall'esigenza di produrre il 60 % in più per far fronte alla continua crescita demografica che raggiungerà, secondo le stime attuali, i 9 miliardi di persone nel 2050.

Oltre all'incremento della domanda si affiancano anche le problematiche relative al fatto che l'80% delle terre disponibili sono già coltivate e il restante 20% è difficile da reperire a causa dell'edificazione; e, inoltre, le aziende si ritrovano ad avere a disposizione una manodopera agricola sempre più bassa perché i giovani preferiscono occupare posizioni lavorative negli altri settori.

Il termine "*Precision Farming*" è stato usato per la prima volta negli USA nel 1997 e si tratta di un vero e proprio sistema gestionale atto ad aumentare la produttività, l'efficienza produttiva, la redditività aziendale e ridurre al minimo l'impatto ambientale.

Non si tratta di un metodo di lavoro ma di una nuova modalità con la quale gestire l'intera azienda agricola basata sulla collaborazione, sulla conoscenza della propria azienda, dei propri terreni e dei metodi per il raggiungimento di particolari obiettivi.

L'intento è quello di aumentare la resa e la redditività dell'azienda agricola cercando di adottare una politica di sostenibilità finalizzata alla minimizzazione degli sprechi, dell'inquinamento ambientale, salvaguardando la salute delle piante e dell'operatore.

Le innovazioni tecnologiche hanno contribuito in maniera tale da sfruttare al massimo le potenzialità dei terreni.

In particolare, vengono eseguite:

- *Analisi del terreno* finalizzate alla rilevazione delle caratteristiche del suolo;
- Installazione di *stazioni meteorologiche* in modo da conoscere e prevedere le condizioni ambientali;
- *Mappatura della resistività del suolo* in maniera tale da scansionare il terreno e individuare la disposizione delle risorse nutritive;
- *Mappatura dell'indice vegetativo* che consente di valutare la risposta delle piante e il loro grado di benessere.

Quest'ultima attività è quella più innovativa e viene effettuata sfruttando l'utilizzo di *camere multispettrali* che consentono di rilevare lo stato di salute delle colture sfruttando la proprietà di riflessione delle foglie, le quali riflettono in maniera differente la luce a seconda della quantità di clorofilla presente.

Nella *Figura 1.2* viene riportata come esempio la camera multispettrale montata sul modello di drone agricolo Parrot Sequoia.



Figura 1.2 -Camera Multispettrale per il drone Parrot Sequoia. Fonte: <https://www.dronebase.it/prodotto/multispettrale-per-drone-parrot-sequoia-2>.

Queste informazioni vengono acquisite ed elaborate da software dedicati in maniera tale da creare una *mappatura di prescrizione* del terreno utile per intervenire tempestivamente ed effettuare trattamenti differenziati a dosaggi variabili all'interno dello stesso appezzamento.

Per far fronte a queste nuove esigenze, pertanto, vengono adottati mezzi differenti a seconda delle caratteristiche morfologiche e dell'estensione dei terreni: per grandi dimensioni i dispositivi di monitoraggio e di esecuzione dei trattamenti sono installati sulle classiche trattrici agricole, mentre, le nuove tendenze per zone di basse-medie estensioni vedono l'impiego di droni che, oltre ad effettuare operazioni di monitoraggio, vengono equipaggiati con circuiti idraulici per effettuare trattamenti fitosanitari, di diserbo e irrigazione.

L'agricoltura di precisione viene adoperata sempre con maggiore frequenza anche per far fronte alle attuali politiche sostenibili che vengono imposte agli agricoltori per salvaguardare l'ambiente e le risorse.

Nonostante ciò, questa nuova strategia di lavoro richiede forti investimenti e l'impiego di operatori specializzati ed è per questo motivo che al momento è adottata principalmente nei paesi sviluppati; anche in Italia sta avendo sempre maggior impiego, in particolare, nei settori come la frutticoltura e la viticoltura.

1.2 PAN: Piano d'Azione Nazionale per trattamenti fitosanitari

Al fine di garantire la produttività delle colture in maniera tale da sfruttare al massimo le risorse naturali e contribuire in maniera equa all'approvvigionamento della popolazione mondiale è stato sempre necessario eseguire dei trattamenti di prevenzione per la salvaguardia e la salute delle colture.

Le principali cause dei danni provocati alle piante possono essere suddivise a seconda che siano biologiche o non biologiche [1].

Le *cause biologiche* possono essere causate principalmente da virus, citoplasmi, batteri, piante infestanti, insetti ed acari; mentre, alle *cause non biologiche* fanno parte le condizioni ambientali relative alle condizioni di luce e di umidità, gli eventi meteorologici (grandine, neve, vento) e gli squilibri generati a causa dell'inquinamento ambientale oppure dalla tossicità come risultato di trattamenti fitosanitari errati.

Tra i due tipi di cause quelle peggiori per la salute delle piante sono quelle biologiche che vedono come protagonisti microorganismi quali virus e batteri che ne determinano una variazione della

morfologia. La diagnosi richiede delle analisi di supporto in laboratorio e nella maggior dei casi non sono presenti delle cure ma vengono eseguiti dei trattamenti di prevenzione.

La scelta e l'adozione dei metodi di prevenzione sono stabiliti dal PAN ossia il Piano d'azione Nazionale che è uno strumento normativo approvato con il DM del 22 gennaio 2014 che fornisce una serie di regole per eseguire i trattamenti fitosanitari in un'ottica sostenibile a salvaguardia dell'ambiente e della salute dell'operatore.

Le strategie scelte si pongono come obiettivo quello di limitare l'uso di pesticidi. Pertanto, è stata sostituita la strategia per cui i trattamenti venivano effettuati seguendo un calendario, senza tenere conto delle condizioni di salute della pianta, con una politica detta di *difesa integrata* mirata alla razionalizzazione nell'impiego dei prodotti fitosanitari.

L'adozione di questa nuova politica di intervento implica necessariamente che vi sia un continuo monitoraggio delle condizioni delle piante e dell'ambiente, sfruttando le innovazioni tecnologiche, e la ricerca di soluzioni chimiche con un basso grado di rischio per l'ambiente e per l'uomo.

I prodotti fitosanitari (PF) sono comunemente indicati con il termine agrofarmaci da non confondere con il termine pesticidi al quale è associato un significato più ampio poiché comprendono anche i biocidi cioè i prodotti usati per debellare organismi portatori di malattie come ratti e insetti.

I PF si trovano in commercio sotto differenti forme fisiche (polveri, emulsioni, sospensioni concentrate) e si tratta principalmente di una miscela costituita da una o più sostanze attive, coadiuvanti e coformulanti.

Tra queste sostanze quelle coadiuvanti hanno il compito principale di aumentare l'efficacia delle sostanze attive favorendone la distribuzione; in particolare, possiamo distinguere diversi tipi, tra cui gli emulsionanti che migliorano la dispersione di un liquido in un altro e gli anti deriva che aumentano il peso delle particelle liquide per ridurre il rischio che vengano disperse nell'ambiente circostante.

Le linee guida per il corretto utilizzo dei PF, inoltre, forniscono delle istruzioni riferite alle attrezzature impiegate per l'applicazione dei prodotti che, assieme alla ricerca dei componenti chimici, è uno dei temi più importanti in ambito ricerca e sviluppo del settore.

Le condizioni ottimali consistono nel generare delle gocce di diametro pari a **150-200 µm**, che siano distribuite in maniera omogenea sulla superficie della coltura senza che subiscano delle deviazioni e fenomeni di deriva per il quale corrisponderebbe uno spreco di risorse e una riduzione dell'efficacia del trattamento.

La classificazione delle macchine impiegate per i trattamenti è differente a seconda della forma fisica del prodotto e vengono distinte in:

- **Macchine impolveratrici:** costituite da una tramoggia contenente il prodotto, un ventilatore centrifugo e un sistema di distribuzione.
Vengono impiegate maggiormente nella distribuzione dello zolfo nelle viticolture, possono essere trainate dall'operatore oppure dalla trattrice e consentono di ottenere una buona copertura e una buona distribuzione.
- **Macchine irroratrici:** costituite da un serbatoio, una pompa, organi di regolazione (manometro, regolatore di pressione) e distribuzione (ugelli).
Possono essere classificate a seconda di come viene effettuata la polverizzazione del getto in: polverizzazione per pressione, pneumatica e centrifuga. Tra queste modalità quella di maggiore interesse è la prima per cui la pompa consente di ottenere delle particelle di dimensioni che possono variare tra i 20-30 fino ai 500 µm a seconda delle pressioni di esercizio.

- Macchine fumigatrici erogano il prodotto liquido per file o fasce e, pertanto, trovano largo impiego per le colture a file o per trattamenti di diserbo nelle parti inferiori dei vigneti e dei frutteti.

Oltre alle modalità di distribuzione da terra, il PAN sancisce la possibilità, qualora si sia impossibilitati ad utilizzare le macchine tradizionali a causa della conformazione del terreno, di adottare mezzi aerei equipaggiati con un'opportuna strumentazione.

Queste nuove modalità sono poco utilizzate per il settore agricolo nel territorio italiano, mentre, vedono un largo impiego nei paesi orientali nelle coltivazioni di riso e cereali.

L'impiego di droni o mezzi aerei richiede che l'operatore sia opportunamente qualificato, garantisce un intervento rapido e automatico sulla coltura ma, allo stesso tempo, richiede un'ampia analisi preventiva al fine di evitare la dispersione e la deriva del prodotto.

Dai risultati delle indagini realizzate da Legambiente la situazione italiana non è delle migliori, nonostante, siano adottati i piani e le strategie europee per ridurre l'impiego di pesticidi nel settore agricolo che mirano a una riduzione del 50% entro il 2030.

La situazione emergente dal dossier [2] evidenzia come in Italia vi sia un forte utilizzo di pesticidi che mette in serie pericolo la salute dell'intero ecosistema e quella umana.

Nel 2021, come si osserva dal riepilogo dati nella *Figura 1.3*, è stata riscontrata una bassa percentuale di campioni irregolari pari a 1,39%, il 63,29% di campioni regolari senza residuo e il restante 35,32% di alimenti a norma con uno o più residui.



Figura 1.3- Riepilogo dati Dossier. Fonte: Stop ai pesticidi 2021, Legambiente [2].

La categoria di prodotti che presenta il maggior numero di campioni regolari è la frutta; ma all'interno di questa categoria gli alimenti che destano maggiore preoccupazione per l'alta percentuale di fitofarmaci presenti sono le pere, le fragole, le pesche e l'uva da tavola.

In particolare, nell'80% dei campioni di uva analizzati è presente almeno una tipologia di fitofarmaci.

1.3 Guida fitosanitaria per la viticoltura

Come riportato dal dossier di Legambiente, l'uva da tavola rientra nei primi posti tra i frutti che contengono la maggiore percentuale di fitofarmaci residui.

Il motivo principale è correlato al fatto che i trattamenti fitosanitari per le viti sono indispensabili per la protezione della pianta e, di conseguenza, per avere un buon raccolto al termine della stagione.

I principali trattamenti che vengono eseguiti sulla pianta sono realizzati seguendo le linee guida annuali della *guida fitosanitaria per la viticoltura* [3] che spingono verso un utilizzo limitato dei fitofarmaci garantendo dei vantaggi sia a livello economico sia in chiave agricoltura biologica.

Il continuo monitoraggio di parassiti, malattie e malerbe sulla vite consente di limitare i trattamenti poiché impiegati soltanto nel momento in cui viene superata una certa soglia di tolleranza.

Per la vite, ma in generale è valido per qualsiasi tipo di coltura, è importante che vengano seguite tutte le indicazioni riportate sull'etichetta del prodotto in maniera tale da garantire una buona efficacia del trattamento.

Generalmente i dati che vengono riportati fanno riferimento alla corretta concentrazione (%), alla quantità di prodotto a seconda dell'estensione della coltura, le modalità d'uso, il periodo di applicazione e i tempi di attesa per la validazione dell'intervento.

La maggior parte dei trattamenti che interessano la vite vengono eseguiti direttamente sulle foglie e sono finalizzati alla prevenzione delle malattie dovute alla presenza di microrganismi quali funghi e parassiti.

Le principali malattie che determinano l'indebolimento della vite sono la peronospera e l'oidio.

La peronospera è una delle malattie più diffuse nelle viticole e va ad interessare tutte le zone verdi della pianta, sia i grappoli che le foglie.

I primi segni possono essere visti sulle foglie più giovani sulle quali compaiono delle piccole macchie gialle che via via si espandono formando una forma a "macchia d'olio"; mentre, i grappoli vengono attaccati prima o dopo la fase di fioritura e vedono la comparsa di una muffa bianca.

Per difendere la pianta uno dei metodi più diffusi è l'impiego di prodotti a base di rame che non risulta nocivo per insetti e acari utili alla pianta ma è fortemente dannoso per il suolo, essendo un metallo pesante.

L'avvio del trattamento tradizionalmente viene effettuato seguendo la "regola dei tre dieci" cioè:

- Pioggia di almeno 10 mm nell'arco di 24-48 ore;
- Una temperatura di almeno 10°C;
- Una lunghezza dei tralci prossima a 10 cm.

Attualmente, però, le politiche legate alla sostenibilità ambientale e il continuo monitoraggio delle piante consentono di agire in maniera preventiva con interventi mirati per evitare di compromettere l'intero raccolto.

L'oidio, invece, è un fungo patogeno che attacca le piante delle viti e, a differenza della peronospera, attacca tutti gli organi della vite e non necessita di acqua per svilupparsi.

Si presenta sottoforma di una muffa biancastra che fa ripiegare le foglie verso l'alto e determina una riduzione dell'elasticità della buccia fino a portare la formazione di spaccature.

L'unica attività efficace contro questo tipo di malattia è quella preventiva che consiste nell'arricchire sia il terreno che la pianta di minerali e, in genere, l'uso di agrofarmaci è sempre efficace a patto che vengano rispettati i giusti dosaggi e la metodologia di applicazione.

Pertanto, per salvaguardare la vita della pianta vengono effettuati durante l'anno numerosi interventi che possono variare in base alla tipologia e alle condizioni ambientali nella quale è situata. Agli interventi preventivi sono affiancati, soprattutto per le produzioni di vini di alta qualità, trattamenti per carenza di microelementi e per la concimazione fogliare.

Nella maggior parte sono usati prodotti a base di azoto che vengono eseguiti direttamente sulle foglie mediante l'utilizzo di opportune macchine irroratrici che consentono di lavorare con un'elevata precisione.

I trattamenti che vengono effettuati sulle viti richiedono che i prodotti fitosanitari agiscano per contatto sull'intera copertura fogliare sottoforma di gocce fini in maniera tale che possano raggiungere le foglie tra i diversi strati, sfruttando le turbolenze prodotte dal ventilatore.

Una delle principali problematiche associate alla distribuzione del prodotto è il *fenomeno della deriva* rappresentato dalle perdite durante i trattamenti di irrorazione per cui le particelle non raggiungono le zone bersaglio ma vanno a contaminare il terreno circostante e la stessa aria.

Si tratta di un fenomeno complesso e viene influenzato da una serie di fattori:

- Dimensione delle gocce;
- Velocità dell'aria;
- Temperatura dell'aria;
- Altri fattori (presenza di barriere).

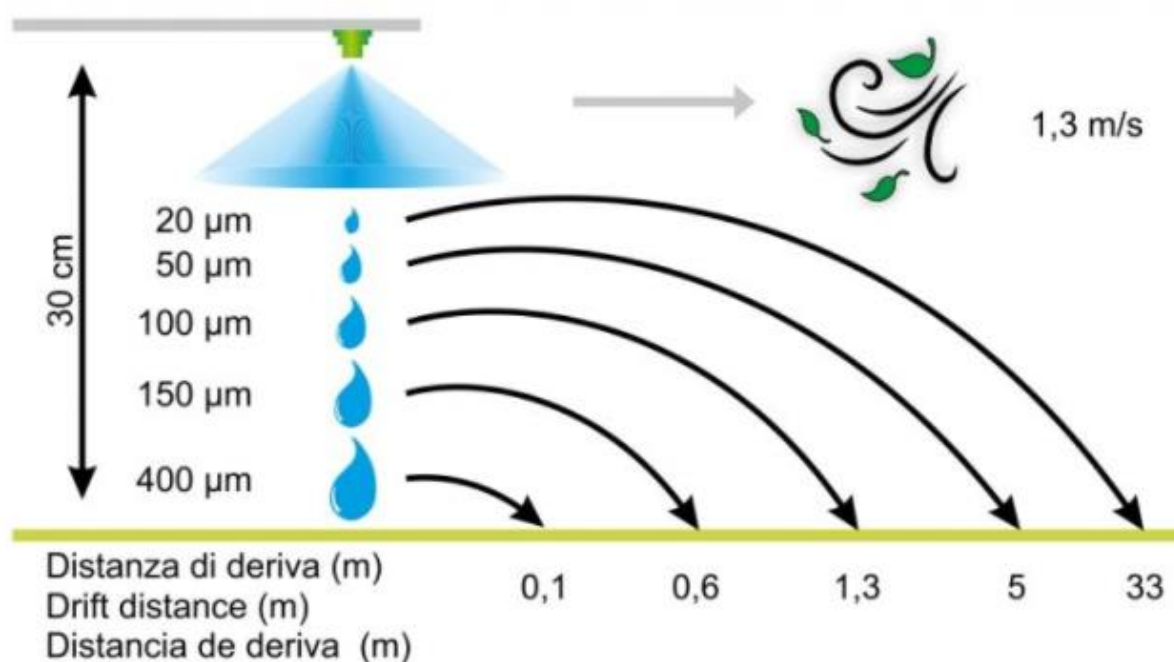


Figura 1.4-Fenomeno della deriva. Fonte: <https://asjnozzle.it/approfondimenti-ugelli-a-ventaglio-antideriva>.

In particolare, come riportato dalla *Figura 1.4*, bisogna tener conto che al crescere della velocità del vento e alla diminuzione della dimensione delle particelle il fenomeno è molto accentuato e fa sì che le gocce raggiungano delle zone sempre più distanti dalla zona bersaglio.

Le nuove politiche e strategie a livello nazionale ed europeo mirano ad una visione green e, pertanto, debbano essere adottate delle misure cautelative per ridurre questa problematica.

Le misure adottate nel settore agricolo possono essere di due tipi, intervenendo in maniera diretta o indiretta.

- Le misure dirette riguardano l'impiego di nuove soluzioni tecnologiche che consentono l'automazione e il monitoraggio delle macchine irroratrici in maniera tale da poter intervenire sui principali parametri del circuito idraulico (dimensione delle gocce, portata e pressione di esercizio) assieme alle azioni finalizzate alla mappatura del terreno in maniera tale da poter differenziare i trattamenti.
- Le misure indirette, invece, cercano di contenere la diffusione delle particelle mediante l'installazione di sistemi di cattura artificiali come delle barriere fisiche posizionate intorno al campo trattato.

In entrambi i casi è importante che le macchine irroratrici impiegate per i trattamenti siano opportunamente sottoposte a programmi periodici di manutenzione in maniera tale da poter garantire la corretta distribuzione del prodotto.

Tra le soluzioni adottate negli ultimi anni vi è quella dell'utilizzo dei droni in campo agricolo equipaggiati con un circuito irroratore in maniera tale da limitare il fenomeno della deriva sfruttando la possibilità di effettuare degli interventi rapidi e meno invasivi rispetto all'utilizzo delle tradizionali macchine irroratrici e, inoltre, garantendo una distribuzione equa sull'intera superficie della pianta.

1.4 Uso dei droni in agricoltura

I droni si inseriscono nell'ambito dell'evoluzione del settore agricolo e sono uno degli strumenti principali associati al controllo e il monitoraggio dei terreni. Sono opportunamente equipaggiati con sensori e camere multispettrali in maniera tale da effettuare un'opportuna programmazione dei trattamenti.

L'utilizzo e la diffusione dei mezzi aerei sono stati favoriti dal Green Deal europeo per la salvaguardia e il miglioramento delle condizioni ambientali.

Nonostante richiedano forti investimenti iniziali, gli imprenditori agricoli possono beneficiare, grazie al Piano di Transizione 4.0 del Ministero dello Sviluppo Economico, del credito d'imposta per effettuare questo tipo di acquisti in maniera tale da ammodernare le strumentazioni all'interno delle proprie aziende.

I droni consentono di effettuare una serie molto ampia di analisi che possono riguardare lo stato di salute delle piante e del suolo, valutare se vi sono delle infestazioni in atto, effettuare trattamenti biologici e attività di diserbo.

Generalmente non sono impiegati singolarmente ma in maniera coordinata per poter effettuare un monitoraggio completo che può essere gestito direttamente dall'operatore oppure in maniera automatica, previa opportuna programmazione.

Le informazioni che vengono acquisite tramite un opportuno sistema di sensori consentono all'agricoltore/agronomo di poter intervenire in modo mirato e tempestivo sulla pianta in maniera tale da garantire una maggiore produttività dell'azienda sia in termini di tempo che in termini di costi.

Sono considerati dei veri e propri aeromobili e non è possibile usarli liberamente in quanto l'operatore che lo gestisce e lo controlla deve essere opportunamente qualificato.

Secondo il regolamento italiano le attività che possono essere svolte dal drone sono:

- Mappatura e monitoraggio;
- Verificare l'indice di salute delle piante mediante camere multispettrali;
- Rilasciare di capsule biodegradabili(uova) per combattere elementi infestanti.

Mentre, in Italia le attività che riguardano lo spray aereo per effettuare la distribuzione di prodotti fitosanitari e attività di diserbo sono assolutamente vietate; a differenza della Francia in cui è stata introdotto un emendamento che consente lo spray sulle colture con una pendenza del terreno superiore al 10%.

Inoltre, la regolamentazione prevede che l'operatore debba possedere i seguenti requisiti:

1. Attestato di competenza;
1. Assicurazione del velivolo;
2. Registrazione del drone e dell'operatore sul portale D-flight.

È possibile conseguire l'attestato di pilotaggio direttamente sul portale dell'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC).

A differenza degli anni precedenti viene rilasciato a fronte di una spesa pari a 31 € a fronte alle migliaia di euro al quale era fissato negli anni precedenti, dove l'utilizzo dei droni era molto limitato ed era ritenuto pari a quello dell'utilizzo di un vero e proprio velivolo.

Inoltre, per effettuare le lavorazioni sui campi agricoli è consigliabile per gli agricoltori, agronomi e tecnici che conseguano l'attestato destinato operazioni specializzate in quanto non si tratta di operazioni a scopo ricreativo ma finalizzate alla realizzazione di un servizio.

Il secondo requisito obbliga che il drone per poter essere utilizzato in pubblico sia assicurato, indipendentemente dalle modalità di utilizzo.

Il terzo requisito, invece, richiede la registrazione del pilota e del drone sul portale D-flight. La registrazione del drone è gratuita e consente di controllare se vi siano dei limiti all'interno dell'area di volo, ad esempio, nei pressi di aeroporti o carceri per cui le massime altezze consentite sono inferiori rispetto all'altezza standard di 120 m.

È obbligatorio, inoltre, disporre il drone di un trasponder in maniera tale da fornire in tempo reale la posizione del drone.

1.5 Classificazione dei droni

È possibile effettuare una classificazione dei droni [3] sulla base della loro struttura, in particolare a seconda che sia dotati di ala fissa o rotante, alla quale corrispondono performance e caratteristiche differenti.

I *droni ad ala fissa* sono velivoli senza equipaggio di piccole dimensioni. Le dimensioni del drone e una maggiore autonomia di volo consentono di ricoprire aree molto ampie e di sopportare carichi maggiori.

D'altra parte, invece, richiedono delle vere e proprie piste di decollo e atterraggio, hanno dei costi molto elevati e non possono essere impiegati per effettuare voli stazionari che consentono al drone di potersi mantenere fisso in una particolare posizione.

I *droni ad ala rotante* hanno un funzionamento simile a quello degli elicotteri e possono essere ulteriormente classificati sulla base del numero di rotori ad asse verticale che possono essere pari a quattro, sei o otto.

A differenza dei droni ad ala fissa le dimensioni di quest'ultimi sono nettamente inferiori e sono svantaggiati in termini di stabilità qualora le condizioni atmosferiche siano particolarmente ventose, e per la stessa ragione, possono sostenere carichi ridotti.

Il principale vantaggio che fa sì che questo tipo di drone trovi un largo impiego nel settore agricolo, oltre ai costi contenuti, è associato alla possibilità di poter effettuare voli in condizioni stazionarie ed effettuare le fasi di decollo e atterraggio richiedendo piccole aree di manovra.

Entrambe le tipologie di droni sono controllate da un operatore specializzato mediante l'utilizzo di un controller dal quale è possibile visionare su un piccolo display la vista in tempo reale del velivolo grazie alla trasmissione delle immagini provenienti dalle camere, sfruttando le connessioni di rete wi-fi.

L'applicazione dei droni in campo agricolo è una metodologia diffusa negli ultimi anni e vede come principali protagonisti i droni ad ala rotante, i quali garantiscono una maggiore flessibilità in quanto possono essere facilmente spostabili sulla base delle differenti esigenze e, inoltre, consentono di realizzare delle turbolenze che contribuiscono a indirizzare le particelle verso le zone bersaglio.

Gli svantaggi, invece, nell'utilizzare questo tipo di droni sono correlati alla bassa capacità di carico e all'autonomia ridotta. Sono in grado di trasportare carichi fino a 20 kg, mentre, l'autonomia massima è di 15-20 minuti; per queste ragioni gli interventi vengono generalmente programmati in maniera tale da consentire al drone di ritornare nella stazione di ricarica prima che esaurisca completamente la batteria e alimentando il serbatoio con le minime quantità di prodotto per evitare di lavorare con carichi superflui.

1.6 Droni agricoli

Negli ultimi decenni le maggiori case produttrici dei droni a causa delle nuove esigenze in chiave ambientale hanno avviato la progettazione di droni in maniera tale che possano essere impiegati per il settore agricolo per operazioni di monitoraggio e di esecuzione dei trattamenti diretti sulle colture.

I primi droni, infatti, sono stati realizzati per applicazioni esclusivamente militari per attività di sorveglianza, successivamente hanno trovato largo impiego nel settore video e fotografia permettendo di realizzare delle riprese dall'alto in maniera facile e veloce.

Attualmente i principali marchi in prima linea per la produzione di droni agricoli sono: Dji e Parrot [4].

L'azienda tecnologica cinese Dji offre principalmente due modelli di droni: AGRAS MG-1 E AGRAS T16 che, però, non sono presenti sul mercato italiano a causa delle direttive introdotte dal Pan per cui sono vietate le operazioni di volo e di spray.

Al contrario questi modelli sono fortemente diffusi nei paesi orientali, soprattutto in Giappone, dove queste tecniche sono utilizzate già da diversi anni e sono impiegati principalmente nelle colture di riso e cereali.

L'azienda francese Parrot, invece, ha lanciato due differenti modelli: Bluegrass e Ag 360 SenseFly. Il primo è un drone ad ala rotante a quattro rotori ad asse verticale sul quale è montata una camera multispettrale Sequioia per poter effettuare operazioni di rilievo i cui dati vengono inviati in tempo reale al tablet dell'agricoltore oppure registrati in maniera tale da poter essere elaborati con software dedicati.

Il secondo modello Ag 360 SenseFly è, invece, un drone ad ala fissa che consente di effettuare operazioni di monitoraggio su aree più vaste e trova largo impiego nelle coltivazioni di mais e frumento.

Oltre a questi due produttori, anche le piccole aziende e numerose start up si sono fatte avanti nella progettazione dei droni agricoli con l'obiettivo di introdurre le migliori tecnologie; il tema dei droni agricoli, infatti, ricopre una buona parte del mercato emergente e si prevede che raggiungerà nel 2024 i 5 miliardi di dollari.

DJI Agras T16

Il modello più recente con tecnologia all'avanguardia della compagnia cinese DJI è il drone agricolo Agras T16.



Figura 1.5 – Drone agricolo DJI Agras T16. Fonte: <https://www.aerialclick.com/agras-e-accessori/263-agras-t16>.

Si tratta di un drone ad ala rotante, caratterizzato da bassi pesi e un'alta resistenza per via dell'utilizzo della fibra di carbonio; consente di trasportare fino 16 litri di liquido che può essere spruzzato fino a ricoprire una larghezza di 6,5 metri tramite un sistema di 8 ugelli irroratori, come riportato nella *Figura 1.5*.



Figura 1. 6 – Drone agricolo DJI Agras T16 vista dall'alto (a sinistra) e configurazione ripiegata (a destra). Fonte: www.dji.com/it/t16

Il drone, inoltre, presenta un sistema modulare per cui è possibile rimuovere con facilità sia il serbatoio che la batteria di alimentazione in maniera tale che possono essere sostituiti con facilità e garantire un'elevata produttività.

Anche il trasporto risulta essere facilitato grazie alla possibilità di ripiegare i singoli elementi del drone in modo tale da compattare il velivolo.

La vera e propria innovazione è l'utilizzo di un sistema di controllo che sfrutta le informazioni provenienti dal radar in maniera tale da riconoscere gli ostacoli, aggirarli e continuare a percorrere la traiettoria originale.

Grazie ad algoritmi di intelligenza artificiale, inoltre, viene impiegato nei frutteti in maniera tale da percorrere una traiettoria voluta ad altezza variabile in base alla vegetazione e regolando i getti in base alla sua distribuzione.

Drone di riferimento: DJI AGRAS MG-1

Nel seguente progetto di tesi il drone a cui si fa riferimento sul quale dovrà essere installato il circuito irroratore ottimizzato è il modello DJI AGRAS MG-1.



Figura 1. 7 – Drone Agricolo di riferimento: DJI Agras MG-1. Fonte: <https://www.dronedireto.com.br/dji-agras-mg-1p-drone-pulverizacao-agricola>.

Si tratta del modello, prodotto dalla compagnia cinese, precedente a quello analizzato nel paragrafo precedente.

L'MG-1 è un drone ad ala rotante caratterizzato dalla presenza di otto rotori. La resistenza ad acqua e polvere garantisce la lavabilità e di poter essere impiegato senza grossi problemi in ambiente agricolo.

È dotato di 8 bracci e un numero di ugelli pari a 4, facilmente interscambiabili, che garantiscono l'irrorazione dei terreni agricoli, campi e foreste con velocità fino a 60 volte maggiori rispetto ai metodi irroratori manuali.

Dai dati riportati dalla scheda tecnica del produttore è in grado di ricoprire aree di 4000-6000 m² in soli 10 minuti e, inoltre, è dotato di un sistema di spruzzatura intelligente che è in grado di regolare il getto in base alla velocità di volo in maniera tale da garantire la distribuzione omogenea dei pesticidi sull'intera coltura, riducendo gli sprechi e l'inquinamento ambientale.

Il potente sistema di propulsione generato dai rotori ad asse verticale è in grado di sopportare carichi fino a 10 kg utili per il trasporto del pacco batterie, del radar, del serbatoio e del circuito irroratore.



Figura 1.8- Drone DJI Agras MG-1: dettaglio ugello irroratore. Fonte: <https://www.ildrone.net/prodotto/agras-mg-1-dji>.

Il serbatoio contenente la miscela di prodotto fitosanitario è posizionato al centro del corpo del drone e consente l'alimentazione del circuito irroratore che distribuisce il prodotto verso il basso sfruttando le spinte d'aria verticali al fine di evitare il fenomeno della deriva.

Il drone è dotato di un radar, il quale consente di evitare gli urti con gli ostacoli e, allo stesso tempo, seguire la traiettoria desiderata.

L'autonomia del velivolo è fortemente influenzata dalle condizioni di lavoro, in particolare, i principali parametri da tenere in conto sono: la velocità di avanzamento del drone e le condizioni di carico.

Le condizioni più sfavorevoli da questo punto di vista si hanno nel momento in cui il drone si trova a lavorare con la massima velocità di spruzzatura dichiarata pari a 8 m/s e nelle condizioni di pieno carico pari 24,5 kg al quale corrisponde un'autonomia di circa 12 minuti; l'autonomia massima del velivolo è pari a 25 minuti e la si ha nelle condizioni per cui risulti essere privo di carico quando è impiegato per le operazioni di monitoraggio.

Un ulteriore vantaggio nell'utilizzo di questo drone è la facilità di trasporto grazie alla possibilità di ridurre le dimensioni d'ingombro, ripiegando i singoli bracci.



Figura 1.9- Drone DJI Agras MG-1: configurazione ripiegata. Fonte: <https://www.dji.com/it/mg-1>.

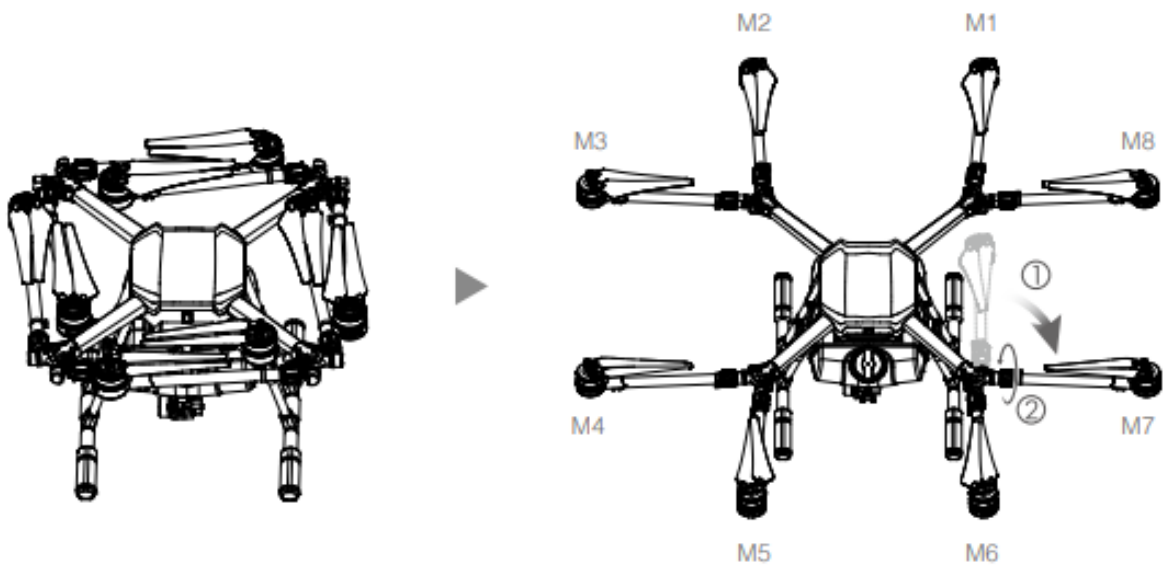


Figura 1.10- Drone agricolo DJI Agras MG-1, schema configurazione ripiegata (a sinistra) e aperta (a destra).
 Fonte: https://dl.djicdn.com/downloads/mg-1/en/MG-1_User_Manual_en_v1.2.pdf

Dal punto di vista della progettazione del circuito irroratore è di fondamentale importanza avere a disposizione la totale geometria del drone nelle condizioni di lavoro in maniera tale da riconoscere la posizione e le distanze dal corpo centrale degli ugelli e dei rotori.

Le informazioni sulla geometria esatta del drone non vengono riportate direttamente nella scheda tecnica del costruttore ma vengono riportate di seguito i disegni quotati dalla Tesi di Marco Persico *Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni* [6], mentre dal manuale del drone è possibile ricavare le dimensioni di massimo ingombro del velivolo.

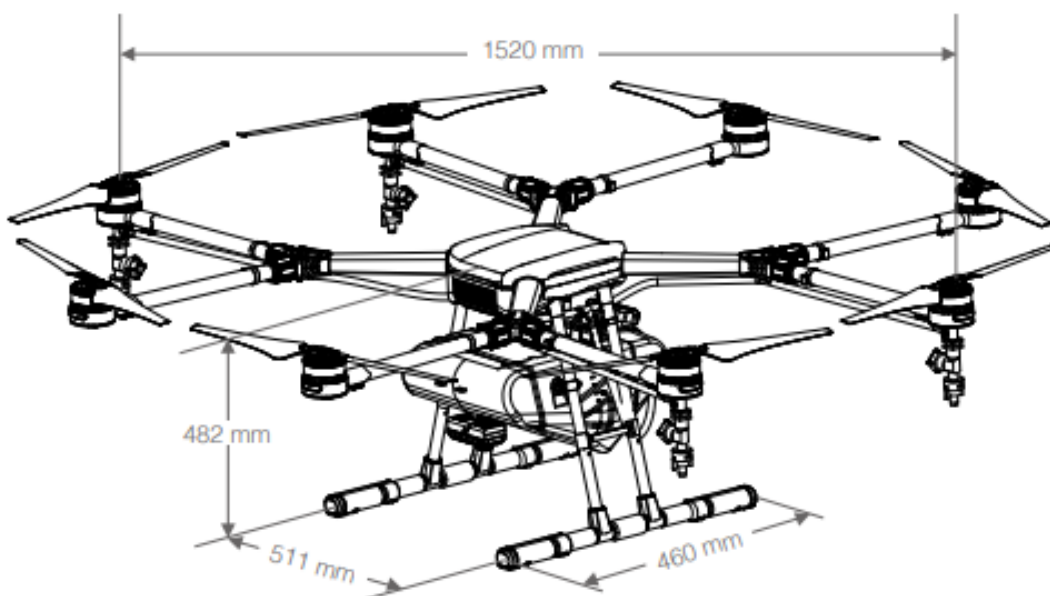


Figura 1.11- Drone agricolo DJI Agras MG-1, dimensioni caratteristiche nelle condizioni di lavoro.
 Fonte: https://dl.djicdn.com/downloads/mg-1/en/MG-1_User_Manual_en_v1.2.pdf

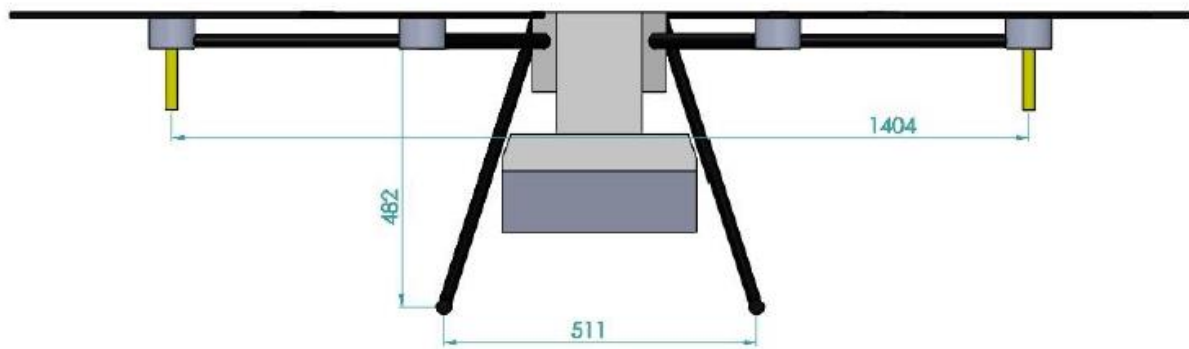


Figura 1.12- Disegno drone agricolo DJI Agras MG-1, vista laterale. Quote in mm. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

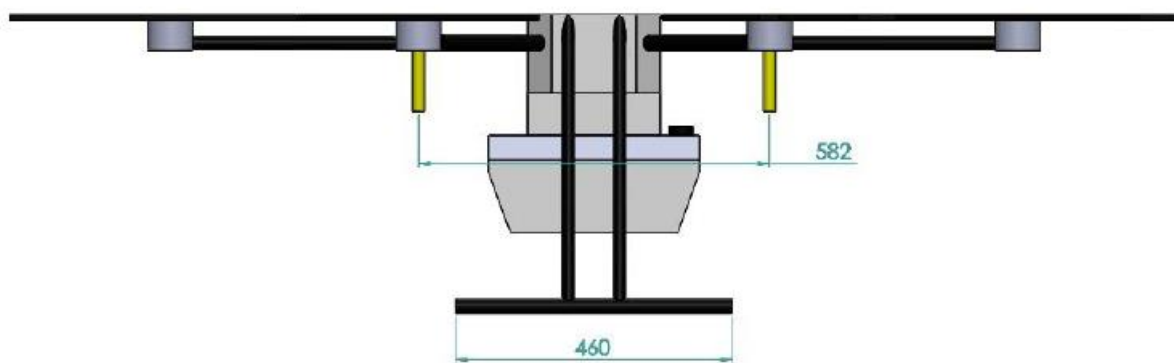


Figura 1.13- Disegno drone agricolo DJI Agras MG-1, vista laterale. Quote in mm. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

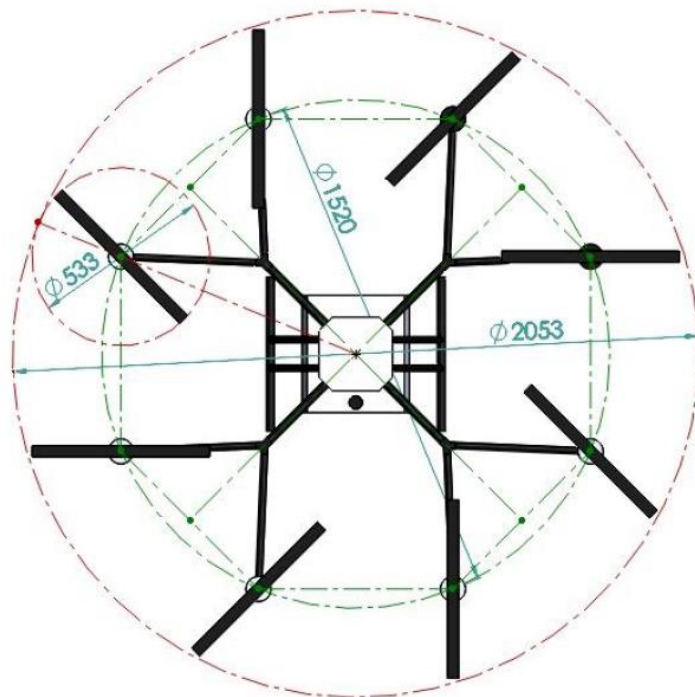


Figura 1.14- Disegno drone agricolo DJI Agras MG-1, vista dall'alto. Sono riportati in rosso gli ingombri del drone, e in verde la disposizione di base dei rotori. Quote in mm. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

L'obiettivo del seguente lavoro di tesi, note le caratteristiche geometriche del drone di supporto, è di valutare la configurazione ottimale del circuito irroratore individuando il tipo e il numero di ugelli necessari, la distanza tra di essi e, eventualmente, la possibilità di inclinare quelli più esterni in maniera tale che il getto possa raggiungere la zona inferiore della vite.

Il drone offre la possibilità di utilizzare fino ad un massimo 4 ugelli che possono essere facilmente intercambiabili grazie ad un collegamento ad attacco rapido.

Per l'individuazione di questi parametri è importante, inoltre, definire la modalità di utilizzo del drone specificando quale sia la sua disposizione rispetto alla pianta e l'altezza di volo, trattate nel paragrafo successivo.

1.7 Strategia di volo

L'impiego dei droni nel settore agricolo ma, in particolare, nei vigneti trova un vasto campo di utilizzo per via delle caratteristiche dei terreni nel quale sono situati.

La maggior parte delle coltivazioni specialmente nel Nord Italia non sono posizionate su superfici pianeggianti o collinari ma su terreni scoscesi e scomodi da potere essere trattati con macchine irroratrici tradizionali che, infatti, vengono generalmente sostituite con trattori cingolati.

Per questo motivo è bene evidenziare l'importanza dell'utilizzo dei droni e soffermarsi su quali sono le possibili strategie di volo del drone sulle colture per garantire la massima riuscita del trattamento senza che si inneschino problemi legati all'inquinamento ambientale e allo spreco delle risorse.

Le strategie di volo [7] che possono essere adottate possono essere di due tipi:

- Volo interfilare;
- Volo sopra il filare;

Le due tipologie differiscono a seconda che si programmi il passaggio del drone nella zona compresa tra i filari oppure direttamente sopra di essi e vengono scelti a seconda di chi sia destinato il trattamento.

Un secondo parametro importante da tenere in conto per far sì che il trattamento venga eseguito correttamente ed evitare che vi sia una dispersione di miscela è l'altezza di volo.

È consigliabile che il drone non sia impostato in maniera tale da lavorare a basse altezze, a ridosso della pianta, poiché questo rappresenta un grosso problema in quanto la presenza di rami o altri oggetti potrebbe determinare urti e portare, nei casi estremi, alla rottura della struttura.

Per questo motivo è preferibile che il drone venga mantenuto in maniera tale che gli ugelli si trovino ad una distanza pari a 0,5 metri dalla superficie superiore della vite in maniera tale da evitare la possibilità di incorrere in urti e, in secondo luogo, garantire una buona distribuzione del prodotto sulla pianta.

Volo sopra il filare

La scelta del volo del drone al centro del filare è la tecnica di volo maggiormente impiegata per effettuare i principali trattamenti fitosanitari.

Il principale vantaggio per cui viene adottata questa strategia è correlato alla possibilità di poter indirizzare il getto verso la pianta in maniera efficace sfruttando il flusso d'aria generato dai rotori, chiamato downwash.

Questo fenomeno garantisce alla miscela di entrare in contatto con tutte le superfici e, in particolare, negli strati più interni della pianta che altrimenti risulterebbero difficili da colpire.

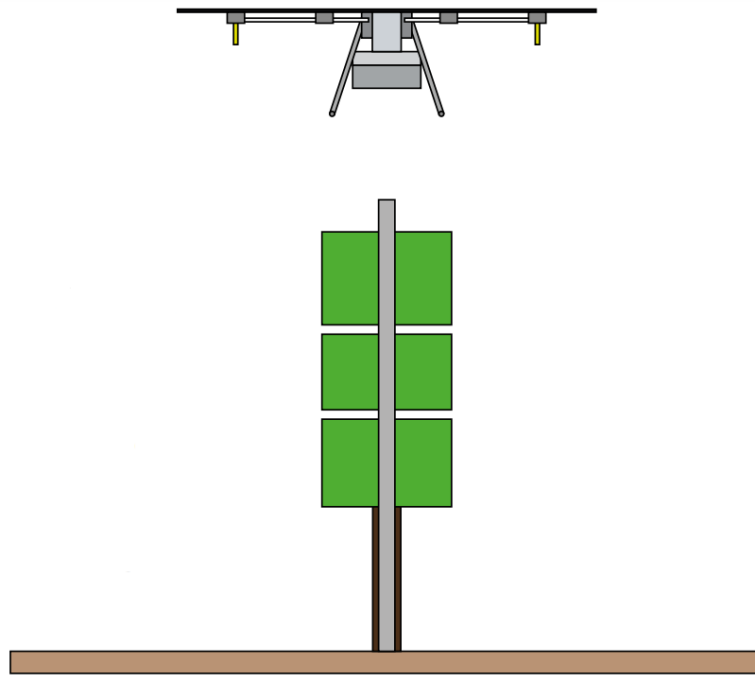


Figura 1.15- Strategia di volo del drone sopra il filare. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

Volo interfilare

La scelta del volo con il drone posizionato tra i filari viene adoperato nel momento in cui la zona interessata al trattamento, per la ragione indicata nel paragrafo precedente, sia quella interposta tra i due filari.

Infatti, questo tipo di strategia è applicata per l'eliminazione delle erbe nella parte inferiore della pianta e nella zona intermedia per evitare che possano raggiungere la pianta e contagiarla.

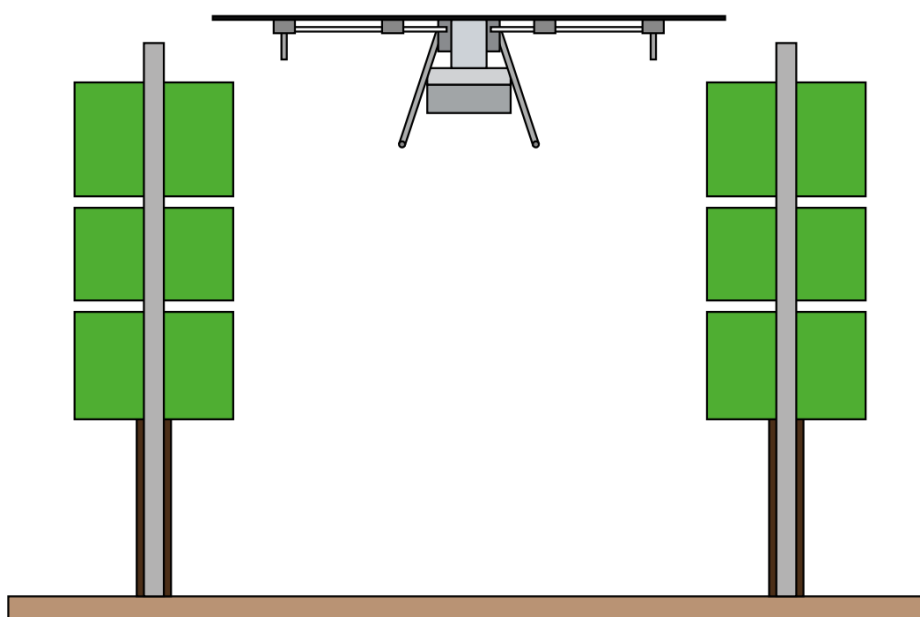


Figura 1.16-Strategia di volo del drone interfilare. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

Sulla base delle possibili strategie che possono essere impiegate, la scelta ricade sull'utilizzo del drone in maniera tale che percorre la traiettoria sopra il filare e, inoltre, garantendo che la distanza verticale ugello-vite sia costante e pari a 0,5 m.

È sulla base di queste scelte iniziali che è stata effettuata l'intera analisi per la realizzazione ottimale del circuito individuando quali siano i tipi di ugelli che siano in grado di effettuare in maniera efficace il trattamento.

I vincoli da rispettare per la configurazione finale del circuito sono correlati al fenomeno della deriva per cui le particelle fini tendono ad allontanarsi dalle zone bersaglio e al ricoprimento dell'intera superficie fogliare della pianta, attraversando anche gli strati più interni e nascosti.

Gli altri fattori di cui bisognerebbe tenere in conto sono le velocità di avanzamento del drone che, però, vengono tralasciate dal momento che i test sperimentali sono effettuati in condizioni statiche, studiando e analizzando i diversi getti esclusivamente a seconda del tipo di ugello impiegato.

1.8 Vigneto di riferimento

Nel seguente paragrafo viene effettuata la descrizione del vigneto preso come campione sul quale effettuare la distribuzione dei trattamenti fitosanitari.

I parametri adottati per le successive analisi e per la costruzione del banco prova devono, infatti, tener conto necessariamente delle caratteristiche della coltivazione: la geometria e le rispettive quote.

Le informazioni dettagliate della vite, come fatto in precedenza per il drone di supporto, sono state recuperate dal lavoro di tesi di Marco Persico *Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni* [6] grazie alla collaborazione con l'azienda agro-turistica *Antica Meridiana Relais-Art* di Vicoforte (CN) che possiede alcuni vigneti di uva da vino presso la località Bricco Mollea, coltivati con il vitigno *Dolcetto*.

L'azienda ha direttamente fornito le misure associate ai vigneti che sono caratterizzati da una particolare struttura, denominata "a spalliera", che fornisce un sostegno alla pianta in maniera tale da controllare la crescita dei germogli e facilitare le operazioni per la raccolta.

La struttura a spalliera, come riportato nella *Figura 1.17*, è costituita da una serie di pali fissati nel terreno collegati tra loro con una serie di fili metallici posizionati ad altezze differenti rispetto al terreno.

Nel dettaglio i pali vengono posizionati lungo lo stesso filare ogni 2 metri; mentre, i fili metallici sono disposti lungo la direzione verticale come mostrato in figura.

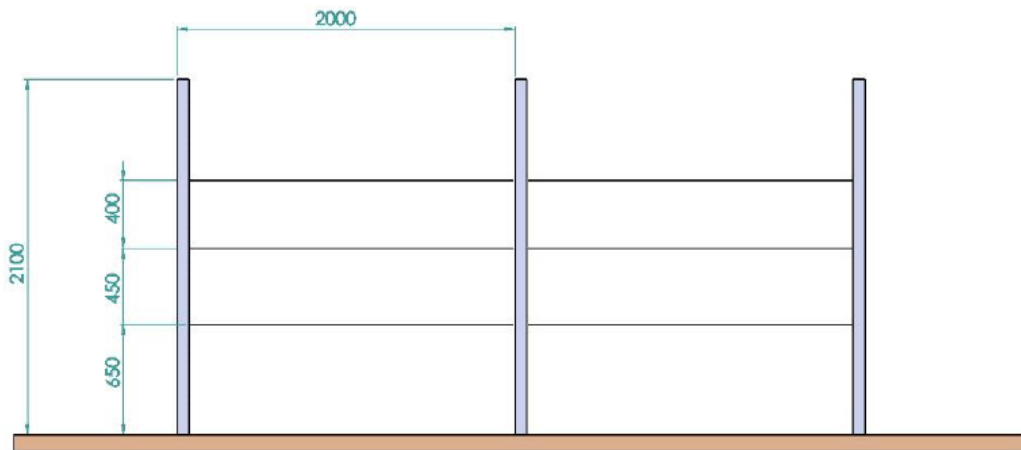


Figura 1.17- Vista laterale del prospetto della struttura a spalliera. Quote in mm. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irradiazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

Si fa in modo che la pianta e la sua chioma vadano a posizionarsi sui singoli fili dove lo sviluppo avviene principalmente lungo la direzione del filare, mentre, nella direzione verticale è la parte superiore a presentare una densità di foglie maggiore.

A partire da queste considerazioni, è stata presa in esame una sola porzione dell'intera coltivazione compresa tra due campate di spalliera di due filari contigui.

Nonostante la vite presenti una densità di foglie differente lungo la direzione verticale poiché vi sono delle zone più fitte in alto e meno dense in basso, la modellazione della pianta è stata effettuata ipotizzando che la copertura delle foglie sia omogenea e, di conseguenza, come se il trattamento venisse eseguito su un parallelepipedo le cui dimensioni sono note.

Si riportano nelle Figura 1.18 e Figura 1.19 rispettivamente le quote della vite nella vista laterale e frontale.

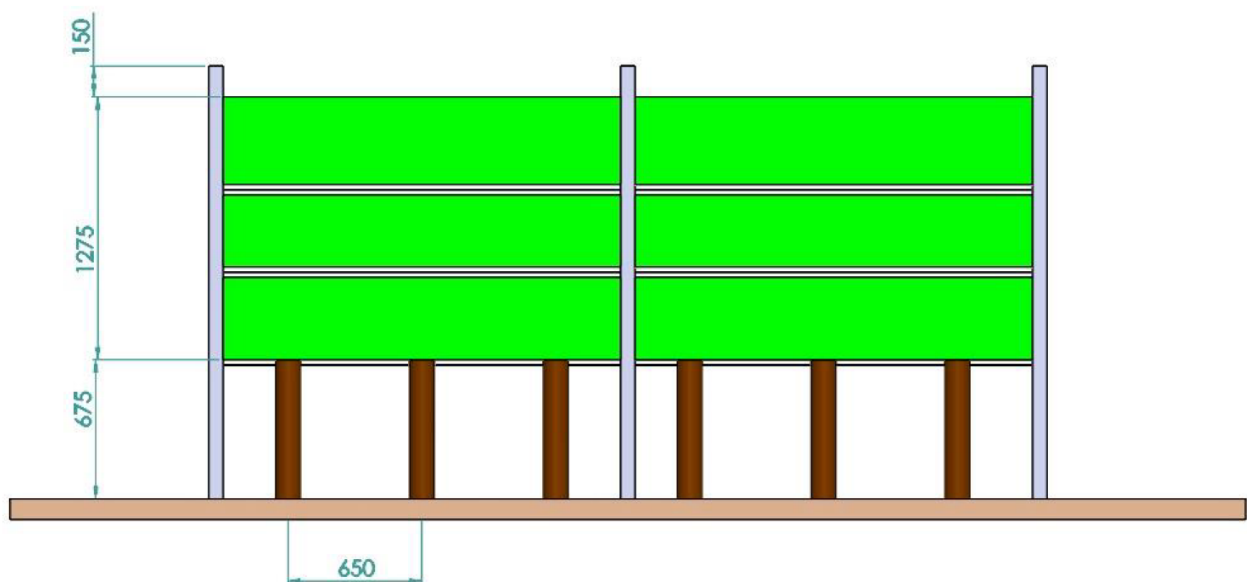


Figura 1.18 – Vista laterale della vite compresa tra due campate di spalliera. Quote in mm. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irradiazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

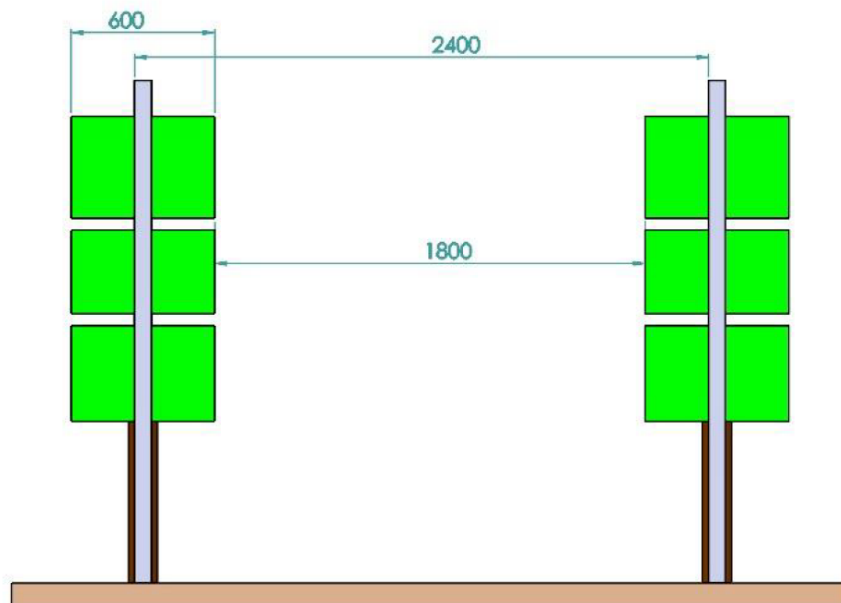


Figura 1.19— Vista frontale di due filari della vite. Quote in mm. Fonte: T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni, ottobre 2020.

Fissata la strategia di volo del drone che risulta essere centrata con un avanzamento lungo la direzione del filare, le informazioni più importanti vengono ricavate dalla vista laterale.

In particolare, la specifica che deve essere rispettata dal circuito irroratore e dal sistema di ugelli riguarda la larghezza della superficie superiore della pianta (600 mm) e non necessariamente della lunghezza nella direzione di avanzamento in quanto si può realizzare una copertura omogenea facendo in modo che il drone compia più passate.

Il secondo dato utile, invece, è quello riferito all'estensione verticale della pianta dal momento che la configurazione ottimale del circuito deve garantire anche una buona distribuzione del prodotto lungo la superficie laterale, realizzata utilizzando degli ugelli opportunamente inclinati.

Quest'ultimo dato deve essere, inoltre, combinato con la scelta preventiva di far lavorare il drone ad un'altezza fissa dell'ugello irroratore dalla superficie superiore della pianta pari 0,5 m.

Capitolo 2: Descrizione banco prova

Nel seguente capitolo viene effettuata la descrizione del banco prova impiegato per la realizzazione delle prove sperimentali finalizzate alla caratterizzazione del getto, evidenziando come il sistema garantisca di differenziare i parametri relativi alla pressione di esercizio e l'altezza di irrorazione, cioè la distanza verticale tra l'ugello e il supporto sul quale viene posizionato il foglio.

Si riportano nel dettaglio le caratteristiche tecniche dei singoli componenti impiegati e gli accorgimenti utili ai fini di ottenere delle simulazioni corrette e, di conseguenza, dei risultati attendibili.

2.1 Caratteristiche generali banco prova

Ai fini di individuare la configurazione ottimale del circuito irroratore da installare sul drone per la distribuzione dei trattamenti sul vigneto, descritto nel paragrafo precedente, è stato necessario realizzare un opportuno banco prova.

È importante evidenziare che le prove sono state realizzate in condizioni statiche tralasciando il fatto che il drone abbia una velocità di avanzamento che li consente di poter ricoprire l'intera area della coltivazione.

Questa ipotesi di partenza è molto importante ai fini delle valutazioni dei risultati finali in quanto potrebbero ulteriormente beneficiare del fatto che il flusso d'aria prodotto dal drone permetta di ridurre la dimensione delle gocce e convogliarle sulla superficie fogliare.

L'idea di base per la costruzione del banco è stata quella di realizzare un sistema sul quale poter installare il circuito idraulico di alimentazione e, allo stesso tempo studiare in maniera efficace il getto prodotto dai singoli ugelli.

Una seconda caratteristica importante è la flessibilità del sistema in maniera tale da poter intervenire sul circuito per modificare i parametri d'interesse.

In particolare, i principali parametri che sono stati presi in esame sono riferiti alla pressione di esercizio del circuito idraulico e l'altezza di irrorazione degli ugelli.

Essendo l'obiettivo iniziale delle prove quello di valutare esclusivamente il getto prodotto a seconda dell'ugello, il banco prova è stato realizzato per analizzare un singolo ugello per volta.

In definitiva è stato utilizzato come elemento principale del banco prova, di cui verranno descritti in dettaglio i vari componenti, un carrello di supporto sul quale sono state fissate delle aste di alluminio forate in maniera tale da poter regolare con facilità le altezze di irrorazione.

Le simulazioni sono state effettuate presso il Laboratorio di Aeronautica "Modesto Panetti" del Politecnico di Torino che offre la possibilità di utilizzare le griglie di scolo per eliminare i liquidi superflui prodotti dai singoli ugelli.

Il banco prova adottato, riportato in *Figura 2.1*, può essere suddiviso in due gruppi fondamentali:

1. Circuito di alimentazione (1);
2. Sistema ugello (2).

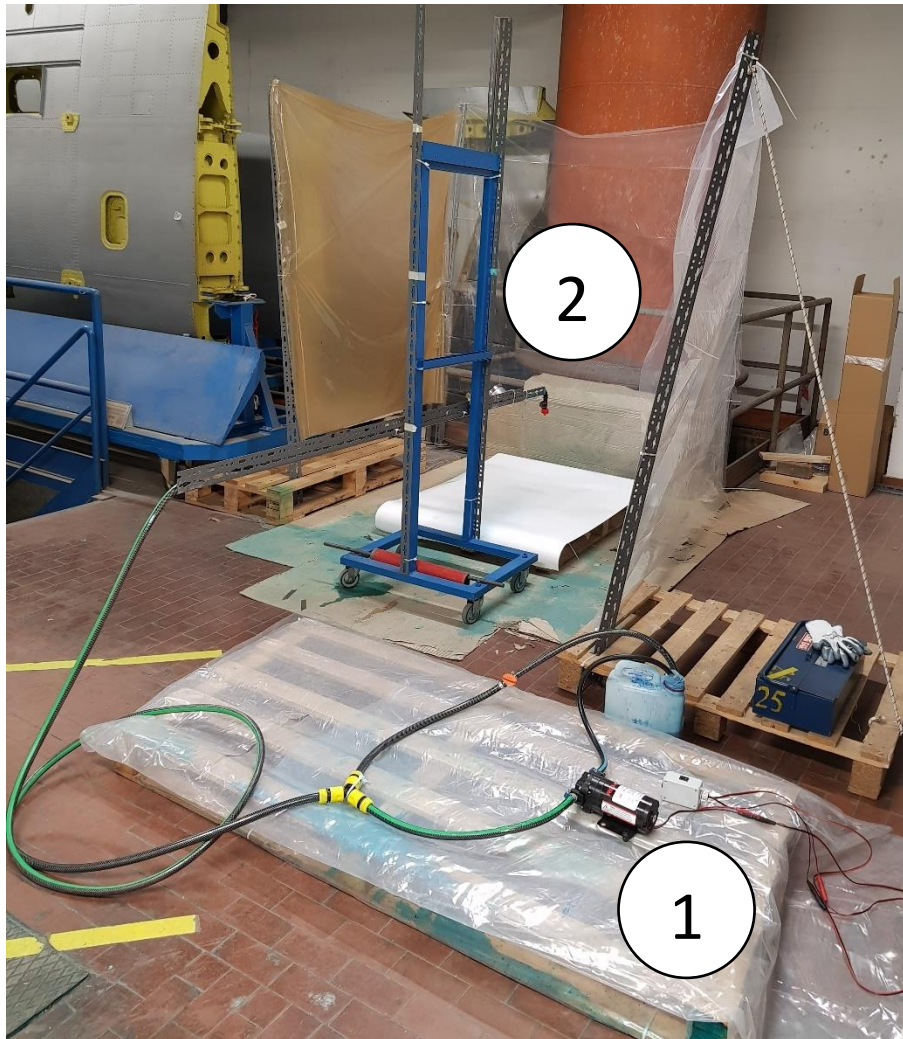


Figura 2.1- Banco prova utilizzato per le prove sperimentali costituito dal circuito di alimentazione(1) e dal sistema ugello(2).

Il circuito di alimentazione consente di prelevare il liquido da un serbatoio e portarlo in pressione per fare in modo che raggiunga l'ugello, il quale invece determina un particolare getto a seconda del tipo e delle condizioni di funzionamento.

L'impiego del banco prova è, dunque, quello di valutare le caratteristiche dei getti prodotti dagli ugelli le cui proprietà possono essere ricavate in maniera differente.

Nella maggior parte delle applicazioni effettuate su terreni agricoli e per studi bibliografici queste analisi vengono realizzate utilizzando delle particolari strisce di carta reagente dette cartine idro sensibili o Water Sensitive Paper (WSP) che assumono una colorazione blu al contatto con l'acqua. In genere hanno delle dimensioni molto ridotte (76x52 mm) e vengono disposte all'interno del campo opportunamente intervallate per poter visionare la distribuzione del getto.

Le seguenti analisi, invece, sono state effettuate sfruttando l'utilizzo di fogli di carta lucida per stampe fotografiche in maniera tale da valutare l'intero getto in termini di dimensioni delle gocce e della sua distribuzione.

I fogli, pertanto, vengono posizionati su un supporto asciutto in direzione ortogonale alla direzione del getto ossia una soluzione di acqua e colorante blu per determinare un netto contrasto con lo sfondo bianco.

L'utilizzo del colorante per le prove ha richiesto, inoltre, che la zona all'interno del Laboratorio interessata alle prove venisse opportunamente protetta utilizzando dei teli trasparenti, usati durante le operazioni di coloritura all'interno degli edifici e allo stesso tempo l'utilizzo di DPI per gli operatori (mascherine e occhiali protettivi).

Nei paragrafi successivi vengono descritte nel dettaglio le caratteristiche dei vari componenti utilizzati per il circuito idraulico e per il sistema ugello.

2.2 Banco prova: Circuito idraulico

Il circuito idraulico ha come obiettivo l'alimentazione degli ugelli, i quali richiedono che il fluido di lavoro sia mantenuto ad una pressione costante durante il trattamento evitando qualsiasi tipo di perdite.

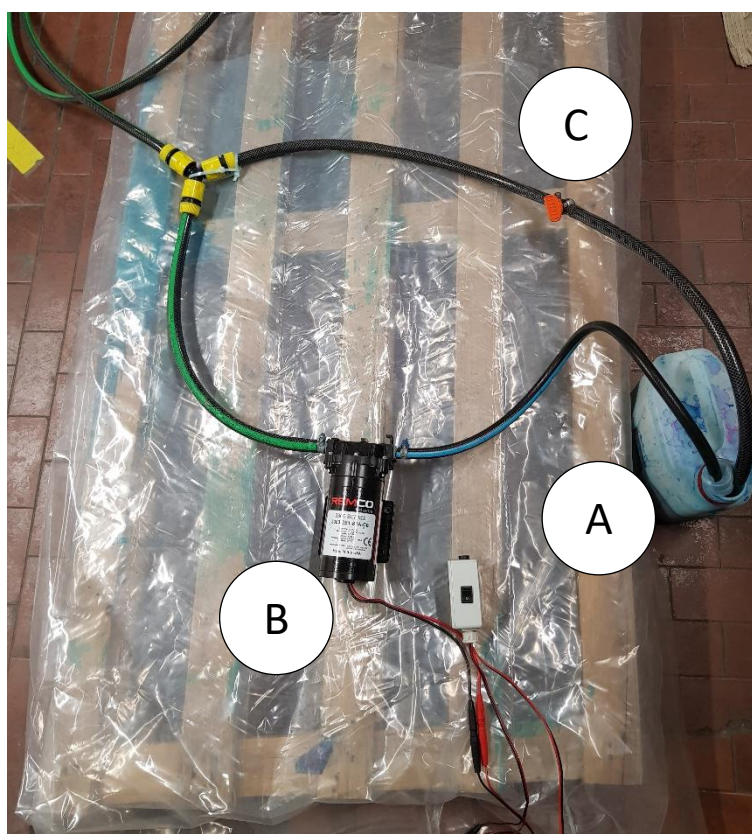


Figura 2. 2-Circuito idraulico di alimentazione.

Il circuito idraulico è riportato in *Figura 2.2*. È costituito da un serbatoio (A) dal quale viene estratta la soluzione di liquido tramite una pompa (B), la quale è in grado di sviluppare una certa pressione di esercizio ed elaborare la portata richiesta dall'ugello.

La lettura della pressione di esercizio al quale vengono alimentati gli ugelli richiede, inoltre, l'impiego di un manometro posizionato a monte dell'ugello in maniera tale da avere a disposizione informazioni sui dati dell'analisi quanto più precise possibili.

Il corretto funzionamento del circuito idraulico richiede, inoltre, un particolare intervento di regolazione in quanto le portate elaborate dagli ugelli sono di gran lunga inferiori a quelle elaborate

dalla pompa, altrimenti si genererebbe un funzionamento intermittente al quale corrisponde un getto non costante.

Questa regolazione è stata effettuata mediante l'aggiunta di un condotto che rimanda al serbatoio di alimentazione sul quale è stato installato un rubinetto di by-pass(C) sul quale si interviene manualmente per regolare la pressione di esercizio e, di conseguenza, modificando la portata in ingresso all'ugello.

Serbatoio e proprietà soluzione colorante

Per l'alimentazione del circuito è stato usato un serbatoio con una capacità di 5 l.

Le prove iniziali di regolazione del circuito sono state effettuate utilizzando esclusivamente acqua; mentre, ai fini delle analisi sui getti il serbatoio è stato riempito con la soluzione costituita da acqua e colorante, realizzata sulla base delle indicazioni riportate sull'etichetta del prodotto.

Il colorante che è stato utilizzato è fornito dall'azienda Novema e si tratta della colorazione *Acid blue 9 85%* per cui la soluzione viene ottenuta impiegando 50 g per litro di acqua.

Pompa Remco F2133031E1

La pompa utilizzata per il circuito è il modello Remco F2133031E1.

Si tratta di una pompa a diaframma in grado di raggiungere come massima pressione di esercizio i 4 bar, elaborando delle portate fino a 7,2 l/min.

In *Figura 2.3* viene riportata la pompa con i rispettivi condotti di aspirazione e mandata, collegati rispettivamente al serbatoio e all'ugello, e al sistema elettrico di alimentazione.



Figura 2.3-Pompa Remco F2133031E1.

Nella maggior parte delle applicazioni, come in questo caso, per cui bisogna limitare gli ingombri e i pesi, vengono utilizzate questo tipo di pompe poiché garantiscono buone prestazioni in termini di portate e pressioni.

Le pompe a diaframma sono delle pompe volumetriche che utilizzano due membrane flessibili che si muovono simultaneamente avanti e indietro creando una camera temporanea che aspira ed espelle il fluido dal condotto di aspirazione a quello di mandata.

Oltre ai vantaggi di garantire delle buone prestazioni, è impiegata in numerosi campi per via della possibilità di poter utilizzare differenti fluidi di lavoro, tra cui prodotti chimici corrosivi, solventi volatili e prodotti farmaceutici.

La pompa richiede, come si può osservare dalla scheda tecnica riportata in *Figura 2.4*, un opportuno sistema di alimentazione elettrico con una tensione di alimentazione di 12 V che viene effettuata utilizzando un trasformatore, che nei sistemi portatili potrebbe essere integrato con il pacco batteria.

Codice	F2133031E1
Pressione MAX	4 bar
Pressione MAX	60 PSI
Portata	7.2 l/min
Portata	2 US GPM
Tipo	DEMAND
IN	3D
OUT	3D
Assorbimento @ 12 V	7.5 A
Tensione di alimentazione	12 Vdc

Figura 2.4-Scheda tecnica Pompa Remco F2133031E1. Fonte: <https://www.aragnet.com/VediMacro/IT/246/Prodotti/?PRD=102809>

Manometro

È possibile valutare la pressione di esercizio mediante l'utilizzo di un manometro posizionato a ridosso dell'ugello in maniera tale da prelevare i dati con maggiore precisione per via delle possibili perdite di carico del circuito dovute dalla lunghezza dei condotti e dal sistema di raccordatura.



Figura 2.5-Manometro collegato in prossimità dell'ugello.

Tubi e raccordi

I singoli componenti sono stati collegati tra loro mediante l'utilizzo di un tubo per irrigazione di diametro pari a 15 mm e utilizzando degli opportuni sistemi di tenuta quali l'utilizzo di fascette metalliche stringi tubo e del nastro teflon in corrispondenza dei singoli componenti, per evitare la presenza di perdite nel circuito.

Inoltre, per garantire contemporaneamente la regolazione della pompa e il funzionamento dell'ugello è stato necessario introdurre una serie di dispositivi, tra cui un regolatore di flusso (rubinetto) e un deviatore a 3 vie con l'impiego di attacchi rapidi che ne facilitano il collegamento.

Il deviatore a 3 vie, riportato in *Figura 2.6*, permette al fluido proveniente dalla pompa di raggiungere sia l'ugello per la realizzazione del getto sia di effettuare la regolazione tramite il rubinetto poiché il liquido viene riportato nuovamente nel serbatoio.

Il deviatore a 3 vie permette di effettuare il collegamento dei singoli tubi in maniera efficace installando degli attacchi rapidi, scelti sulla base della dimensione del condotto, evitando l'utilizzo di fascette stringi tubo e assicurando una buona tenuta anche alle massime pressioni di esercizio.



Figura 2. 6- Dispositivi del circuito idraulico: regolatore di flusso (a) e Deviatore a tre vie (b)..

2.3 Banco prova: Sistema ugello

La seconda parte del banco prova collegata al circuito idraulico è costituita dagli ugelli che rappresentano il principale oggetto di studio del lavoro sperimentale.



Figura 2.7-Sistema ugello.

Gli ugelli irroratori rappresentano, infatti, il componente principale in quanto sono i diretti responsabili della formazione del getto che viene distribuito sulla pianta.

Pertanto, è necessario effettuare una descrizione su come lavorano gli ugelli, sulle tipologie e quali sono le principali informazioni che devono essere valutate oppure ricavate direttamente dai cataloghi delle case produttrici.

Gli ugelli sono dei dispositivi caratterizzati da orifizi opportunamente dimensionati ottenuti da complesse analisi fluidodinamiche per cui il liquido subisce un processo di polverizzazione con risultati a seconda della sagomatura e geometria interna.

Tipi di ugelli

Gli ugelli irroratori vengono classificati in base alla forma del getto che sono in grado di realizzare in:

- Ugelli a cono;
- Ugelli a ventaglio o a fessura;
- Ugelli a specchio.

Le singole tipologie sono impiegate in maniera differente a seconda del tipo di trattamento che deve essere realizzato e dall'area da irrorare.

Gli *ugelli a cono* determinano un getto a forma conica piena o vuota a seconda che l'impronta rilasciata dal getto sia un cerchio pieno oppure una sola circonferenza; trovano vasto impiego per l'applicazione di trattamenti su colture arboree e nella viticoltura poiché sono in grado di realizzare una distribuzione di gocce omogenea con pressioni di esercizio minori.

Questi tipi di ugelli si differenziano per gli angoli di apertura che possono variare tra i 40° e i 90°, anche se l'angolo di apertura tipico che viene maggiormente utilizzato è pari a 80°.

Gli *ugelli a ventaglio* sono dotati di un orifizio a forma ellittica che produce un getto di forma triangolare per cui l'area d'impronta generata è un rettangolo sottile. Il loro campo di applicazione è generalmente per trattamenti su colture erbacee dove le superfici interessate sono maggiori. Gli angoli di apertura del getto variano tra 80° e 120°.

Gli *ugelli a specchio* sono in grado di realizzare dei getti con bassa energia cinetica poiché viene dissipata da una serie di impatti e rimbalzi contro una superficie interna riflettente. Questa caratteristica li consente di poter essere impiegati su terreni non coltivati e sulle erbacee dove non sono richieste delle specifiche stringenti relative ad una distribuzione omogenea e con gocce di piccole dimensioni.

Oltre a queste tipologie di ugelli, negli ultimi anni le nuove politiche in campo agricolo correlate alla salvaguardia dell'ambiente hanno portato all'introduzione di ugelli particolari in grado di ridurre il fenomeno della deriva.

Gli *ugelli antideriva o ad induzione di aria* sono in grado di garantire delle performance migliori grazie al miscelamento dei prodotti fitosanitari con correnti di aria che vengono fatte convogliare nell'ugello tramite un piccolo foro. In queste condizioni si creano delle bolle di aria all'interno delle gocce che le rendono più pesanti e, di conseguenza, si riduce la possibilità che possano essere allontanate dalla zona bersaglio durante il trattamento, specialmente in condizioni meteorologiche ventose.

Per le prove sperimentali in esame, in particolare, sono stati utilizzati una serie di ugelli della casa produttrice italiana Asj Nozzle.

Nel dettaglio sono stati studiati ugelli di vario tipo (cono, ventaglio e antideriva) ai fini di valutare le dimensioni delle gocce, la distribuzione ed effettuare il confronto con i dati riportati da catalogo.

Normative per l'identificazione ugelli e loro caratteristiche

I costruttori associano ad ogni ugello un particolare codice che può essere, o meno, stampato sull'ugello stesso e, inoltre, una colorazione differente a seconda delle portate che sono in grado di elaborare.

I codici rappresentativi forniscono le informazioni non solo sul tipo di ugello ma forniscono anche l'angolo di apertura (espresso in gradi), la portata elaborata e il materiale di cui sono fatti.

La scelta dei colori non è casuale, ma segue un'opportuna normativa ISO 10625 che dà informazioni sulla taglia dell'ugello cioè alla portata che è in grado di elaborare a parità di pressione.

L'esigenza di fornire una normativa comune è nata per regolarizzare questo aspetto in quanto precedentemente ogni costruttore adottava delle colorazioni differenti.

La normativa vigente sancisce un sistema codice/colore in maniera tale da ricavare immediatamente le caratteristiche del dispositivo.

Si riporta di seguito in *Tabella 2.1* [9] con riferimento al sistema codice/colore come da normativa i valori di portata in galloni (dimensione) e il corrispondente valore in litri associata ad ogni colorazione, per una pressione erogata pari a 3 bar.

Dimensione	Colore ISO	Portata erogata con pressione di 3 bar (tolleranza ± 5%)
0,050	Viola	0,2 litri/minuto
0,075	Rosa	0,3 litri/minuto
0,1	Arancio	0,4 litri/minuto
0,15	Verde	0,6 litri/minuto
0,2	Giallo	0,8 litri/minuto
0,25	Lilla	1,0 litri/minuto
0,3	Blu	1,2 litri/minuto
0,4	Rosso	1,6 litri/minuto
0,5	Marrone	2,0 litri/minuto
0,6	Grigio	2,4 litri/minuto
0,8	Bianco	3,2 litri/minuto
1,0	Azzurro	4,0 litri/minuto

Tabella 2. 1 – Classificazione secondo la Normativa ISO 10625. Fonte: Centro Ricerche Produzioni Vegetali, Programma di Sviluppo Rurale dell’Emilia-Romagna, Componenti delle macchine irroratrici, Gli ugelli, maggio 2018.

Per la lettura dei dati riguardanti le informazioni sugli ugelli è importante riconoscere la classificazione degli ugelli sulla base delle dimensioni delle gocce generate.

Questa classificazione è stata effettuata dall’agenzia Americana dell’ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) ed è conosciuta come Asabe S-572.1.

Permette di distinguere, come riportato da *Tabella 2.2*, gli ugelli da catalogo sulla base della qualità dello spray da “Extremely Fine” fino a “Ultra Coarse” utilizzando esclusivamente le iniziali delle categorie (EF o UC) alle quali corrispondono le dimensioni delle particelle del getto da cui derivano i principali campi di impiego del dispositivo.



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	Large	503-665	White	Very Poor	Liquid Fertilizer	Low
Ultra Coarse		>665	Black	Very Poor	Liquid Fertilizer	

Tabella 2.2-Normative ASABE S572.1: Droplet Size Classification. Fonte: https://cdn2.hubspot.net/hub/95784/file-32015844-pdf/docs/asabe_s572.1_droplet_size_classification.pdf

Ugelli disponibili

Di seguito, in *Tabella 2.3*, vengono riportati gli ugelli disponibili per i test sperimentali e per ognuno viene definita la tipologia e le loro caratteristiche con una breve descrizione.

Ugello	Tipo	Descrizione
HCI80015	Cono	Ugello a cono vuoto con inserto in ceramica e corpo in resina acetaleica.
AFC11001	Ventaglio AD	Ugello a ventaglio antideriva
HCF80015	Cono	Ugelli a cono vuoto tradizionali
LDC11001	Ventaglio AD	Ugelli a ventaglio antideriva
WRC110015	Ventaglio	Ugelli a ventaglio certificato
HCA8001	Cono	Ugello cono a vuoto con inserto in ceramica e corpo in resina acetaleica, riduce il rischio di deriva
HCI6001	Cono	Ugelli a cono vuoto

Tabella 2.3 – Elenco ugelli a disposizione per le prove sperimentali.

Non è possibile che vengano usati in modo autonomo e indipendente ma richiedono l'utilizzo di dispositivi accessori correlati.

Si riporta di seguito in *Tabella 2.4* l'esempio di come vengono fornite le indicazioni da catalogo della casa produttrice ASJ Nozzle [10].







































Tipo Type Tipo	Testina con guarnizione Cap with gasket Cabeza con junta		Guarnizione di ricambio Spare gasket Junta de repuesto		Da utilizzare con i seguenti ugelli To be used with the following nozzles Para utilizar con las siguientes boquillas
	COD.	PACK	COD.	PACK	
	402 900 xx	25	402 200.040	25	            
	402 901 xx	25	402 200.040	25	    
	402 904 xx	25	402 200.040	25	 
	402 905 xx	25	402 200.040 + 402 105.030	25	      
	402 908 xx	25	402 200.040	25	 
	402 90901	25	402 200.040	25	Permette di chiudere alcuni ugelli per variare l'interfilia Used to close some nozzles to change spacing Permite cerrar algunas boquillas para variar la distancia entre filias
	402 91703 Solo colore rosso Only red color Solo color rojo	25	402 200.040 + 402 105.030	25	 

Tabella 2.4 – Indicazioni associazione ugelli ASJ Nozzle con testine con attacco a baionetta standard e guarnizione di ricambio. Fonte: Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.

È di fondamentale importanza, infatti, che l'ugello venga posizionato all'interno di un'opportuna testina con l'aggiunta di una o più guarnizioni di tenuta, come riportato nell'esempio di montaggio nella *Figura 2.8*.



Figura 2.8– Esempio di montaggio ugello. Fonte: Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.

L'associazione di questi dispositivi non avviene in maniera casuale ma sono associati ad esse dei particolari codici identificativi che consentono di controllare con quali tipologia di ugello possono essere accoppiati.

L'accostamento corretto dell'ugello con la propria testina è fondamentale per una buona tenuta e, di conseguenza, per garantire il getto ottimale.

Per le prove sperimentali sono state impiegate due testine differenti in accordo con i dati riportati da catalogo: si tratta in entrambi i casi di testine standard a baionetta **(1)** per cui il collegamento avviene mediante una semplice rotazione sull'alloggiamento. Nei cataloghi le testine sono identificate mediante una sequenza numerica dove le ultime due cifre si riferiscono alla loro colorazione.

L'intero sistema testina-ugelli affinché venga alimentato dal getto è necessario che sia collegato al condotto di alimentazione mediante l'utilizzo di un porta-ugelli **(2)**.

I porta-getti disponibili sul mercato sono di vario tipo in base al numero di ugelli che possono essere ospitati e delle possibili configurazioni con cui sono collegati alla barra irroratrice tramite un opportuno alloggiamento.

I singoli porta-ugelli sono dotati di un dispositivo anti-goccia cioè di una vera e propria valvola di sequenza che blocca la comunicazione tra il condotto di alimentazione e l'ugello nel momento in cui la pressione scende al di sotto di un certo valore per assicurare, nel momento in cui si interrompe il trattamento, di evitare il gocciolamento del prodotto.

I porta-ugelli impiegati per le analisi sono dello stesso tipo e presentano un collegamento portagomma a cui si collega il tubo di alimentazione e sono disposti verticalmente.

Nel dettaglio, in *Tabella 2.5*, si riporta l'elenco degli ugelli utilizzati per le simulazioni assieme ai codici identificativi relativi alle testine porta-ugello e alle guarnizioni da associare ad ognuno di esso, come riportato da catalogo.

Ugello	Tipologia	Testina Porta-Ugello	Guarnizione
HCI80015	Cono	402905	402 200.040 + 402 105.030
AFC11001	Ventaglio AD	402900	402 200.040
HCF80015	Cono pieno tradizionali	40291703	402 200.040 + 402 105.030
LDC11001	Ventaglio AD	402900	402 200.040
WRC110015	Ventaglio AD	402900	402 200.040
HCA8001	Cono AD	402905	402 200.040 + 402 105.030
HCI6001	Cono a vuoto	402905	402 200.040 + 402 105.030

Tabella 2.5 – Elenco ugelli disponibili per le prove sperimentali con l'identificazione delle rispettive guarnizioni e testine.

Capitolo 3: ImageJ

L'applicazione delle metodologie indicate richiede necessariamente di avere a disposizione le immagini oppure le foto del getto ottenuto e, inoltre, di un software specifico di elaborazione in maniera tale da ricavare i dati necessari.

Uno strumento efficace utilizzato per la caratterizzazione degli ugelli è il software di elaborazione di immagini digitali: ImageJ.

In questo capitolo, pertanto, ci si sofferma sulle generalità del software e il principio alla base che consente di poter ricavare dei dati quantitativi a partire dall'importazione di un'immagine in vari tipi di formati.

Si evidenziano i principali comandi e funzioni che possono essere eseguite dal software, e nel dettaglio l'intera procedura che è stata utilizzata per ricavare i diametri delle gocce prodotte dai getti.

Si tratta di un software opensource, programmato in Java, che consente di effettuare numerose funzioni da cui è possibile estrarre delle misurazioni quantitative.

Si presenta come in *Figura 3.1* con una finestra principale semplificata dalla quale è possibile procedere alle varie funzionalità mediante la barra dei menu.

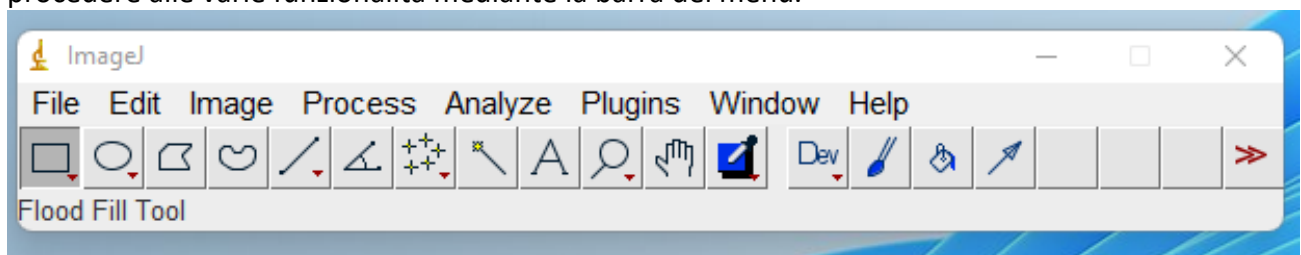


Figura 3.1-Finestra menu principale ImageJ.

Lo strumento principale che è stato impiegato è quello che consente di risalire alla dimensione delle aree delle singole particelle, da cui poter ricavare mediante una post elaborazione dei dati i rispettivi diametri.

La procedura da seguire richiede inizialmente, prima che l'immagine venga acquisita, di creare una scala sul foglio in maniera tale che il software sia in grado di associare ad ogni pixel una dimensione reale.

Pertanto, una volta caricata l'immagine da *File/Open*, deve essere opportunamente settata la scala andando a creare un segmento sovrapposto alla legenda del foglio e dal menu *Analyze/Set Scale* si riporta il valore numerico della distanza reale con l'opportuna unità di misura.

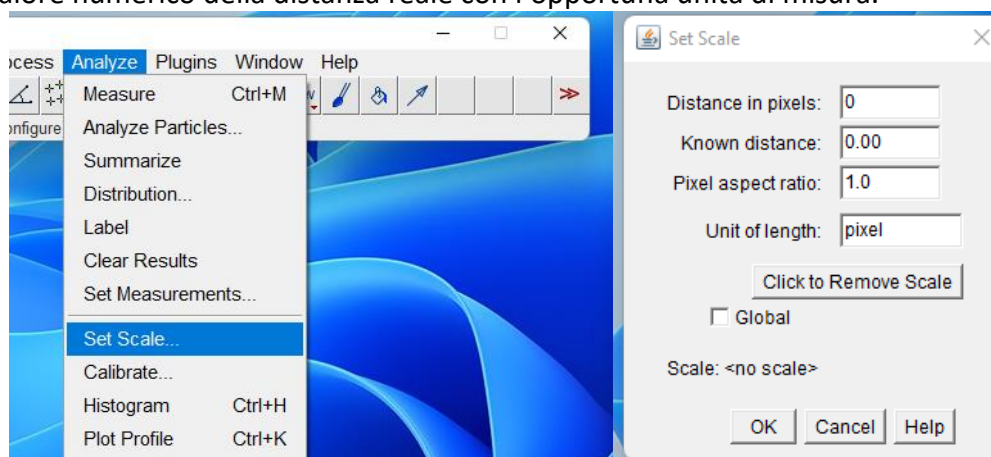


Figura 3.2- Comando Analyze/Set Scale per impostare la scala.

A questo punto, si procede alla vera e propria elaborazione dell'immagine: il software è in grado di trasformare l'immagine in scala di grigi a 8,16 o 32 bit in maniera tale che venga associato ad ogni pixel un valore compreso tra 0 e 255 a seconda dell'intensità di colore.

Questa procedura è fondamentale per l'elaborazione dell'immagine in quanto il programma è in grado di distinguere lo sfondo dalle zone occupate dalle particelle.

Per consentire in maniera efficace la separazione degli oggetti dallo sfondo è necessario settare la soglia di intensità dei pixel; il programma è in grado di fornire un metodo efficiente mediante il quale i limiti possono essere settati manualmente o in maniera automatica.

Il comando viene eseguito da *Image/Adjust/Threshold* in cui si può selezionare la voce "dark background" nel caso in cui lo sfondo dell'immagine sia scuro;

Mediante barre orizzontali, in *Figura 3.3*, si possono modificare i valori limiti dell'intensità e visualizzare contemporaneamente l'anteprima dell'immagine.

Individuati i valori limiti opportuni o in maniera automatica è possibile applicare definitivamente la correzione tramite il comando "Apply".

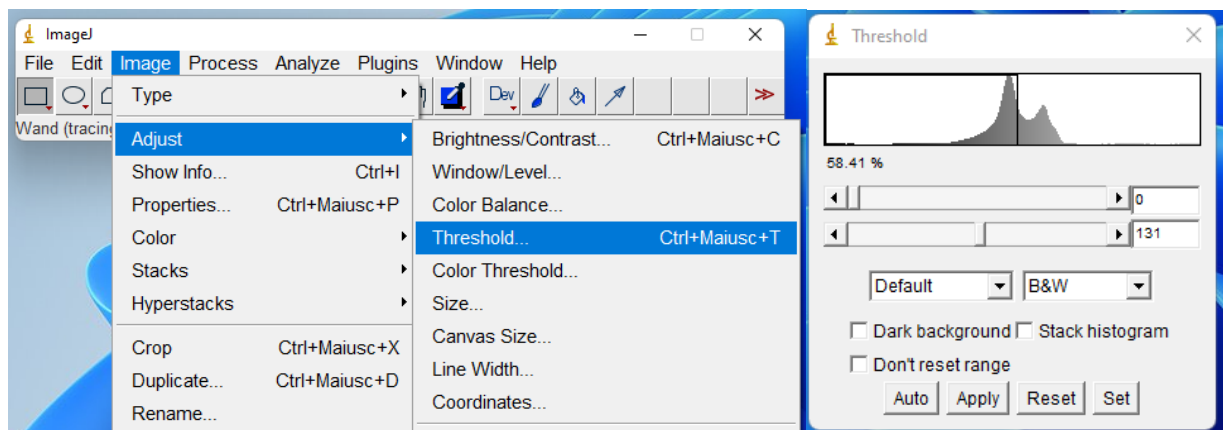


Figura 3.3-Comando Threshold per impostare i limiti dell'intensità dei pixel.

L'immagine, oltre ad essere convertita, può essere modificata per poter migliorare il processo di analisi.

È possibile intervenire sui parametri di luminosità e contrasto per esaltare la differenza tra le zone chiare e scure, oppure, ritagliare una particolare area d'interesse utilizzando i tool presenti sulla barra dei menu, riportati in *Figura 3.4*, dalla quale si può selezionare un'area circolare, ellittica, poligonale o procedere a mano libera a seconda delle differenti esigenze.

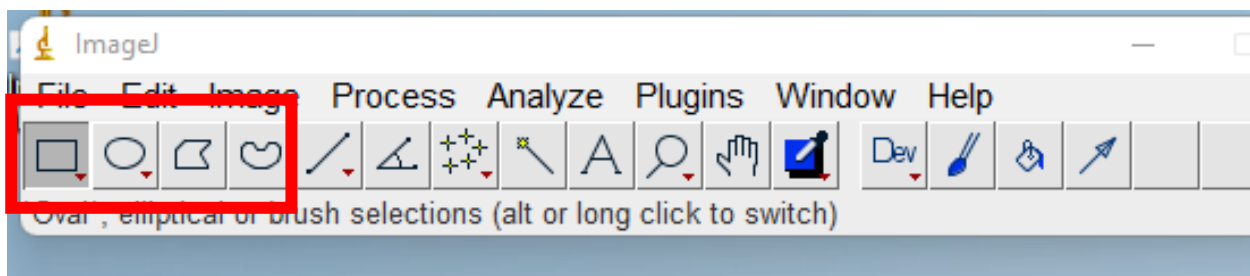


Figura 3.4- Comandi per la selezione di un'area rettangolare, ellittica, poligonale o mano libera.

Uno degli strumenti importanti d'ausilio per l'analisi delle particelle è la funzione *Watershed* la quale consente in maniera automatica il riconoscimento delle zone in cui vi è un'alta concentrazione di particelle che, pertanto, vengono separate e segmentate.

In *Figura 3.5* viene riportata la sequenza di comando che consente di eseguire la procedura.

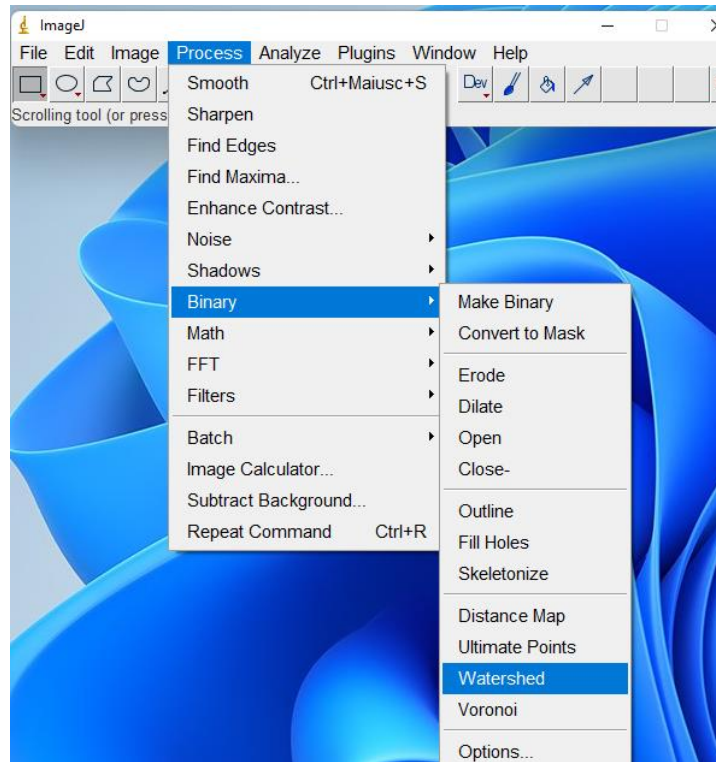


Figura 3.5-Comando ImageJ per la funzione Watershed

Dopo aver effettuato la conversione binaria dell'immagine e applicando gli strumenti di correzione dell'immagine per mettere in evidenza le zone occupate dalle particelle si procede all'analisi vera a propria.

La funzione principale di analisi delle particelle viene avviata dal menu *Analyze/Analyze Particles* per cui il software è in grado di fornire in output principalmente il numero di particelle che vengono riconosciute e il valore delle singole aree, con la possibilità di poter salvare ed esportare i dati.

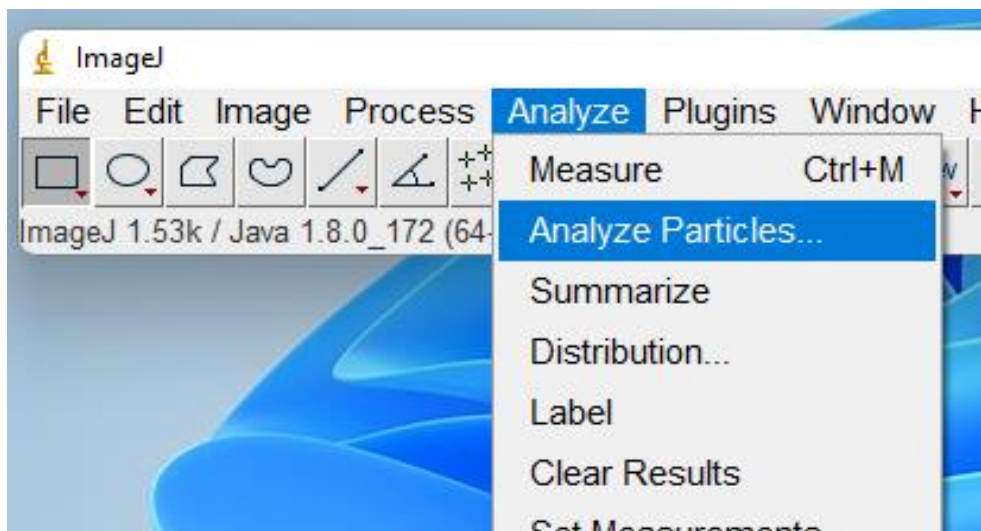


Figura 3.6- Comando ImageJ per effettuare la procedura di analisi delle particelle.

È possibile filtrare il campo di ricerca delle particelle a seconda delle loro dimensioni e della loro forma dal menu che appare, come in *Figura 3.7*.

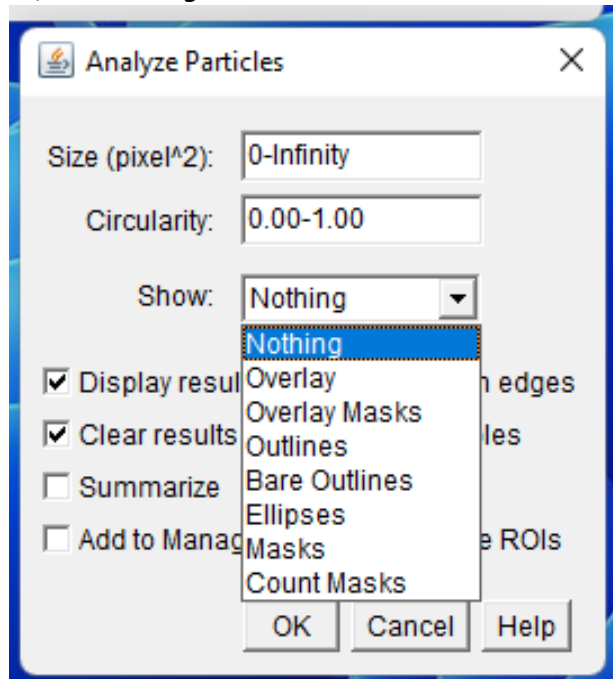


Figura 3.7- Menu per filtrare i risultati del comando Analyze Particles.

Quest'ultimo parametro può essere modificato intervenendo nel campo "Circularity" che può assumere valori compresi tra 0 e 1 dove al valore unitario corrispondono particelle di forma circolare.

Per le analisi effettuate questi parametri non sono stati modificati in quanto la forma delle particelle generate dal getto assumono delle forme irregolari, pressoché ellittiche, di varie dimensioni.

I risultati delle analisi possono essere forniti in modo differente a seconda della scelta effettuata all'interno il menu a tendina del campo Show: principalmente è utile selezione "Bare Outlines" che evidenzia i contorni delle particelle individuate senza essere etichettate con il numero corrispondente a quello riportato nella tabella risultati.

Le altre opzioni di scelta di visualizzazione dei risultati possono fare in modo che non vengano mostrate né le immagini né le sovrapposizioni sull'immagine originale, oppure, è possibile avere tutte queste possibilità in una sola immagine con l'aggiunta dei label su ogni singola particella individuata.

Tra le varie modalità è stato adottato come metodo di visualizzazione quello principale evitando la presenza del label numerico, ma evidenziando esclusivamente i contorni per consentire una rapida interpretazione dei risultati.

I risultati dell'analisi sono forniti, inoltre, in forma tabellare come in *Figura 3.8*.

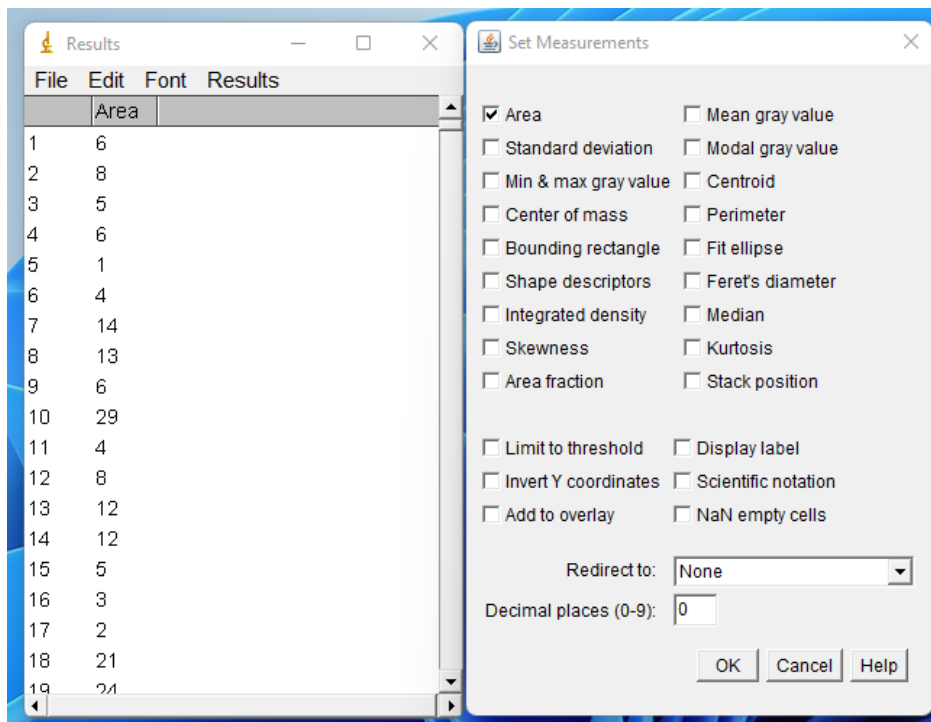


Figura 3.8-Visualizzazione tabellare dei risultati Analyze Particles e scelta dei parametri di interesse.

È possibile decidere i dati da inserire all'interno delle singole colonne a seconda dell'analisi: nella prima colonna, generalmente, è riportata la voce *count* riferita al numero di particelle analizzate, mentre, le colonne successive possono essere riferite, ad esempio, all'area, alla deviazione standard oppure al valore medio dell'intensità di grigio riferite a quella particolare selezione.

Per le analisi effettuate l'unico parametro d'interesse è esclusivamente quello relativo alle dimensioni delle particelle, da cui ricavarne in post elaborazione, i rispettivi diametri.

Il software è in grado di elaborare i dati ottenuti in maniera tale da ricavare per l'intera distribuzione quale sia il valore medio e la deviazione standard in maniera tale da valutare complessivamente le informazioni dei dati ottenuti. Questa procedura viene effettuata nella finestra di dialogo dei risultati, dal menu *Results/Summarize*.

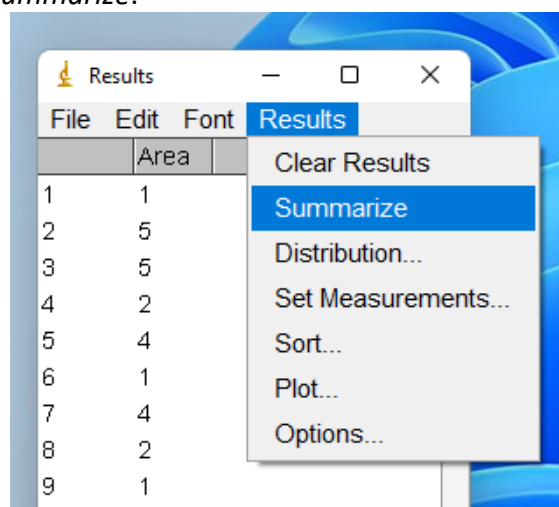


Figura 3.9-Comando Results/Summarize per valutazione dei risultati.

Tutti i risultati ottenuti possono essere salvati in formati differenti mediante il comando File/Save as: i dati sono salvati in formato .txt in maniera tale da poter essere importati su foglio elettronico in Excel per le analisi di post processing.

Ai fini della caratterizzazione degli ugelli, le immagini di partenza sul quale effettuare le analisi con ImageJ sono le foto dei getti realizzati sui fogli di carta lucida mediante l'utilizzo del banco prova. I fogli di carta lucida, infatti, successivamente alla realizzazione del getto sono stati spostati dalla zona di spruzzo, lasciati ad asciugare naturalmente, e fotografati mediante l'utilizzo di una camera fotografica digitale Fujifilm Finepix HS50EXR.



Figura 3.10-Operazione di acquisizione dei getti tramite fotocamera Fujifilm Finepix HS50EXR.

L'acquisizione delle immagini tramite fotocamera è stata l'unica soluzione individuata a causa dell'elevata dimensione dei fogli, impedendo, per esempio, l'utilizzo di una scansione tramite scanner.

La scelta per la valutazione dei getti ottenuti non è stata effettuata tenendo conto dell'intera area spruzzata sul foglio ma, coerentemente con le modalità impiegate dagli studi bibliografici per i quali sono state utilizzate esclusivamente cartine idro sensibili (76x52 mm), su delle zone caratterizzate dalla stessa dimensione.

Questa scelta è stata presa in considerazione per evitare, innanzitutto, di analizzare set di dati numerosi e, inoltre, ovviando alla problematica relativa alle zone per cui le gocce sono molto vicine tra loro per cui le particelle si sovrappongono e il software non è in grado di elaborare.

Per via della configurazione dell'orifizio dell'ugello e della modalità di spruzzo, in genere, le zone in cui si osserva un'elevata concentrazione delle gocce è quella centrale generando un'alta intensità di colore.

Pertanto, nella procedura di analisi con ImageJ, prima dell'analisi Analyze Particle, è stata selezionata un'area rettangolare nella foto e dal menu *Edit/Selection/Specify* è possibile scegliere le dimensioni esatte delle dimensioni in μm , assicurandosi che sia fissata correttamente la scala.

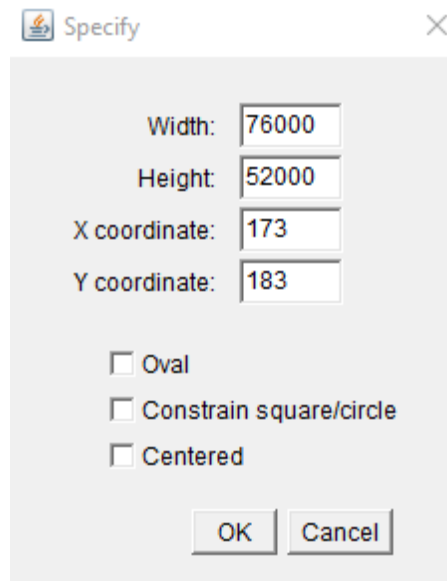


Figura 3.11-Menu *Edit/Selection/Specify* per modificare dimensione area rettangolare.

La procedura finalizzata all'elaborazione dell'immagine mediante l'uso del software ImageJ necessita di attuare una serie ordinata di operazioni. Inoltre, per poter effettuare il monitoraggio completo degli ugelli, le stesse procedure devono essere impiegate su immagini differenti e più volte su ognuna di esse.

Si tratta, dunque, di attuare una stessa procedura su file differenti. Per ovviare a questo e rendere la procedura automatica il software fornisce la possibilità di creare una macro.

La macro è un semplice programma automatico che consente di eseguire una serie di comandi in maniera ordinata, opportunamente registrati, che viene salvata come un semplice file di testo.

ImageJ mette a disposizione degli utenti sul proprio sito web circa 3000 macro che possono essere facilmente ricopiate e riutilizzate.

Per la valutazione del getto sulle singole foto acquisite è stata implementata una macro registrata da *Plugins/Macros/Edit* e, successivamente attivata, con il comando *Run*.

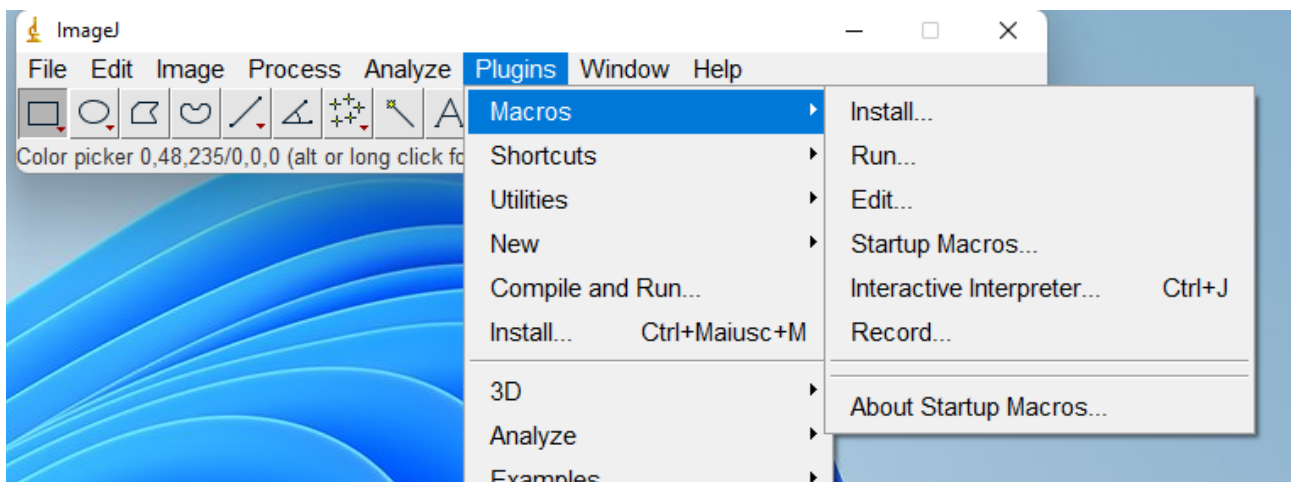


Figura 3.12- Comando ImageJ *Plugins/Macros* per la creazione ed esecuzione Macro.

Nel dettaglio la macro che è stata registrata, riportata in *Figura 3.13*, richiede prima di poter essere eseguita di importare l'immagine da analizzare e di settare manualmente la scala, mediante gli appositi comandi.

L'esecuzione della Macro viene avviata mediante il comando Run e scegliendo il file di testo da un'opportuna directory in cui è stata salvata; per consentire il ritaglio della zona rettangolare il programma è stato implementato in maniera tale da poter continuare ad effettuare le operazioni successive soltanto nel momento che viene eseguita la selezione della zona e l'associazione delle rispettive dimensioni.

Al termine dell'esecuzione, possono essere salvati sia i risultati che le immagini che evidenziano i contorni delle particelle individuate ed esaminate.

```
setTool("rectangle");
waitForUser("Select region for cropping. \nClick 'OK' when done.");

run("Crop");
run("Save");
//run("Brightness/Contrast...");
run("Enhance Contrast", "saturated=0.35");
setMinAndMax(42, 175);

run("8-bit");
setAutoThreshold("Default");

run("Convert to Mask");
run("Watershed");
run("Save");

run("Analyze Particles..." , " show=[Bare Outlines] display exclude clear");
run("Save");
```

Figura 3.13-Codice Macro ImageJ usata per l'analisi delle prove sperimentali.

Capitolo 4: Procedura prove sperimentali

Nel seguente capitolo, note le caratteristiche del banco prova e del vigneto di riferimento, viene definito il programma di prove sperimentali definendo quali parametri devono essere differenziati per la caratterizzazione completa dell'ugello: pressione di lavoro e altezza di irrorazione.

Dal momento che di seguito ai test sperimentali si effettuano le analisi vere e proprie, vengono descritti i tre differenti metodi bibliografici impiegati per ricavare la dimensione originale delle gocce assieme a quelli associati alla valutazione della distribuzione.

4.1 Montaggio banco prova

Una volta individuate le caratteristiche del vigneto e le informazioni dettagliate relative agli ugelli, oggetto di studio delle prove sperimentali, è possibile procedere alla descrizione dettagliata della procedura e in che modo sono state programmate.

L'obiettivo che bisogna raggiungere è quello di analizzare il comportamento dei getti prodotti dai singoli ugelli in maniera tale da valutare se possono o meno essere utilizzati sul circuito irroratore, installato a sua volta sul drone, in maniera tale da garantire un trattamento fitosanitario efficiente. Le caratteristiche che bisogna estrarre dai singoli getti sono:

- Dimensione delle gocce;
- Distribuzione.

Affinché i singoli ugelli possano essere considerati idonei per i trattamenti fitosanitari sul vigneto è importante che generino delle gocce di dimensioni inferiori ai 500 μm con una distribuzione omogenea sulla superficie fogliare, raggiungendo anche gli strati più interni.

Il vincolo per cui non possono essere impiegati per i trattamenti particelle grosse, ossia superiori ai 500 μm , è correlato al problema dell'inquinamento ambientale e dell'ottimizzazione delle risorse impiegate.

Gocce di queste dimensioni a causa della tensione superficiale e della maggiore massa determinano una minore adesione tra di esse e con la superficie della pianta provocando il fenomeno del gocciolamento [8] per cui una porzione del prodotto raggiunge il terreno oppure urta le altre foglie spostando le gocce già depositate, riducendo l'effetto del trattamento.

In *Figura 4.1* viene riportato il comportamento delle gocce al variare della loro dimensione in μm .

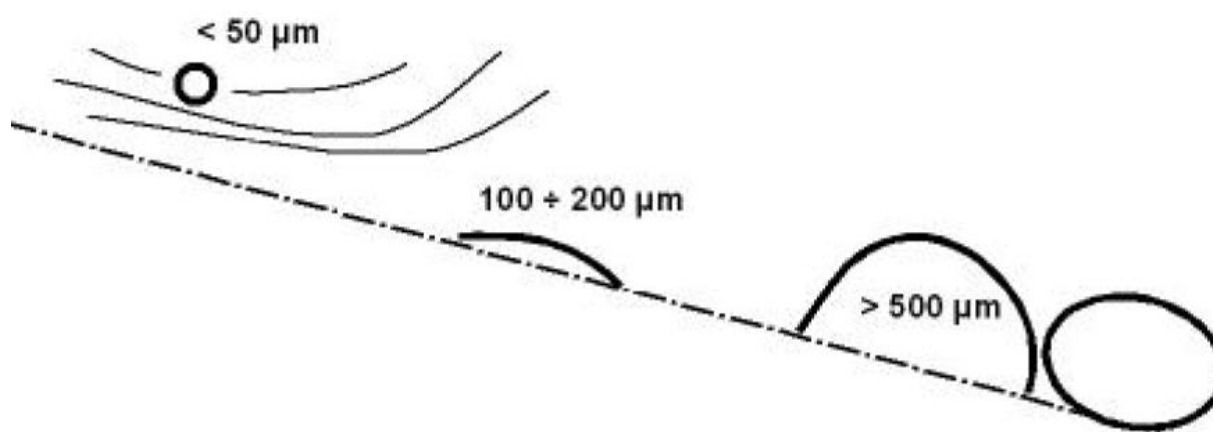


Figura 4.1-Comportamento delle gocce su una superficie: fenomeno di gocciolamento.

Fonte: Massimo Lazzari, Ambra Longoni, Ernesto Beretta, Savio Landonio, Camera di commercio Milano, Distribuzione dei fitofarmaci: stato dell'arte e impiego di attrezzature intelligenti per il contenimento dei costi e il miglioramento della sostenibilità delle produzioni vitivinicole milanesi e lombarde

Le condizioni ottimali per quanto riguarda le dimensioni delle gocce dovrebbero rientrare tra 100 e i 200 μm .

Il parametro relativo alla distribuzione fornisce informazioni sulla copertura del trattamento considerando che può variare a seconda della tipologia e dalla necessità di intervenire sull'intera pianta oppure su una regione ristretta.

Per entrambi i parametri valutati è bene evidenziare come nelle applicazioni reali, rispetto alle prove eseguite, il getto d'aria generato dai rotori del drone è vantaggioso per il raggiungimento delle condizioni ottimali di lavoro.

L'effetto di ventilazione garantisce al getto di ridurre ulteriormente le dimensioni e, principalmente, di far penetrare la miscela negli strati sottostanti ricoprendo sia le superfici superiori che inferiori delle foglie.

Le prove sperimentali sono finalizzate alla valutazione di questi due parametri per ogni singolo ugello.

Lo step iniziale, prima di procedere con le rilevazioni, ha richiesto l'installazione e il collegamento dei vari dispositivi del banco prova relativi al sistema idraulico di alimentazione e del sistema ugello che richiede l'associazione corretta degli ugelli con i relativi dispositivi di tenuta.

Il montaggio e la messa a punto del circuito irroratore sono stati effettuati collegando i singoli componenti tramite un tubo di diametro 15 mm e utilizzando delle fascette stringi tubo e del nastro teflon in maniera tale da garantire le tenute ed evitare assolutamente l'insorgere di perdite.

Lo schema del circuito adottato per le prove sperimentali è riportato in *Figura 4.2*.

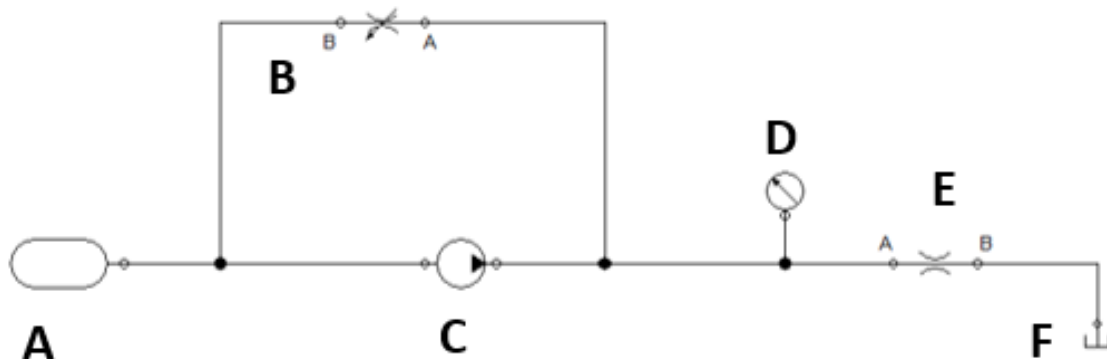


Figura 4. 2- Schema circuito usato per le prove sperimentali.

Il principale problema che è stato necessario risolvere al fine di garantire la costanza del getto prodotto dal singolo ugello (E) è stato quello di effettuare la regolazione della pompa (C) in quanto realizzava un funzionamento intermittente on/off.

La risoluzione del problema è stata quella di effettuare una regolazione alla mandata per la pompa in maniera tale da aggiungere, mediante un regolatore a 3 vie, un condotto di ritorno al serbatoio di alimentazione (A) con un regolatore di flusso (B), il quale garantisce alla pompa la stessa portata richiesta dall'ugello.

La lettura della pressione di lavoro viene effettuata mediante il manometro (D) installato a monte dell'ugello collegato ad un serbatoio (F) posto ad 1 bar che rappresenta l'ambiente in cui viene creato il getto.

L'ugello in assenza del regolatore, richiedendo delle portate che sono all'incirca inferiori di un ordine di grandezza, determina un incremento di pressione nel condotto raggiungendo valori superiori a quelli massimi della pompa che, pertanto, interrompe il suo funzionamento.

A questo punto, lo step successivo è stato quello di installare il circuito idraulico sul carrello mobile assicurandosi di evitare che la parte elettrica relativa all'alimentazione della pompa possa essere raggiunta dal liquido e, garantendo, che il circuito sia completamente privo di perdite.

Scelta della carta

Le rilevazioni per la valutazione del comportamento del getto sono state effettuate mediante lo spruzzo su opportuni fogli di carta.

L'idea di base dell'utilizzo dei fogli su cui effettuare i getti riprende la principale modalità adottata dai costruttori di ugelli che utilizzano delle cartine idro sensibili gialle che assumono una colorazione blu nei punti in cui vengono bagnate.

La scelta per la valutazione su quale tipo di carta utilizzare è stata effettuata valutando come il getto venga riprodotto su ognuna di esse, individuando come migliore quello in grado di rappresentare al meglio le caratteristiche della distribuzione delle gocce con la minima dispersione.

In particolare, il confronto è stato effettuato utilizzando 3 diverse tipologie di carta:

1. Carta comune;
2. Carta da imballaggi;
3. Carta lucida fotografica.

Si riportano di seguito le immagini dei getti realizzate per ogni tipo di carta.

In *Figura 4.3* viene mostrato il getto della soluzione di acqua e colorante blu realizzato su un foglio di carta comune formato A3.

Come si può osservare dalla foto, questo tipo di carta avendo una grammatura molto fine pari a 90 g/m² è facilmente permeabile dal getto che, di conseguenza, bagna completamente il foglio.

Le gocce vengono assorbite dal foglio e aumentano la loro dimensione durante l'impatto, pertanto, si è escluso l'impiego di fogli di carta comune poiché le singole gocce vanno a sovrapporsi e non è possibile studiarle singolarmente.

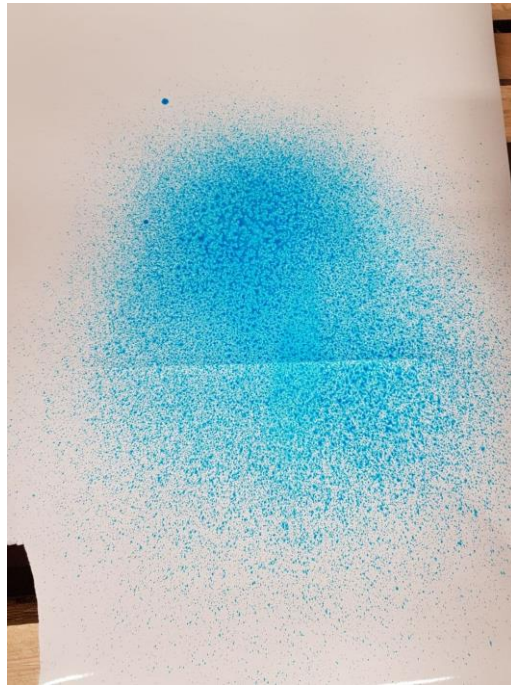


Figura 4. 3-Immagine del getto su foglio A3 di carta comune.

Il secondo tipo di carta usato per il confronto è una carta da imballaggi, una carta resistente impiegata per avvolgere gli oggetti.

Dalla foto del getto, in *Figura 4.4*, si può osservare come l'impiego di questa tipologia di carta sia assolutamente da evitare poiché non si è in grado di rilevare le caratteristiche delle gocce poiché il foglio non appena viene bagnato si piega andando a spostare le particelle e, di conseguenza, a distorcere le analisi.



Figura 4. 4- Immagine del getto su carta da imballaggi.

La terza opzione è stata quella di valutare le caratteristiche del getto realizzandolo su piccoli fogli di carta lucida. Il risultato del getto è riportato in *Figura 4.5*.

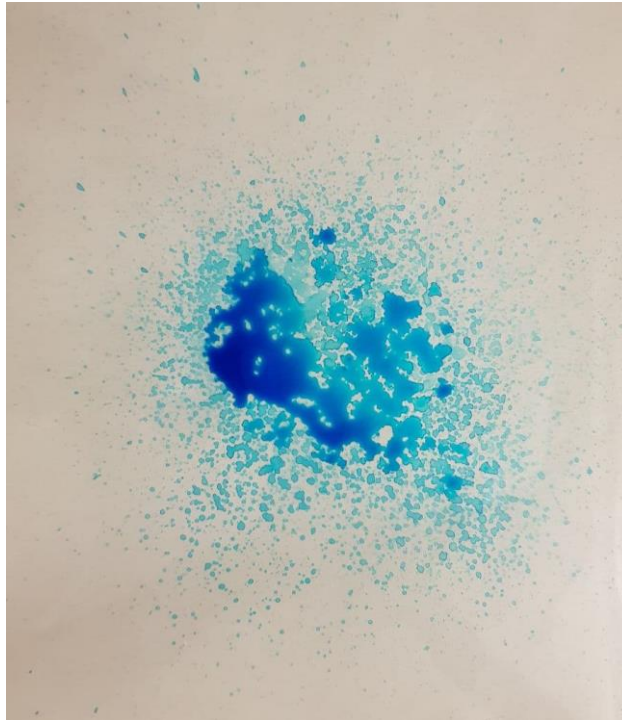


Figura 4. 5-Immagine del getto su fogli di carta lucida.

La carta lucida fotografica rispetto alle altre tipologie garantisce che il getto non venga deformato a causa dell'assorbimento come accade sulla carta comune oppure per la carta da imballaggi.

La carta lucida consente di mantenere le dimensioni delle macchie del getto senza subire deformazioni e, allo stesso tempo di mantenere lo stesso grado di colorazione.

Pertanto, si è deciso di posizionare, per le simulazioni del getto con il banco prova, fogli di carta lucida fotografica.

Dal momento che le dimensioni dei getti non sono costanti, ma dipendono dal tipo di ugello e dai parametri di lavoro, sono stati utilizzati dei rotoli da 30 m da 90 cm di larghezza, da cui vengono ritagliati i fogli di lunghezza opportuna a seconda della prova effettuata.

Si riportano in *Figura 4.6* le specifiche della carta lucida fotografica utilizzata per la caratterizzazione dei getti.

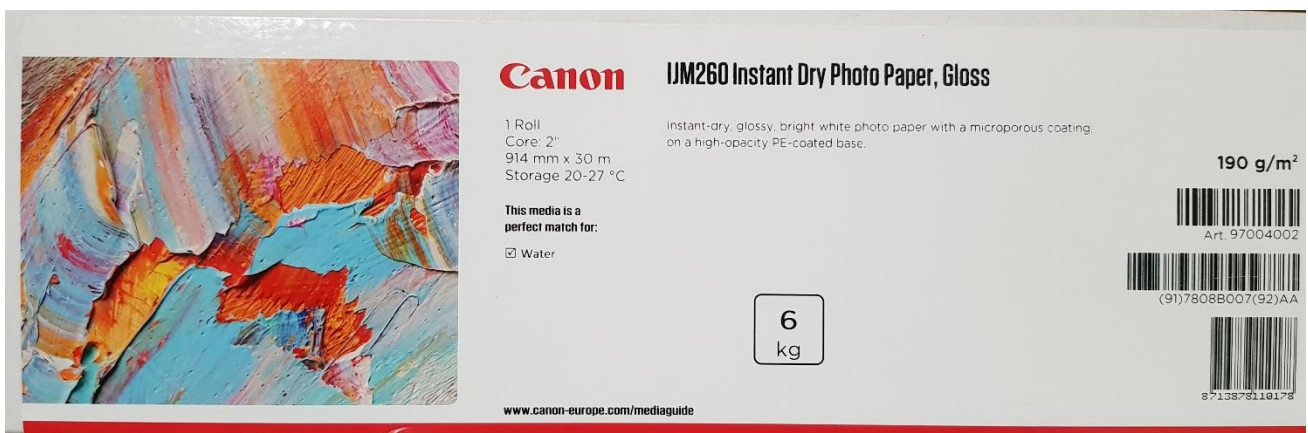


Figura 4. 6-Specifiche rotolo di carta lucida impiegato per le prove.

Sono stati, pertanto, ritagliati i fogli di carta lucida di diverse dimensioni e sono posizionati in orizzontale su dei supporti poggiati sul pavimento nella zona sottostante alla posizione dell'ugello, come riportato in *Figura 4.7*.



Figura 4. 7- Posizionamento del foglio per rilevare le caratteristiche del getto.

Al fine di evitare che il getto della miscela di colorante possa raggiungere le altre aree all'interno del laboratorio è stata necessario utilizzare un telo come protezione per le strutture presenti, oltre a garantire una zona asciutta e pulita di raccolta dei fogli per le fasi precedenti e successive agli spruzzi.

L'ugello viene fissato sul carrello in maniera tale che sia sufficientemente sporgente per evitare che il getto raggiunga il telaio e che sia diretto nella direzione verticale in maniera tale da essere ortogonale e centrato rispetto al foglio.

Si procede, pertanto, al riempimento del serbatoio con la soluzione di colorante, rispettando le specifiche riportate sull'etichetta, ed è possibile avviare il funzionamento del circuito collegando la pompa all'alimentazione elettrica.

Per effettuare l'analisi dei getti è fondamentale valutarli nelle condizioni di regime, pertanto, per ottenere queste condizioni è necessario che durante la fase transitoria cioè fino al raggiungimento di una pressione costante il getto non investa il foglio ma venga depositato all'interno di una vasca di raccolta.

Soltanto nel momento in cui la pressione letta sul manometro si mantiene sul valore costante prefissato, il getto viene fatto rilasciare sul foglio sottostante per essere poi nuovamente bloccato per evitare la sovrapposizione delle gocce e, di conseguenza, di compromettere l'analisi.

I tempi in cui viene emesso il getto vengono opportunamente cronometrati e registrati.

Le prove ottenute utilizzando ugelli e parametri di lavoro differenti richiedono l'acquisizione delle immagini dei getti; date le grandi dimensioni dei fogli ottenuti l'unica soluzione di acquisizione è quella di utilizzare una macchina fotografica digitale affinché le immagini possano essere importate ed elaborate mediante ImageJ.

ImageJ è un programma gratuito che consente il processamento delle immagini attraverso la conversione delle immagini in 8 bit e, sfruttando il contrasto tra il colore blu del getto e lo sfondo bianco, tra le funzioni disponibili è in grado di risalire all'area delle macchie rilasciate sul foglio.

4.2 Programma delle prove

Avendo a disposizione il banco prova completo, si procede alla programmazione delle prove individuando su quali parametri intervenire per la caratterizzazione dei singoli ugelli.

I parametri sui quali si interviene per i test sperimentali sono stati:

- La pressione relativa p di lavoro del circuito irroratore;
- L'altezza h di posizionamento dell'ugello.

Il primo parametro non è stato scelto in maniera casuale ma tiene conto della massima pressione che è in grado di garantire la pompa (4 bar) e dalle pressioni di lavoro dei singoli ugelli, riportate da catalogo, per le quali abbiamo a disposizione i dati di riferimento per poter effettuare il confronto. Pertanto, i valori di pressione non sono gli stessi ma cambiano a seconda dell'ugello che si vuole studiare.

La pressione viene indicata con p e fa riferimento alla pressione relativa, misurata in bar.

La variazione di pressione è effettuata intervenendo manualmente sul regolatore di flusso ed è possibile effettuare la lettura direttamente sul manometro.

Il secondo parametro ossia l'altezza di posizionamento h dell'ugello è stato valutato tenendo conto della combinazione di dati relativi sia alla modalità di volo prevista per il drone sia sulla base delle caratteristiche geometriche della vite, fornite direttamente dall'azienda agricola.

La variazione di questo parametro è possibile modificando la configurazione del banco prova intervenendo sull'altezza della barra orizzontale sulla quale viene fatto alloggiare l'ugello.

La scelta di valutare il getto per altezze differenti è finalizzata alla valutazione del trattamento in corrispondenza di varie sezioni in maniera tale da capire se il trattamento sia efficace sull'intera pianta oppure no.

In particolare, la valutazione delle sezioni interne viene effettuata in condizioni ideali come se non ci sia nessun elemento intermedio tra l'ugello e la superficie individuata.

Pertanto, i valori che sono stati scelti dipendono direttamente dall'altezza totale del vigneto maggiorata della quota di volo del drone.

Sono state individuati tre valori di altezza, schematizzati in *Figura 4.8*, corrispondenti alla distanza verticale ugello-foglio ossia la distanza verticale tra la posizione dell'ugello e il foglio posizionato su un supporto orizzontale, in modo da mantenersi ortogonale al getto:

- $h_1 = 0,5$ m
- $h_2 = 1,0$ m
- $h_3 = 1,5$ m

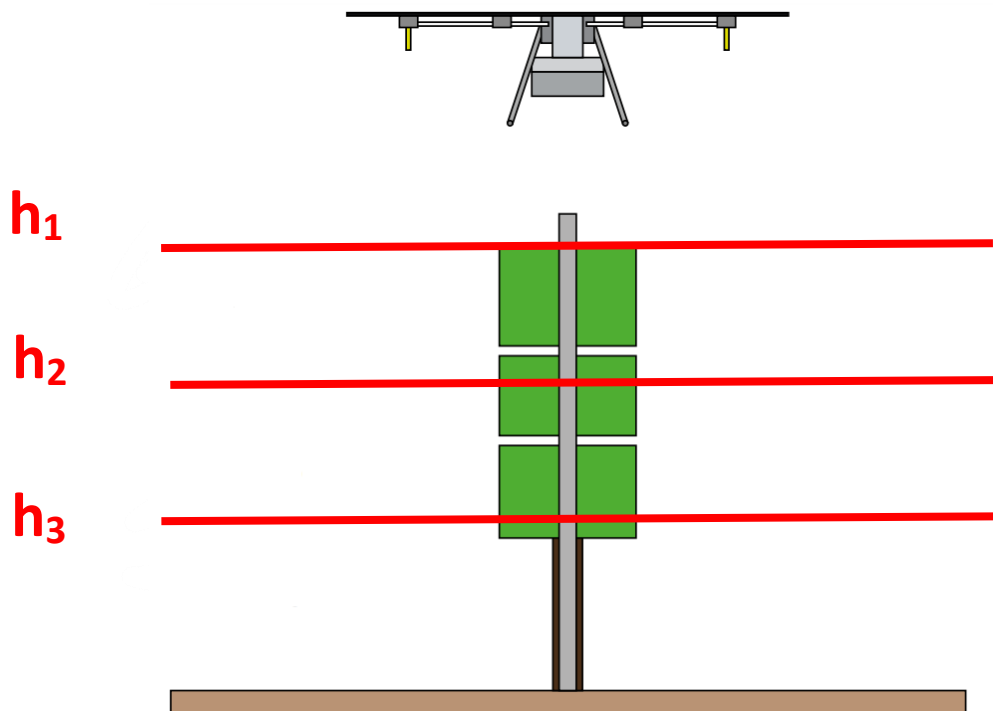


Figura 4. 8- Altezze irrorazione h_1 , h_2 e h_3 adottate nelle prove sperimentali.

La prima altezza h_1 corrisponde alla reale superficie superiore della pianta, mentre, le altre due altezze h_2 e h_3 fanno riferimento a delle sezioni interne riferite alla zona centrale e inferiore della pianta.

In particolare, i test sperimentali sono stati effettuati analizzando i getti fissando inizialmente l'altezza e variando esclusivamente la pressione, come riportato in *Figura 4.9*.

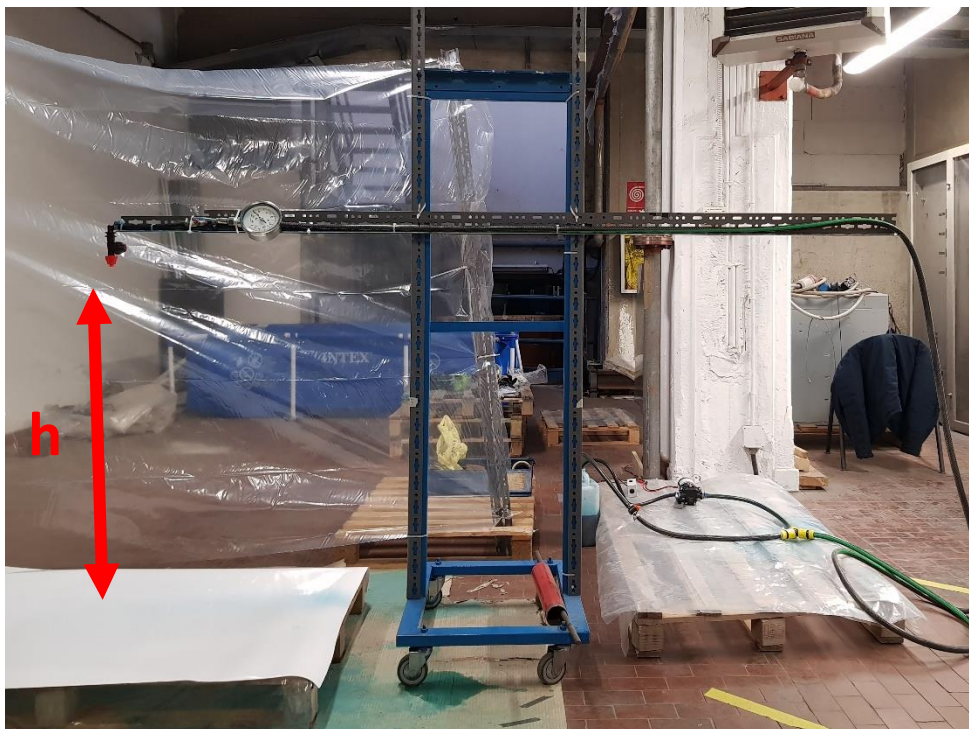


Figura 4. 9- Configurazione banco prova con un'altezza verticale h ugello-foglio fissata.

Una volta terminate le analisi per una determinata altezza si procede in maniera analoga con quelle successive.

Si riporta di seguito in *Tabella 4.1* l'intero programma di prove sperimentali per gli ugelli disponibili riferite per una distanza verticale fissa tra il foglio e l'ugello sul quale sono indicate per ogni tipo di ugello le pressioni di lavoro con cui sono stati valutati.

p [bar]	Ugello
1	LDC11001
	WRC110015
p [bar]	Ugello
1,5	AFC11001
p [bar]	Ugello
2	HCF80015
	WRC110015
p [bar]	Ugello
3	HCI80015
	AFC11001
	HCF80015
	LDC11001
	WRC110015
	HCA8001
	HCI6001
p [bar]	Ugello
4	HCI80015
	AFC11001
	HCF80015
	LDC11001
	HCA8001
	HCI6001

Tabella 4. 1 - Programma intere prove per gli ugelli disponibili per le prove sperimentali.

4.3 Fonti bibliografiche per l'analisi dei risultati

Gli studi bibliografici finalizzati alla valutazione dello spray prodotto dagli ugelli sono ampiamente diffusi negli ultimi anni per poter ottimizzare la distribuzione dei trattamenti fitosanitari adottati nel settore agricolo.

Il principale parametro di ricerca è la dimensione delle gocce.

Gli studi portati avanti si pongono come obiettivo l'individuazione di un metodo ottimale per il monitoraggio del getto in maniera tale da ricavare quali siano gli ugelli che garantiscono il rispetto dei requisiti.

Nella maggior parte degli studi, in maniera analoga a quanto fatto nel seguente lavoro sperimentale, è stata effettuata la progettazione e la realizzazione di un banco di prova in maniera tale da poter simulare in laboratorio le condizioni reali e procedere alla caratterizzazione.

Per le analisi sui singoli getti si è fatto riferimento a tre modalità di monitoraggio per poter risalire dalla dimensione della macchia alla dimensione effettiva della goccia in maniera tale da effettuare il confronto con i dati forniti da catalogo e verificare l'effettivo impiego per l'esecuzione dei trattamenti.

Gli studi sono mirati all'individuazione empirica di un particolare fattore di conversione per cui si possa risalire dall'impronta rilasciata dal getto al diametro e al volume della goccia originale. Di seguito vengono descritti i 3 metodi di conversione utilizzati nel seguente lavoro sperimentale:

- Il primo metodo sfrutta delle tabelle e grafici per poter risalire al fattore di dispersione β o spread factor in funzione della dimensione della macchia;
- Il secondo metodo, individuato dal Dipartimento di agricoltura di Catania, individua una relazione tra il diametro dello spot e il diametro originale tramite un confronto dei getti visualizzati su cartine idro sensibili e su piastrine di Petri. Nel dettaglio la relazione individuata è la seguente:

$$D_{spot} = 1.59 \cdot 0,938 \cdot D^{1,143}$$

Dove:

D_s : diametro dello spot(μm)

D : diametro originale(μm)

- Il terzo metodo, invece, la relazione empirica tra il coefficiente di dispersione β e il diametro dello spot D_{spot} :

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

Tutti sono accumulati dal fatto di utilizzare come strumento di analisi le cartine idro sensibili (WSP: Water Sensitive Paper) poiché richiedono bassi costi e consentono di effettuare un confronto rapido con i dati forniti direttamente dalle case produttrici.

L'impiego delle WSP, però, comporta dei limiti quali:

- Consentono di visualizzare con difficoltà gocce fini di dimensioni al di sotto dei 50 μm ;
- Sono fortemente influenzati dalle condizioni ambientali, specialmente in condizioni di gradi di umidità relativa superiori al 85%;
- L'impronta generata dipende dalle proprietà fisiche dello spray, della tensione superficiale, dalla direzione di impatto.

Nei paragrafi successivi vengono definiti con precisione i tre metodi di conversione, citati precedentemente, in maniera tale da descrivere le differenti configurazioni del banco prova impiegate e le modalità d'analisi che hanno consentito di ricavare le relazioni tra la dimensione dell'impronta della goccia e quella originale.

Metodo I

Il primo metodo individuato è quello più semplice per cui è possibile risalire alla dimensione della goccia sfruttando sia delle tabelle sia in forma grafica.

Le impronte che si ottengono sul foglio sono più larghe rispetto alla dimensione originale della goccia rilasciata dall'ugello, pertanto, questo viene tenuto in conto mediante l'associazione di un fattore di dispersione o spread factor β .

Nel primo metodo di conversione viene presa in considerazione le informazioni fornite da *Sygenta* che è una delle principali aziende leader nel settore agro-industria.

Dal paper *Water sensitive paper for monitoring spray distribution* [11] è possibile individuare le modalità e i parametri da utilizzare per poter valutare il comportamento dello spray prodotto da ogni singolo ugello.

I risultati ottenuti sono il frutto di una serie di studi accurati per cui a partire dal getto su una cartina idro sensibile realizzata in situ, sono state analizzate con sistemi ottici e lenti *Optomax V* di altissima precisione che garantiscono di visualizzare e individuare gocce molto piccole.

Le modalità individuate dall'azienda sono di due tipi:

1. Forma tabellare, riportata in *Tabella 4.3*, a cui si attribuisce un fattore di dispersione a seconda della dimensione della goccia;
2. Forma grafica, riportata in *Tabella 4.4*.

Table 1 – Spread factor values used to convert stain spectra to droplet sizes.		
Stain diameter of drops, μm	Spread factor	Drop diameter, μm
100	1.7	58.8
200	1.8	111.1
300	1.9	157.9
400	2.0	200.0
500	2.1	238.1
600	2.1	285.7

Source (Syngenta, 2002)

Tabella 4.2- Valore di Spread Factor β a seconda del range della dimensione della goccia.

Fonte: Mario Cunha, Claudia Carvalho, Andre R.S.Marcal, Faculdade de Cie^ncias da Universidade do Porto and Centro de Investigac,ã~o em Cie^ncias Geoespaciais, Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets, giugno 2011.

La forma grafica è in grado di fornire dati più accurati poiché si riesce a risalire al fattore di dispersione o spread factor β .

L'andamento del fattore di dispersione β in funzione della dimensione della macchia rilasciata sulla cartina idro sensibile è stato ottenuto mediante l'utilizzo di una lente con dell'ossido di magnesio o dell'olio di silicio per la visualizzazione mediante il sistema automatico di elaborazione immagini di Sygenta, Optomax V.

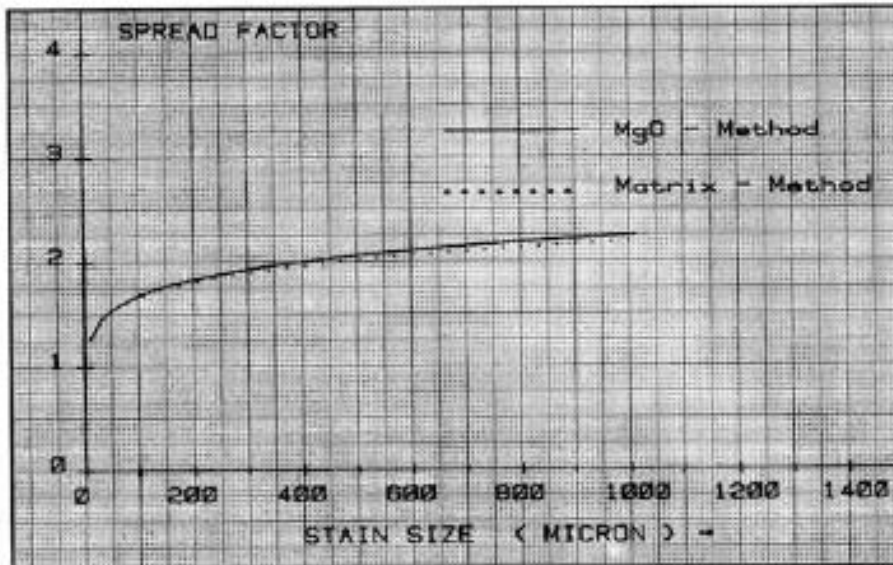


Figura 4. 10- Grafico Spread Factor θ -Dimensione della goccia.

Fonte: Mario Cunha, Claudia Carvalho, Andre R.S.Marcial, Faculdade de Cie^{nc}ias da Universidade do Porto and Centro de Investigac^ão em Cie^{nc}ias Geoespaciais, *Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets*, giugno 2011

Tra le due forme che possono essere utilizzate, riportate nelle *Tabelle 4.3 e nella Figura 4.10*, è preferibile sfruttare la seconda modalità mediante la quale è possibile ottenere un fattore specifico corrispondente a valori di diametro non esatti, come richiesto dalla forma tabellare.

In particolare, a partire dai punti noti della curva si è assegnata un'equazione tramite un'opportuna funzione in Excel in maniera tale da poter utilizzare dei fattori di dispersione quanto più precisi possibili tenendo conto, inoltre, della presenza di un asintoto orizzontale per cui per elevate dimensioni il fattore di dispersione tende al valore 2,1.

Metodo II

Un ulteriore metodo efficace che garantisce di poter ricavare i parametri originali del getto sulla base delle dimensioni delle macchie rilasciate fa riferimento alle prove sperimentali portate avanti dal Dipartimento di Agricoltura dell'Università di Catania [13].

I limiti che vengono esaminati e rintracciati da questo studio sono relativi alla difficoltà nell'impiego di cartine idro sensibili per valutare le impronte rilasciate da gocce molte vicine tra loro che determinano una sovrapposizione.

Il banco prova impiegato è stato realizzato dallo stesso Dipartimento e la valutazione del getto realizzato viene effettuata in maniera tale che vada ad investire delle piastre di Petri contenenti 5 ml di olio siliconico e delle cartine idro sensibili, come riportato nello schema di *Figura 4.9*.

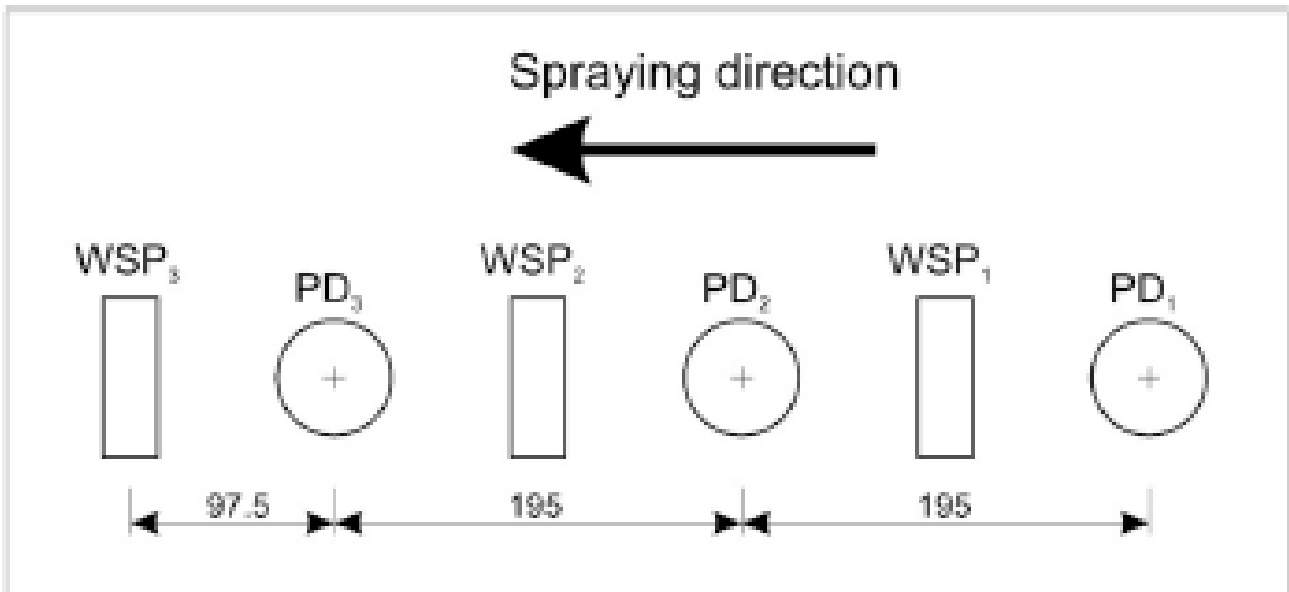


Figura 4.11 – Disposizione alternata di cartine WSP e piastre di Petri per la valutazione del getto.

Fonte: Emanuele Cerruto, Giuseppe Manetto, Domenico Longo, Sabina Failla, Rita Papa * Department of Agricoltura, Alimentazione e Ambiente (Di3A), Section of Mechanics and Mechanisation, University of Catania, A model to estimate the spray deposit by simulated water sensitive papers

Le piastre di Petri, ossia dei recipienti piatti impiegati generalmente nel settore biologico e medico, sono posizionate in modo alternato rispetto alle cartine idro sensibili, come nello schema riportato in *Figura 4.11*.

Per le attività sperimentali non è stata utilizzata dell'acqua ma una soluzione al 2% con un colorante rosso Novema Ponceau.

Le immagini delle gocce che si creano all'interno delle piastre di Petri sono state acquisite utilizzando un'opportuna camera ad elevata risoluzione direttamente collegata sul banco, mentre, le cartine sono state valutate, previa scansione con uno scanner con una risoluzione pari a 1200 dpi, mediante il software di elaborazione immagini ImageJ.

La scelta di valutare il getto con i due metodi differenti è stata effettuata con l'obiettivo di fornire una relazione efficace per poter ricavare le dimensioni delle gocce utilizzando delle cartine idro sensibili a partire dai dati più accurati ottenuti mediante le piastre di Petri.

Sfruttando delle analisi statistiche, la relazione tra il diametro della macchia e quella della goccia originale che è in grado di fornire degli ottimi risultati è riportata di seguito:

$$D_{spot} = 1.59 \cdot 0,938 \cdot D^{1,143} \quad (4.1)$$

Dove:

D_s : diametro dello spot(μm)

D : diametro originale(μm)

Metodo III

Nel paper [14] viene definita una modalità efficace di monitoraggio dello spray generato dall'ugello. Lo studio viene effettuato di seguito alla realizzazione del banco prova su cui vengono installati tre differenti ugelli, mantenuti ad un'altezza verticale fissa e pari a 0,5 m.

L'analisi è stata effettuata sottoponendo le cartine idro sensibili al microscopio in maniera tale da poter valutare con un'accuratezza elevata le dimensioni delle gocce; in particolare, l'osservazione è stata incentrata sulle sole gocce con forma circolare caratterizzate da un contorno ben definito.

Il diametro delle macchie rilasciate dal getto non corrisponde all'effettiva dimensione della goccia poiché nel momento in cui si depositano subiscono delle deformazioni e, allo stesso tempo, possono sovrapporsi.

La difficoltà per ottenere la dimensione della goccia è associata alla ricerca di un fattore di conversione che tenga conto di una serie di parametri di esercizio quali la tensione superficiale dello spray fino, condizioni atmosferiche in cui viene realizzato il getto e le proprietà fisiche della sezione irrorata.

Il fattore di conversione che è stato individuato viene chiamato fattore di dispersione β ed è stato ricavato in maniera empirica valutando le relazioni tra i dati forniti dal produttore degli ugelli e le dimensioni delle macchie rilevate in maniera accurata mediante l'utilizzo del microscopio.

La relazione che lega il diametro della macchia con il diametro della goccia è la seguente:

$$D_{goccia} = \frac{D_{spot}}{\beta} \quad (4.2)$$

Dove:

$$\beta = 0,0000857 \cdot D_{spot} + 1,6333 \quad (4.3)$$

4.4 Parametri caratteristici del getto

Sfruttando le relazioni individuate dagli studi bibliografici ci possono avere le informazioni sul getto di partenza.

Le gocce non sono tutte delle stesse dimensioni, la distribuzione avviene in maniera casuale determinando gocce piccole e grandi. Per questo motivo è bene che le prove di simulazione non vengano effettuate una sola volta ma vengano ripetute in maniera tale da avere a disposizione un numero di informazioni quanto più esteso possibile da cui poter estrarre dei risultati attendibili.

Ciò ne consegue che vi sono dei dati superflui che, se presi in considerazione, possono sfalsare i risultati finali utili per la caratterizzazione.

Pertanto, l'insieme di dati raccolti non viene studiato tramite un approccio di natura probabilistica. Ciò ne consegue di evitare di considerare come dato riassuntivo il diametro medio ma vengono presi in considerazione tre particolari diametri caratteristici, visualizzati in *Figura 4.10*, così definiti:

- $D_{v0,5}$ noto come Diametro medio volumetrico (VMD: Volume Median Diameter): rappresenta il diametro delle gocce al quale corrisponde il 50 % del volume di spray con diametro inferiore e superiore al valore individuato;
- $D_{v0,1}$: rappresenta il diametro per cui il 10% delle gocce presenti sul totale del volume di liquido hanno un valore inferiore a quello individuato;
- $D_{v0,9}$: indica il 90% delle particelle presenti nel volume di liquido hanno un diametro inferiore al valore dato.

Tra questi tre diametri caratteristici quello più importante è il diametro medio volumetrico (VMD), che corrisponde alla mediana del set di dati a disposizione, è lo stesso dato che viene fornito dai cataloghi di costruttori e, quindi consente di poter procedere al confronto.

È riportata di seguito una generica curva di distribuzione in funzione della frequenza dei dati sul quale sono rappresentati parametri caratteristici descritti in precedenza.

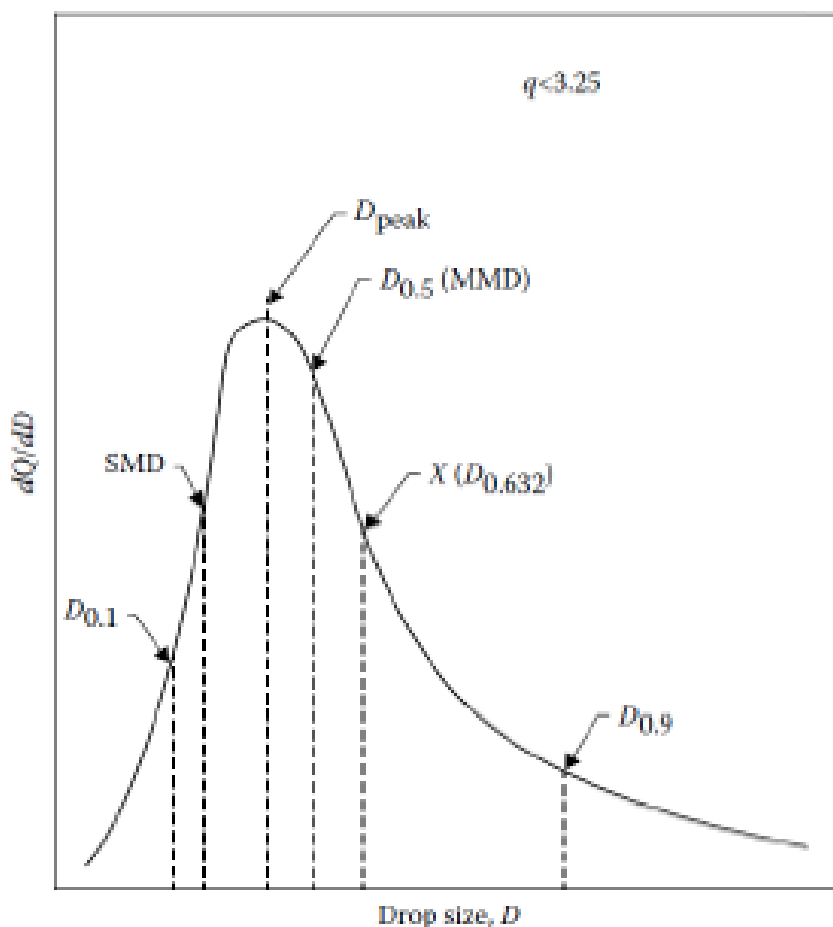


Figura 4.12- Distribuzione delle gocce con identificazione dei diametri caratteristici.

Il monitoraggio dello spray richiede, oltre alla valutazione della dimensione, anche il controllo su come viene distribuito.

Come si è visto dalle informazioni riportate nei manuali contenenti le linee guida su come debbano essere eseguiti i trattamenti fitosanitari sui vigneti è fondamentale che la distribuzione sia quanto più omogenea possibile.

Gli studi bibliografici relativi all'analisi dei getti valutano il loro comportamento sulla base della copertura e della distribuzione mediante l'individuazione di due parametri che sfruttano, necessariamente, le informazioni sul numero di gocce e sulla dimensione dell'area delle singole particelle ottenute dal programma di elaborazione di immagini.

Nel dettaglio i due parametri sono:

- Area di copertura (%) fornisce la percentuale di area ricoperta dalle gocce sulla superficie di riferimento;
- Densità delle gocce(gocce/cm²) fornisce il numero di gocce sull'area di interesse.

I seguenti parametri verranno descritti nel dettaglio nel capitolo successivo di analisi delle prove sperimentali.

Capitolo 5: Analisi e risultati

Nel seguente capitolo si procede alla visualizzazione dei risultati ottenuti utilizzando come software di calcolo il foglio elettronico di Excel, importando i dati da ImageJ.

In particolare, vengono analizzati i getti prodotti dai seguenti ugelli a cono del marchio ASJ Nozzle:

1. **HCF80015**: Ugello a cono pieno
2. **HCI6001**: Ugello a cono vuoto

Per ogni singolo ugello sono state reperite tutte le informazioni necessarie dal catalogo, fruibile sul sito web della casa produttrice, a partire dall'utilizzo per cui vengono consigliati fino ai dati riferiti alle pressioni ottimali di lavoro.

I getti realizzati dai singoli ugelli mediante l'apposito banco prova sono differenziati sulla base delle differenti altezze h e sulla base della pressione di lavoro p garantita dalla pompa.

Di seguito vengono riportate nel dettaglio le procedure impiegate e i risultati ottenuti in ogni singola fase, sfruttando tre procedure differenti riguardo la correlazione tra la dimensione della macchia D_{spot} rilasciata dal getto e quella originale D .

L'obiettivo dell'elaborazione dei dati è di valutare quale dei tre metodi risulti essere quello efficace per cui si ha una corrispondenza con i dati riportati dal costruttore, e di conseguenza, effettuare la scelta dell'ugello che è in grado di soddisfare i requisiti tale da poter essere impiegato per il circuito d'irrorazione del vigneto.

5.1 HCF80015: Ugello a cono pieno

Il primo ugello analizzato è il modello *HCF80015* a cono pieno del marchio italiano Asj Nozzle.

Da catalogo, come in *Figura 5.1*, vengono riportate le informazioni relativi alla geometria(a), alle dimensioni (b) e l'utilizzo per cui viene consigliato(c).

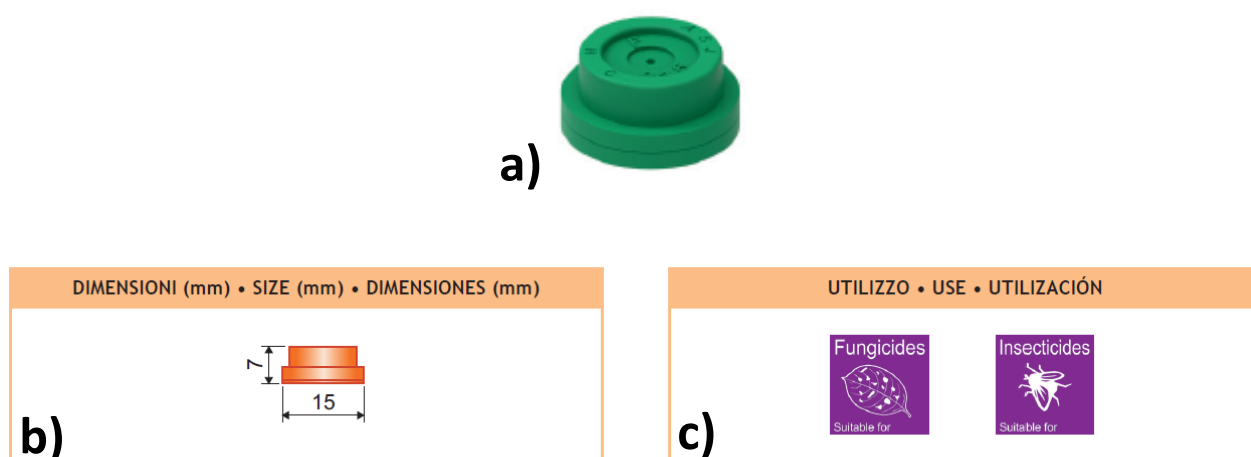


Figura 5. 1. – Ugello a cono pieno HCF80015: a) ugello, b) dimensioni, c) utilizzo consigliato. Fonte: Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.

Gli ugelli a cono determinano una traccia di forma circolare e realizzano un getto a forma conica attraverso il passaggio del liquido dal convogliatore d'ingresso ad una piastrina con un foro opportunamente calibrato.

Negli ugelli a cono tradizionali questi due elementi sono separati e tra i due viene interposta una guarnizione in gomma; la variazione della distanza compresa tra il convogliatore e la piastrina determina un differente angolo di apertura.

L'ugello HCF80015 rientra nella categoria dei coni pieni, con un angolo di apertura di 80°, che trovano principale impiego per trattamenti di prevenzione per funghi e insetti su fitte vegetazioni, effettuando il montaggio su barre da diserbo o anche per pompe a spalla.

Sono realizzati in resina acetalica, un materiale che garantisce un'alta stabilità e lunghe durate.

Il vantaggio principale rispetto all'utilizzo degli ugelli a cono tradizionali è legato al fatto che consentono, da catalogo, di produrre gocce con dimensioni maggiori fino al 40% in maniera tale da evitare il fenomeno della deriva e, di conseguenza, garantire un'ottimizzazione delle risorse.

Le prime informazioni utili da reperire per effettuare la caratterizzazione sono relative alle pressioni di lavoro e le rispettive classi di identificazione sulla base delle dimensioni delle gocce dello spray, in accordo con la normativa *Asabe S572.1*.

Dalla lettura del catalogo si procede alla programmazione delle prove scegliendo le pressioni da adottare coerentemente alla strumentazione impiegata; il limite principale è dovuto dalle performance della pompa usata, la quale è in grado di garantire una pressione massima di lavoro pari a 4 bar.

L'unica colonna al quale si è interessati è esclusivamente quella relativa alla classe identificativa delle gocce, tralasciando le informazioni relative alle differenti velocità di avanzamento poiché le simulazioni sono state effettuate in *condizioni statiche* ossia senza che vi sia associato alcun moto al sistema banco prova.





COD. CODE CÓD.	 bar	 drop	 l/min				
				4 km/h	6 km/h	8 km/h	10 km/h
HCF80015	2	F	0.49	147	98	73	59
	3	F	0.60	180	120	90	72
	4	F	0.69	208	139	104	83
	5	F	0.77	232	155	116	93
	6	F	0.85	255	170	127	102
	7	VF	0.92	275	183	137	110
	8	VF	0.98	294	196	147	118
	9	VF	1.04	312	208	156	125
	10	VF	1.10	329	219	164	131

Figura 5. 2- Classificazione dell'ugello HCF80015 in base alla dimensione delle gocce. Fonte: Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.

Di conseguenza la caratterizzazione dell'ugello, come mostrato in *Figura 5.2*, viene effettuata per i seguenti valori di pressione relativa p:

- $p_1 = 2$ bar
- $p_2 = 3$ bar
- $p_3 = 4$ bar

Per tutte e tre le prove la classe corrispondente è *Fine* corrispondente ad un range del diametro medio volumetrica o (VMD) della distribuzione dello spray compreso tra 106 e 235 μm .

Classe	VMD Range (μm)
Fine	106-235

Prove sperimentali $p_1=2$ bar

Una volta individuata la testina e la guarnizione corrispondente, l'ugello è stato montato sul banco prova in maniera tale da effettuare la caratterizzazione dei getti fissando come primo parametro di lavoro la pressione p , differenziando le altezze h spostando verticalmente la barra orizzontale fissata sul carrello.

Le altezze di interesse sono 3 e sono scelte opportunamente sulla base delle caratteristiche del vigneto e della modalità di volo del drone in maniera tale da poter valutare l'efficacia del trattamento in corrispondenza della superficie fogliare superiore e, idealmente, in uno strato intermedio e inferiore della pianta.

Nel dettaglio le altezze scelte sono le seguenti:

- $h_1=0,5$ m
- $h_2=1,0$ m
- $h_3=1,5$ m

La pressione è stata opportunamente fissata a 2 bar per il primo gruppo di prove, agendo manualmente sul regolatore di flusso del circuito.

Ogni qualvolta si interviene sul banco prova per modificarne le altezze, prima di procedere alla realizzazione del getto, è necessario controllare che non siano state introdotte delle perdite che potrebbero far variare la pressione rispetto al valore assegnato nelle prove.

Per la prima altezza ad $h_1=0,5$ m il banco prova si presenta nella configurazione di *Figura 5.3*: l'ugello è posizionato in corrispondenza dell'estremità della barra orizzontale in maniera tale da essere perpendicolare al piano del foglio sottostante, sul quale viene realizzato il getto.



Figura 5. 3- Configurazione banco prova per $h=0,5m$.

Le analisi sono effettuate a partire dalla fotografia del getto realizzato sul foglio, in maniera tale da acquisire l'immagine ed analizzarla tramite il software ImageJ.

Lo studio non è stato effettuato sull'intera area del getto ma sono state prese in esame due zone random di dimensioni equivalente ad una cartina idro sensibile o water sensitive paper (WSP) di dimensioni 76x52mm, studiate tramite l'esecuzione della macro in ImageJ.

Sono state scelte come aree oggetto di studio due zone, evidenziate in giallo nelle tabelle di analisi dei risultati, in maniera tale da avere a disposizione un maggior numero di dati a disposizione.

L'individuazione delle zone è stata effettuata adottando degli accorgimenti associati sia ai limiti del banco prova che del software ImageJ di elaborazione immagini.

Il banco prova, infatti, simula il getto in condizioni statiche per cui la posizione dell'ugello è fissa rispetto al foglio e ciò determina una maggiore concentrazione delle gocce al centro rispetto alle zone laterali. Ciò può essere facilmente osservato dalla maggiore intensità di colore nella parte centrale, al di sotto dell'ugello, a cui corrispondono regioni con un'elevata sovrapposizione delle gocce.

Questo problema, nel caso in cui venissero prese delle aree centrali, si ripercuote sul software il quale non è in grado di distinguere e caratterizzare in maniera ottimale le gocce all'interno di un agglomerato. Per poter far fronte a queste problematiche le zone prese in esame sono state individuate nelle zone periferiche del getto in cui la sovrapposizione delle gocce è minima, di conseguenza, si è in grado di ricavare le informazioni necessari senza grosse difficoltà.

Nei risultati delle analisi delle particelle individuate dal programma, sfruttando la conversione della foto in 8-bit, vengono evidenziati i soli contorni in maniera tale da valutare l'efficacia del software stesso.

Nelle righe della *Tabella 5.1* sono riportati i risultati associati ad ogni singolo step, come segue:

- Nella prima riga viene riportata l'immagine originale ossia l'intera fotografia del getto e vengono evidenziate in giallo le aree di dimensioni pari a 76x52 mm prese come oggetto di studio;
- Nella seconda riga viene riportata l'immagine binaria. Il software ImageJ per poter quantificare la dimensione delle particelle sfrutta la conversione dell'immagine in bit.
- Nella terza riga è riportata l'immagine ottenuto come risultato dal processo *Analyze Particles* in cui sono presenti i soli contorni delle particelle riconosciute e quantificate dal programma.

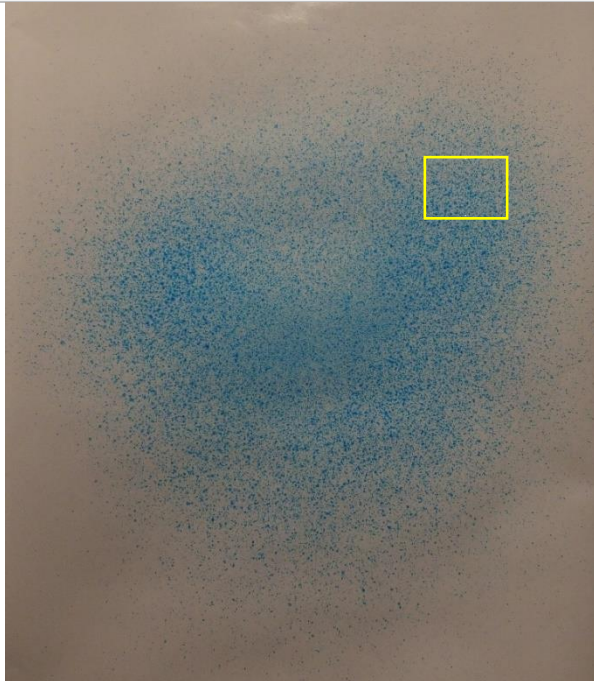
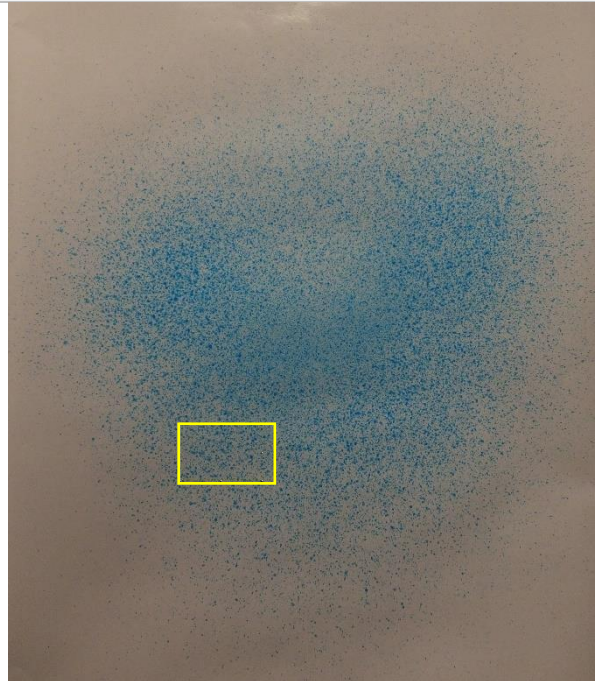
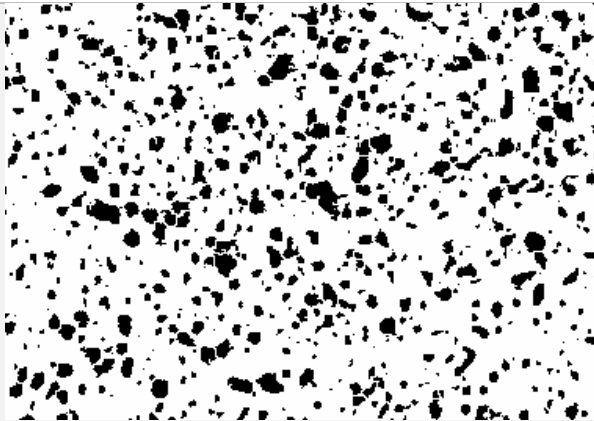
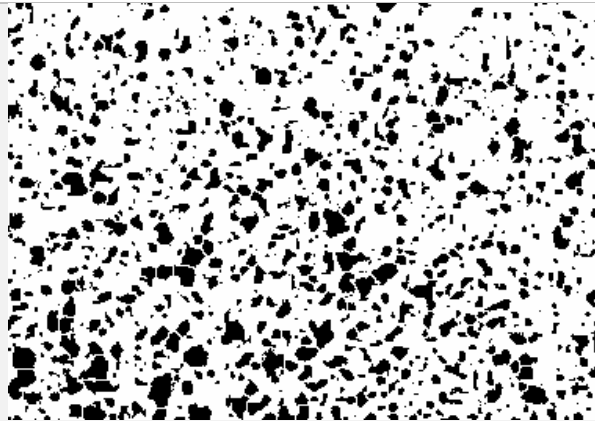
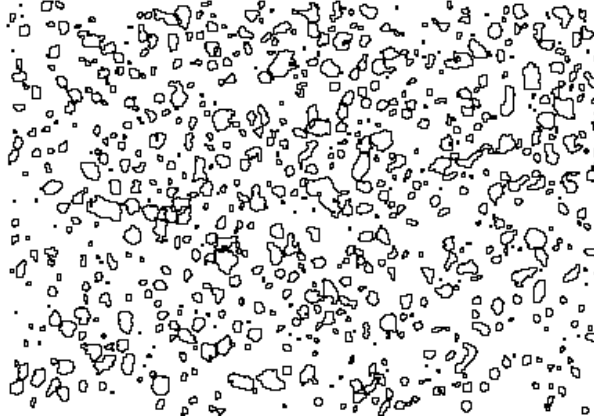
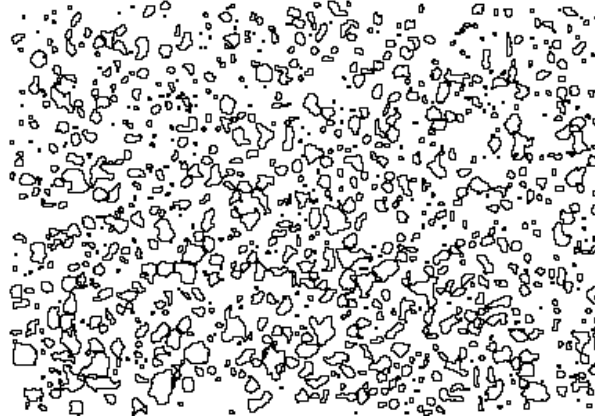
		$h_1 = 0,5 \text{ m}$	
		Zona 1	Zona 2
ORIGINALE			
IMMAGINE BINARIA			
IMMAGI			

Tabella 5. 1- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=2 \text{ bar}$, $h=0,5\text{m}$.

Di seguito, mantenendo la pressione costante a 2 bar è stata modificata la configurazione del banco prova, come mostrato in *Figura 5.4*.

Si è passati dall'altezza $h_1 = 0,5$ m ad $h_2 = 1,0$ m, modificando la posizione verticale della barra orizzontale in maniera tale da garantire che l'ugello mantenga la direzione verticale e ortogonale al piano del foglio.



Figura 5. 4- Configurazione banco prova per $h=1$ m.

In maniera analoga al caso precedente ad $h_1 = 0,5$ m, vengono riportati in *Tabella 5.2* i vari step dell'analisi del getto per questa configurazione.

Nel dettaglio si riportano:

1. L'immagine originale del getto con evidenziate in giallo le zone di area 76×52 mm oggetto di studio;
2. L'immagine binaria ottenuta dal processo di conversione in 8-bit del software;
3. Il risultato di ImageJ in cui si evidenziano i soli contorni delle particelle riconosciute e quantificate.

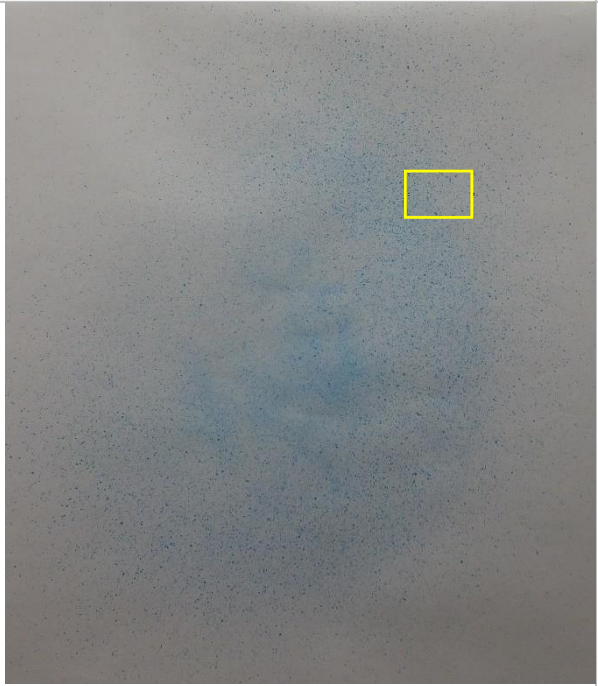
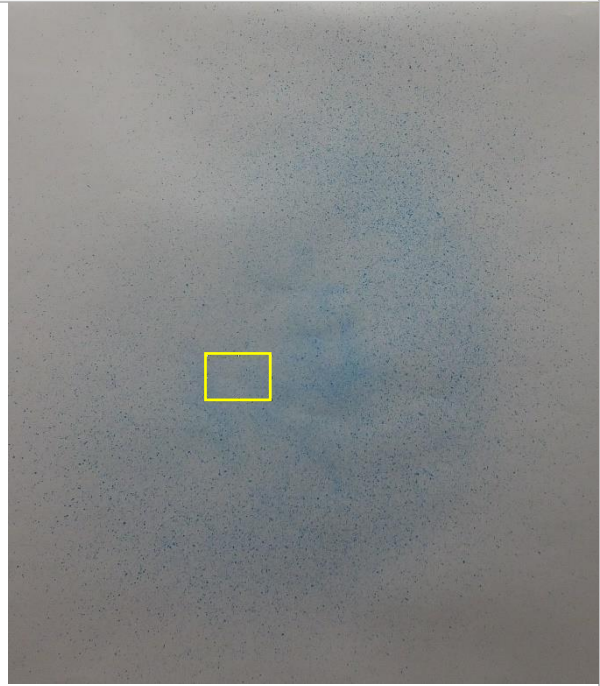




$h_2 = 1,0 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGINE		

Tabella 5. 2- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=2 \text{ bar}$, $h=1,0 \text{ m}$.

Il getto dell'ugello HCF80015 alla massima altezza $h_3 = 1,5 \text{ m}$ è stato analizzato modificando nuovamente il banco prova in maniera tale da assumere la configurazione come in *Figura 5.5*, intervenendo nuovamente sulla posizione verticale dell'asta orizzontale.



Figura 5. 5- Configurazione banco prova per $h=1,5 \text{ m}$.

Si riportano in *Tabella 5.3* i risultati della caratterizzazione del getto, evidenziando in ogni riga le immagini ottenute da ogni singolo step della procedura di analisi delle due zone (in giallo) prese in esame.

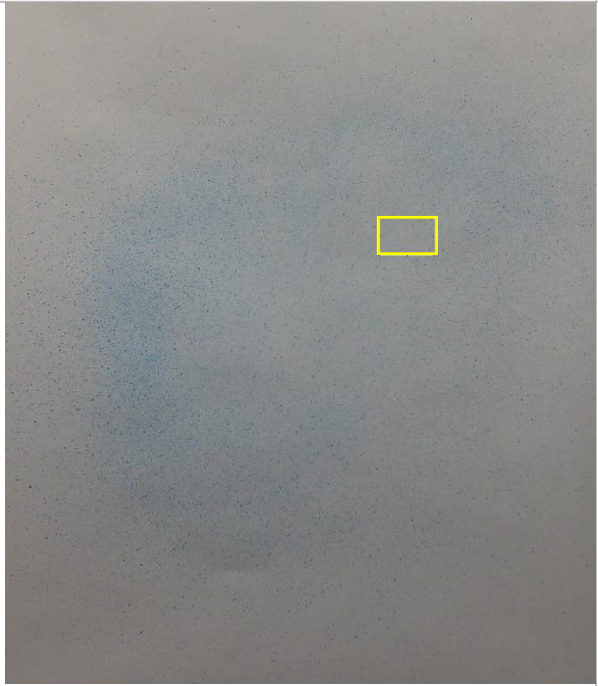
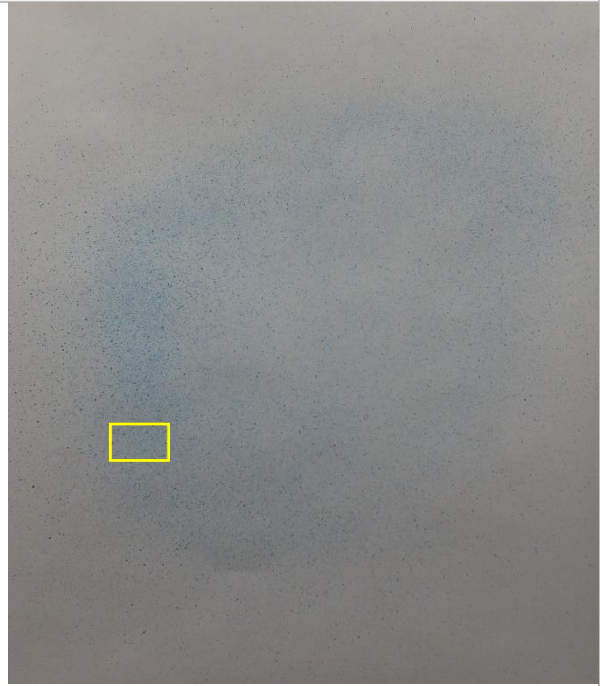


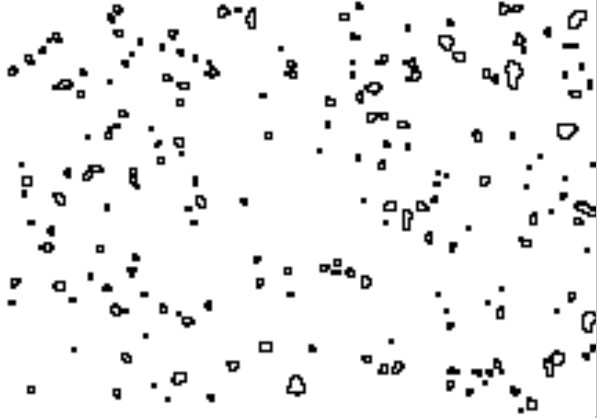

$h_3 = 1,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGI		

Tabella 5.3 - Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=2 \text{ bar}$, $h=1,5 \text{ m}$.

Analisi risultati per $p_1 = 2 \text{ bar}$

Complessivamente dalla visualizzazione dei risultati del processo di analisi, mediante il comando Analyze Particle, si può notare una buona corrispondenza tra l'immagine reale e la rispettiva immagine binaria a dimostrazione dell'efficacia dell'elaborazione quantitativa delle immagini effettuata dal software.

Assieme all'immagine in cui vengono evidenziati i soli contorni delle particelle viene fornito il risultato in forma numerica mediante un set di dati in cui è riportato nella prima colonna il numero di gocce individuate e nella seconda il valore dell'area assegnato.

I risultati numerici sono stati salvati in formato .txt e, di seguito importati in Excel.

Nel seguente paragrafo viene definita la procedura in maniera dettagliata con il quale i risultati acquisiti sono stati elaborati, riprendendo le equazioni bibliografiche del capitolo precedente per poter effettuare la conversione dal diametro della macchia al diametro originale della goccia.

A partire dall'informazione dell'area, il primo step richiede di ricavare l'informazione sul diametro della macchia D_{spot} .

Le singole particelle, nonostante la forma irregolare, sono state convenzionalmente considerate di forma sferica e, di conseguenza, il diametro i -esimo della macchia è stato ricavato con la seguente equazione:

$$D_{spot,i} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_i}{\pi}} \quad (5.1)$$

Il $D_{spot,i}$ non corrisponde all'effettiva dimensione delle gocce del getto poiché è influenzato dalla tensione superficiale del liquido e dalle condizioni ambientali di applicazione del getto.

Pertanto, è opportuno ricercare il diametro originale del getto utilizzando tre metodi differenti a cui si è fatto riferimento agli studi bibliografici, che si differenziano per la modalità con cui viene individuato il *fattore di dispersione* β .

Metodo I

Nel primo metodo il diametro originale della goccia viene ricavato riprendendo le informazioni riportate da *Tabella 4.2* e dalla *Figura 4.3* da cui è possibile risalire al fattore di conversione per poter risalire alla dimensione originale delle gocce dello spray.

Dove il *fattore di dispersione* o *spread factor* β viene assegnato a partire dalla dimensione del diametro dello spot D_{spot} rilasciato sul foglio, mediante le informazioni fornite in forma tabellare o grafica.

Come si può osservare in *Tabella 5.4* all'aumentare della dimensione dello spot corrispondono fattori di conversione maggiori fino ad arrivare ad avere diametri originali delle gocce dimezzati rispetto al valore della macchia rilevato.

$D_{spot,i}[\mu\text{m}]$	Spread Factor β	$D_i[\mu\text{m}]$
100	1,7	58,8
200	1,8	111,1
300	1,9	157,9
400	2	200,0
500	2,1	238,1
600	2,1	285,7

Tabella 5.4- Valori di Spread Factor assegnati i diametri dello spot.

Per poter ricavare i fattori di dispersione β per valori di diametro intermedi è stato effettuato un grafico a partire dai punti noti, da cui si è sfruttata la funzione di Excel per la quale è stata associata una particolare funzione l'individuazione di una linea di tendenza.

La linea di tendenza individuata è una curva polinomiale di secondo grado che è in grado di riprendere l'andamento dei punti ottenuti dalla Tabella 5.4, come si può osservare nella Figura 5.6 in cui sono riportate le due curve:

1. Curva ottenuta dai punti noti da tabella:
2. Curva di tendenza (*Polinomiale*): rappresentata da un'equazione polinomiale di secondo grado.

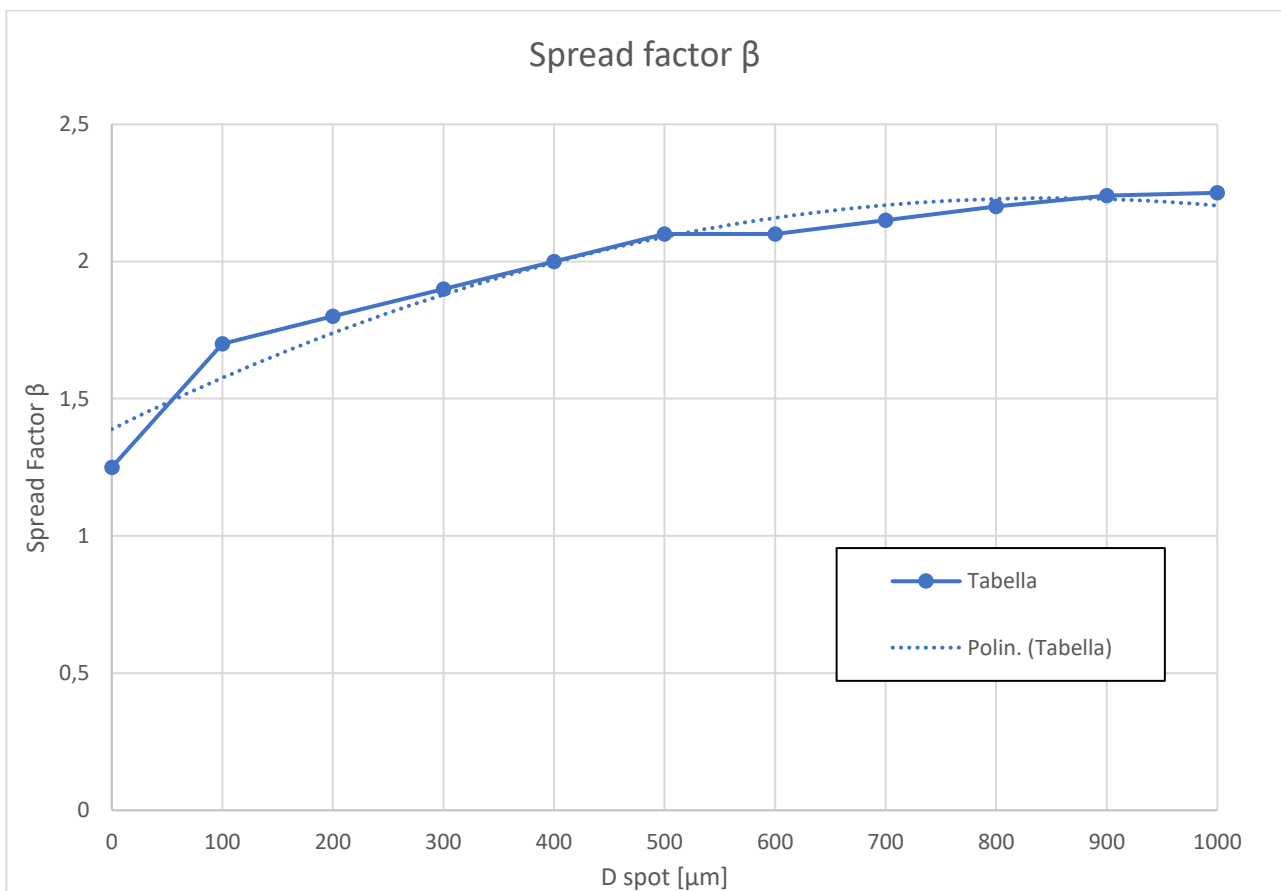


Figura 5. 6-- Grafico Spread factor-Dimensione dello spot della goccia: valori tabellari e linea di tendenza.

L'equazione polinomiale di secondo grado è usata per poter associare un fattore di conversione β ad ogni valore di diametro rilevato è la seguente:

$$\beta = -10^{-6} \cdot D_{spot}^2 + 0,002 \cdot D_{spot} + 1,3887 \quad (5.2)$$

Metodo II

Per il secondo metodo non è stato individuato un vero e proprio fattore di dispersione, è stata ripresa l'Equazione 4.1, dallo studio effettuato dall'Università di Catania, che correla il diametro della macchia con il diametro della goccia originale:

$$D_{spot} = 1,59 \cdot 0,938 \cdot D^{1,143} \quad (5.3)$$

Da cui si ricava:

$$D = \left(\frac{D_{spot}}{1,59 \cdot 0,938} \right)^{\frac{1}{1,143}} \quad (5.4)$$

Dove:

D_s : diametro dello spot (μm)

D : diametro originale (μm)

Metodo III

Per il terzo metodo adoperato viene sfruttando un secondo fattore di dispersione o spread factor β che rappresenta il dividendo della dimensione della macchia rilevata, sfruttando le Equazioni 4.2 e 4.3:

$$D_{goccia} = \frac{D_{spot}}{\beta} \quad (5.5)$$

Dove:

$$\beta = 0,0000857 \cdot d_{spot} + 1,6333 \quad (5.6)$$

Il parametro individuato per ogni singola zona, note le dimensioni del diametro, non corrisponde al valore medio ma è stato individuato il diametro medio volumetrico o Volume Median Diameter (**VMD**) per tenere conto del fatto che vi sono delle gocce di piccole e grandi dimensioni che potrebbero compromettere i risultati delle analisi.

Il VMD per definizione corrisponde alla dimensione del diametro al quale corrisponde il 50 % del volume di dati con un valore superiore e il 50% con un valore inferiore; corrisponde al valore "centrale" e viene individuato mediante la funzione *MEDIANA* prendendo come set di dati i valori di diametro D ottenuti dal processo di conversione.

Complessivamente per la caratterizzazione del getto è stato preso in esame il valore medio tra i VMD ricavati nelle due zone prese in esame per ogni prova effettuata.

Inoltre, ai fini della valutazione del getto in termini di distribuzione sono stati ricavati i seguenti parametri:

- **Area di copertura o area coverage (%)** fornisce la percentuale di area ricoperta dalle gocce sulla superficie di riferimento;

$$Area\ coverage\ (\%) = \frac{Area\ occupata}{Area\ riferimento} \times 100 \quad (5.7)$$

Dove l'area occupata è stata valutata tramite la funzione SOMMA della colonna di dati importati da ImageJ relativi all' i-esima area delle particelle individuate.

L'area di riferimento è l'area totale della zona di dimensioni equivalente ad una cartina idro sensibile di dimensioni 76x52 mm.

- **Densità delle gocce(gocce/cm²)** fornisce il numero di gocce sull'area di interesse

$$Droplet\ density\ \left(\frac{droplet}{cm^2}\right) = \frac{N\ particelle}{Area\ totale} \quad (5.8)$$

Dove *N particelle* è stato individuato dal massimo valore della prima colonna di dati ottenuti da ImageJ corrispondente al numero di particelle riconosciute e quantificate dal software; nel dettaglio è stata applicata la funzione MAX relativa alla colonna corrispondente.

L'area totale, espressa in cm², è fissata ed è pari a 19,76 essendo equivalente all'area della cartina idro sensibile.

Di seguito vengono riportati in *Tabella 5.5* i risultati delle analisi per l'ugello HCF80015 differenziati per il metodo di conversione adottato per ricavare il diametro originale della goccia a partire dal diametro della macchia rilasciata sul foglio, quantificata tramite ImageJ.

Nelle tabelle riassuntive dei risultati alla voce **VMD_I**, **VMD_II** e **VMD_III** corrispondono i diametri medi volumetrici ottenuti a seconda che sia stato adottato rispettivamente il primo, il secondo o il terzo metodo bibliografico, citati nei paragrafi precedenti.

Riassumendo, i tre metodi di conversione fanno riferimento a relazioni differenti:

- VMD I: viene valutato mediante l' *Equazione 5.2* dell'equazione di tendenza polinomiale in grado di seguire l'andamento, come riportato nella *Figura 5.6*
- VMD II : viene valutato riprendendo l'*Equazione 5.4* individuata dagli studi effettuati dall'Università di Catania;
- VMD III: si ricava dall'*Equazione 5.6* , per cui dal diametro della macchia si ricava la dimensione originale delle gocce.

Inoltre, la pressione **p** a cui si fa riferimento è la pressione relativa e viene identificata tramite l'utilizzo della *p* minuscola.

Assieme all'indicazione della pressione di lavoro, è bene definire la durata per il quale è stato effettuato il getto sul foglio, dopo aver raggiunto le condizioni di regime.

L'ugello, infatti, non realizza il getto sul foglio non appena viene avviata la pompa ma viene rilasciato in una vasca di raccolta fino a quando non si raggiunge la pressione di lavoro voluta.

Dopodiché la realizzazione del getto viene effettuata sul foglio sottostante, in maniera tale da limitare la sovrapposizione delle gocce, e viene registrato il tempo di spruzzo *t_s*.

p=2 bar t _s =0,46 s									
	h=0,5			h=1,0			h=1,5		
	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio
VMD_I	350,8	350,8	350,8	326,2	326,2	326,2	333,5	367,8	350,7
VMD_II	251,7	251,7	251,7	233,8	233,8	233,8	239,1	263,7	251,4
VMD_III	348,0	348,0	348,0	328,1	328,1	328,1	334,2	360,8	347,5
Area coverage [%]	43,1	35,3	39,2	7,8	11,1	9,4	6,3	9,6	8,0
Droplet density [droplet/cm²]	44,3	35,6	40,0	10,4	14,7	12,6	9,7	10,8	10,2

Tabella 5. 5- Risultati analisi ugello HCF80015 per p=2 bar.

I dati rappresentativi usati per la caratterizzazione del getto per ogni singola altezza sono quelli relativi alla voce “Valore medio”.

Di seguito in *Figura 5.7* viene riportato l’andamento del diametro medio volumetrico in funzione dell’altezza *h* ossia della distanza verticale tra l’ugello e il supporto orizzontale su cui viene posizionato il foglio.

In particolare, vengono tracciati tre andamenti a seconda del metodo di conversione adottato per ricavare il diametro effettivo della goccia, indicati con VMD I, VMD II e VMD III.

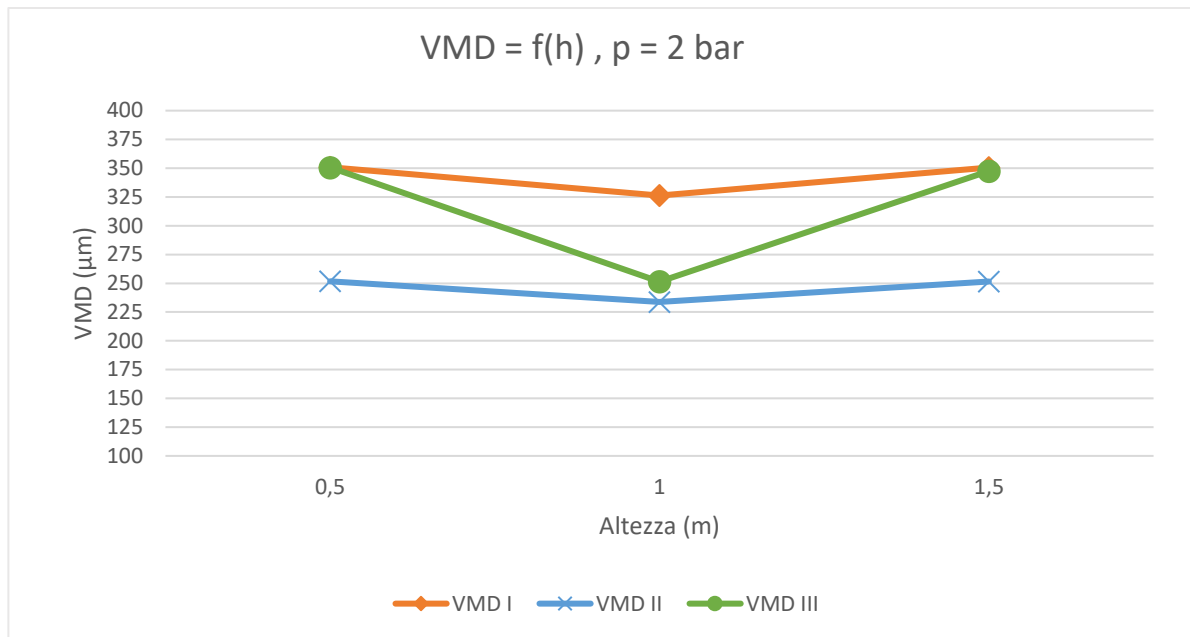


Figura 5. 7- Andamento VMD al variare dell'altezza ugello-foglio con p=2 bar.

- Il primo metodo (VMD I), per cui viene adottata l'Equazione 5.2 relativa all'equazione della linea di tendenza polinomiale, i valori di diametro rappresentativi della distribuzione del getto risultano essere simili, compresi tra i 325 e i 350 µm, ma maggiori rispetto a quelli dichiarati dalla casa costruttrice per la quale sono garantite dimensioni comprese tra 106 e 235 µm.
- Il secondo metodo (VMD II) , sfruttando la relazione definita dell'Equazione 5.4, viene individuato un diametro medio volumetrico compreso tra 225 e 250 µm, in accordo con quanto riportato da catalogo al quale viene associata una classe di tipo *Fine(F)*.
- Il terzo metodo (VMD III) utilizza l'Equazione 5.6 e consente di ricavare valori dei diametri delle gocce originali dello spray differenti per le varie altezze d'irrorazione. Il range di valori è molto ampio e, inoltre, superiore alle specifiche dichiarate.

Dal confronto dei dati ottenuti con i vari metodi, pertanto, si può osservare come il secondo metodo (VMD II) è l'unico che è in grado di garantire la coerenza tra i risultati ottenuti e la classificazione riportata da catalogo per cui all'ugello viene associata una classe di tipo *Fine* a cui corrisponde un range di VMD tra 106 e 235 µm.

Inoltre, le dimensioni delle gocce non subiscono una variazione per i tre valori di altezza.

Dagli altri due metodi il valore delle gocce che viene registrato si attesta attorno ai 330 µm.

Oltre alla valutazione delle dimensioni originali delle gocce emesse dall'ugello, è necessario valutare l'efficienza del trattamento fitosanitario applicato sulla vite sulla base della distribuzione realizzata dal getto, in termini di area ricoperta e della densità di gocce sulla superficie di riferimento.

È importante valutare questi parametri per l'applicazione di pesticidi sui vigneti poiché nella maggior parte dei casi sono trattamenti di prevenzione per funghi e insetti e richiedono un trattamento di contatto che vada a ricoprire sia la superficie fogliare che i rami.

L'area coverage (%), calcolata secondo l'Equazione 5.7, è in grado di fornire l'informazione sulla quantità di area di riferimento viene effettivamente ricoperta.

Dal punto di vista è necessario che sia garantito un buon livello di copertura, garantendo che il trattamento interessi l'intera zona d'interesse.

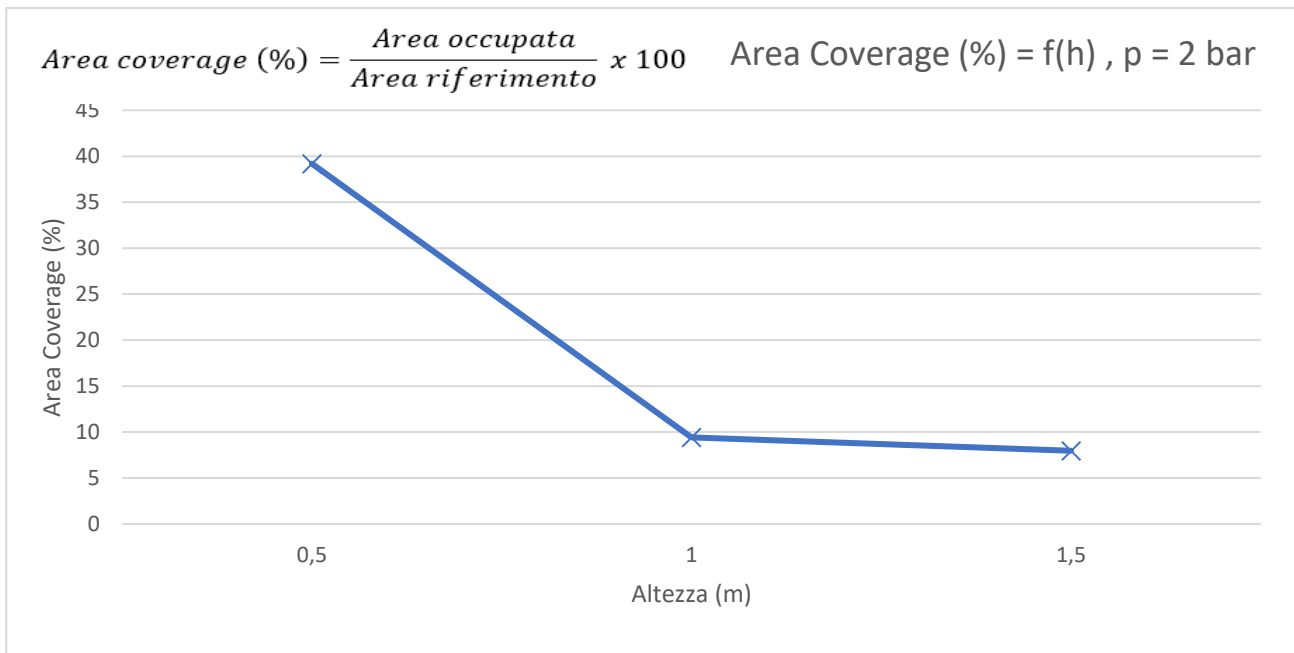


Figura 5.8-Area coverage p=2 bar.

Dall'andamento in *Figura 5.9* si osserva che in corrispondenza della superficie superiore del vigneto ($h=0,5$), che si trova alla minima distanza dall'ugello di irrorazione, è associato il grado di copertura massimo pari al 40%; mentre, negli strati intermedi ed inferiori della pianta l'area di copertura è ridotta e si mantiene costante attorno al 10%.

La riduzione del grado di copertura può essere dovuta a diversi fattori, tra cui la resistenza dell'aria che devia il flusso di particelle. Inoltre, bisogna evidenziare che le simulazioni sono state effettuate in *condizioni statiche* cioè considerando l'ugello fisso, senza tenere conto dell'avanzamento reale del drone e dell'influenza della spinta verticale dei rotori che garantiscono il direzionamento del flusso.

La densità delle gocce, definita dall' *Equazione 5.8*, fornisce le informazioni sul numero di gocce, indipendente dalla loro area, per ogni centimetro quadro della superficie di riferimento.

Questo secondo parametro associato alla distribuzione dello spray generato dall'ugello è importante per controllare che il prodotto fitosanitario venga effettuato in maniera efficace, rispetto le indicazioni che vengono definite sull'etichetta.

Oltre all'applicazione corretta del trattamento è necessario avere a disposizione questo dato per controllare che non vi siano degli sprechi, e di conseguenza ponendo attenzione alla salvaguardia dell'ambiente e dell'uomo.

L'andamento del droplet density riportato in *Figura 5.10* è simile a quello ottenuto per il grado di copertura: è massimo per $h=0.5$ m e subisce una netta riduzione per le altezze pari ad 1 m e 1,5 m dall'ugello.

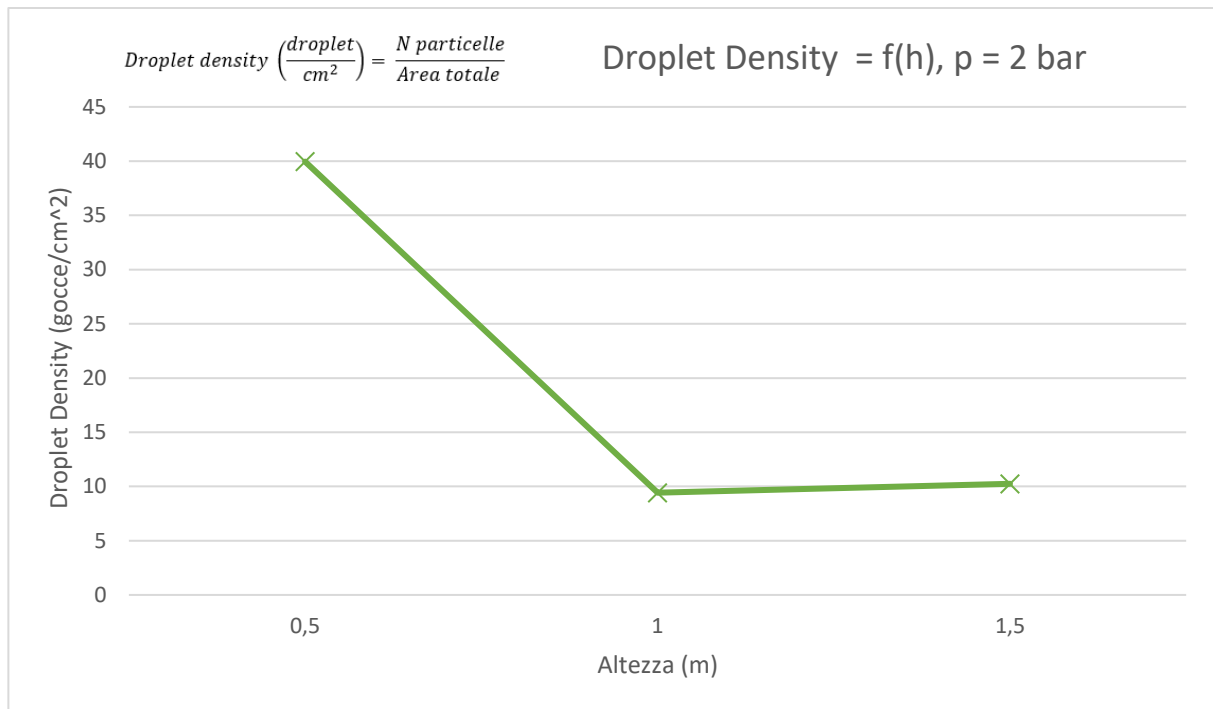


Figura 5. 9-Droplet density p=2 bar.

Un ulteriore parametro importante per la caratterizzazione dell'ugello è associato alla valutazione dell'intera impronta rilasciata sul foglio di carta lucida in maniera tale da assicurarsi che il trattamento vada a ricoprire l'intera superficie fogliare della vite.

Per valutare questo aspetto è necessario tenere conto della sola larghezza della superficie superiore della pianta che è pari a 60 cm mediante i risultati del getto ottenuti con un'altezza $h_1=0,5$ m.

La seconda dimensione, nella direzione del filare lungo la struttura a spalliera, non è necessaria prenderla in esame poiché il drone durante l'applicazione del trattamento avanza con una determinata velocità per poter ricoprire l'intero vigneto.

La rilevazione della dimensione dell'area d'impronta è possibile estrapolarla dal software ImageJ mediante il comando *Image/Show Info* da cui è possibile ricavare i corrispettivi valori di larghezza e altezza.

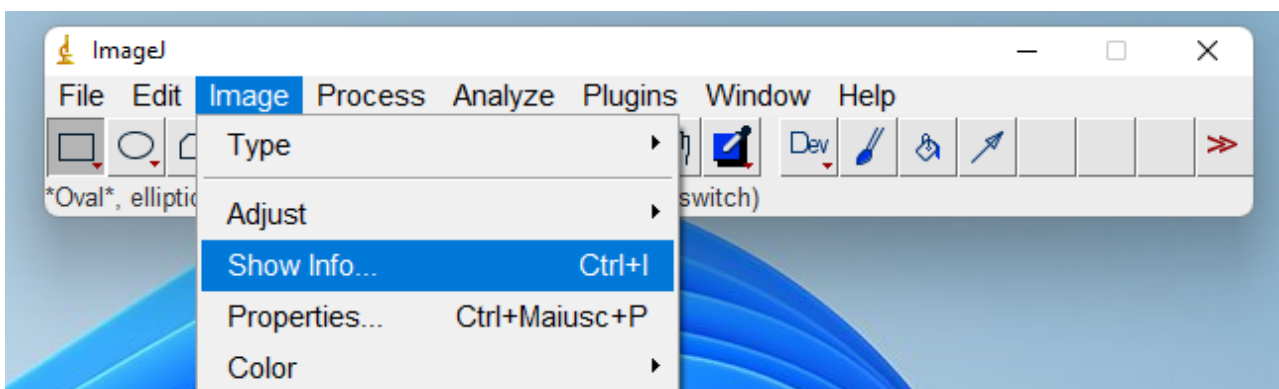


Figura 5. 10-Comando ImageJ Image/Show Info.

Le dimensioni dell'area d'impronta sono riportate nella *Tabella 5.6* e dimostrano che si tratta di un'area circolare dal momento che le due dimensioni sono pressoché simili, pari rispettivamente a 56,2 e 63 cm.

La larghezza della superficie superiore della vite è pari a 60 cm per cui l'ugello HCF80015 è in grado di ricoprirlo in maniera ottimale

Area d'impronta per p= 2 bar		
Dimensioni	Larghezza(cm)	Lunghezza(cm)
	56,2	63,0

Tabella 5. 6-Dimensioni area d'impronta per p=2.

Prove sperimentali $p_2=3$ bar

In modo analogo, si procede per la valutazione dell'ugello ad una pressione superiore pari a 3 bar, modificata tramite la rotazione manuale del regolatore di flusso del circuito idraulico.

Si riportano nelle *Tablelle 5.7,5.8, 5.9* le immagini ottenute nelle varie procedure di analisi. Nel dettaglio si riportano:

1. Nella prima riga sono riportate le immagini originali del getto con evidenziate in giallo le zone di area 76x52 mm oggetto di studio;
2. Nella seconda riga vi è l'immagine binaria di partenza ottenuta dal processo di conversione in 8-bit del software.
3. Nella terza riga viene riportata l'immagine risultato del processo Analyze Particles di ImageJ in cui si evidenziano i soli contorni delle particelle riconosciute e quantificate.

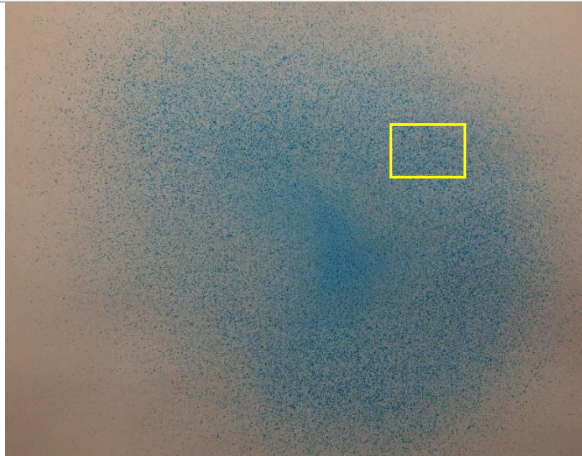



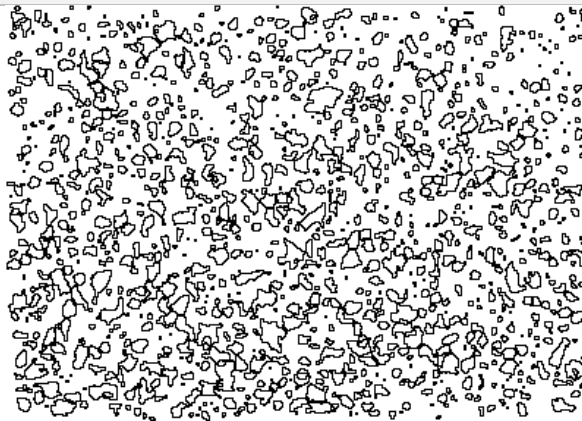
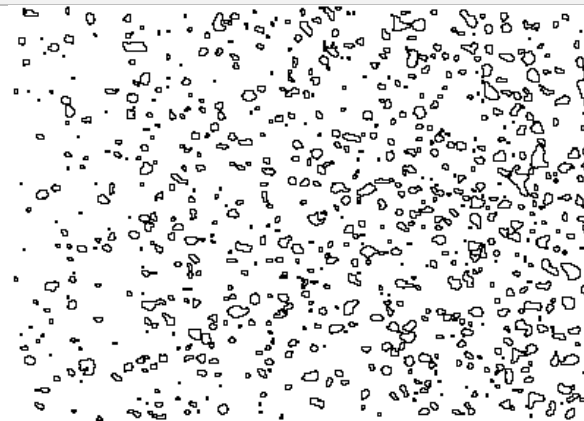
$h_1 = 0,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGINE		

Tabella 5. 7-Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=3 \text{ bar}$, $h=0,5 \text{ m}$.

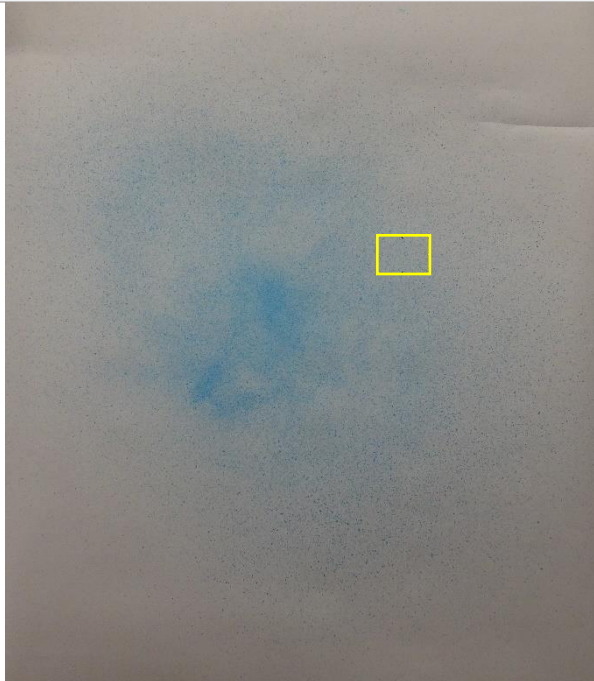
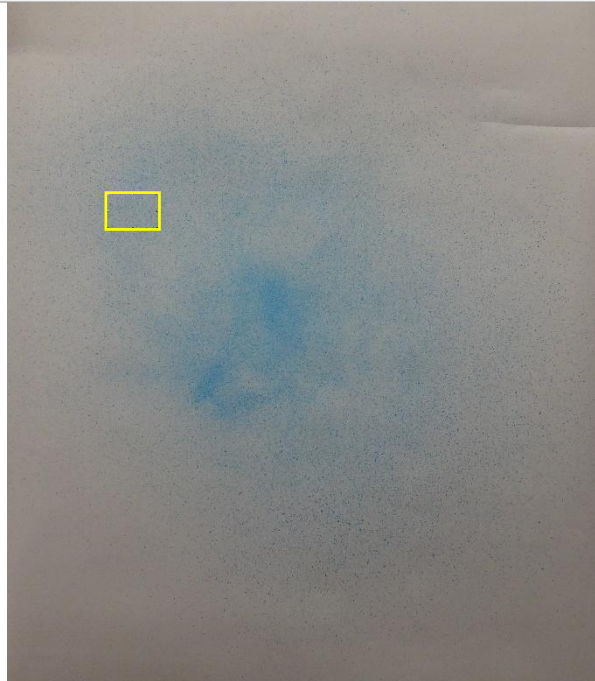

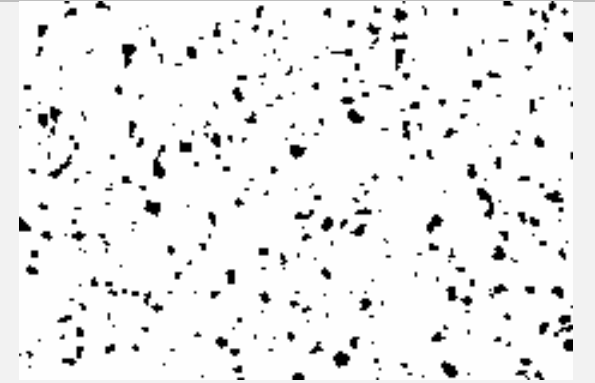
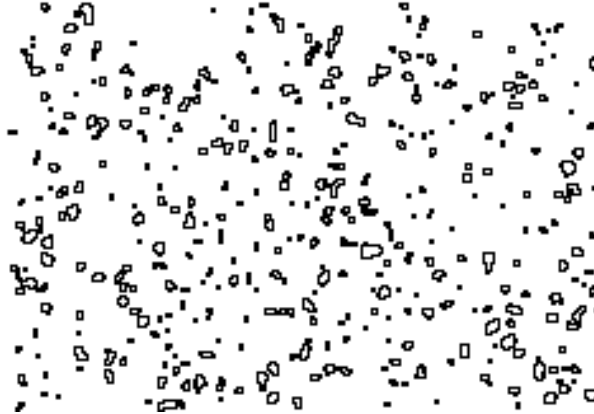
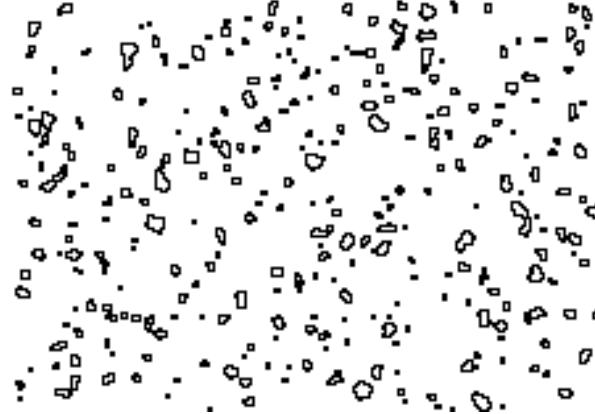
$h_2 = 1,0 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGI		

Tabella 5. 8- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=3 \text{ bar}$, $h=1,0 \text{ m}$.

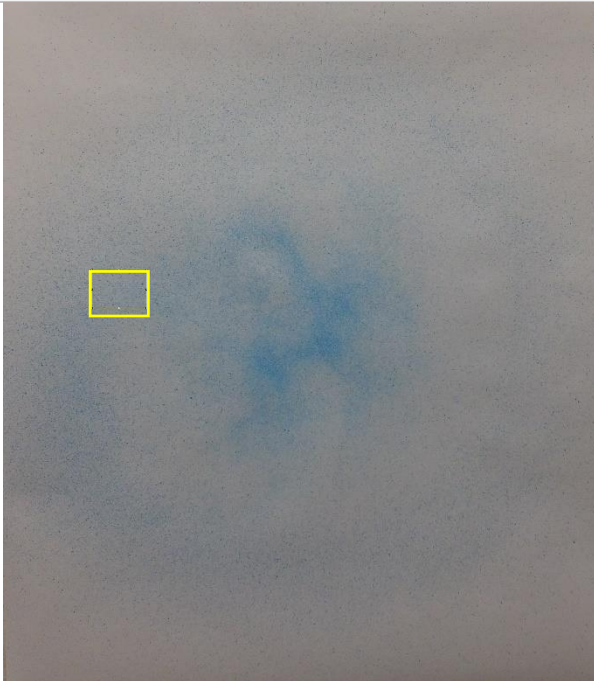
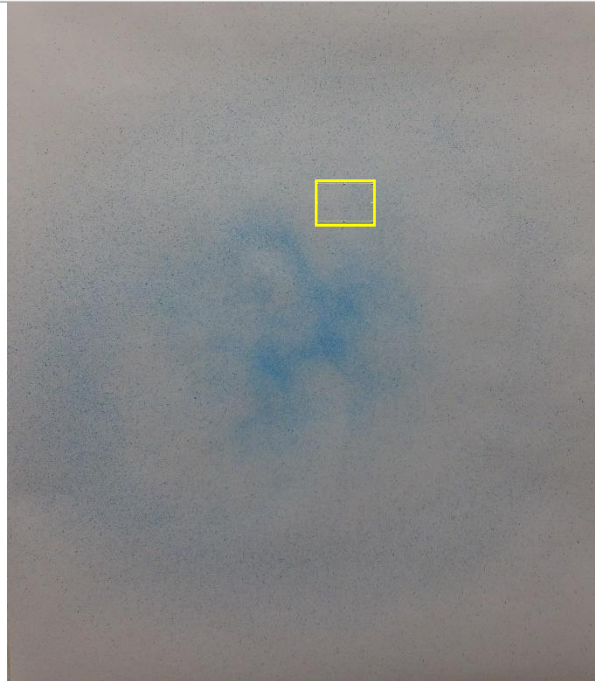

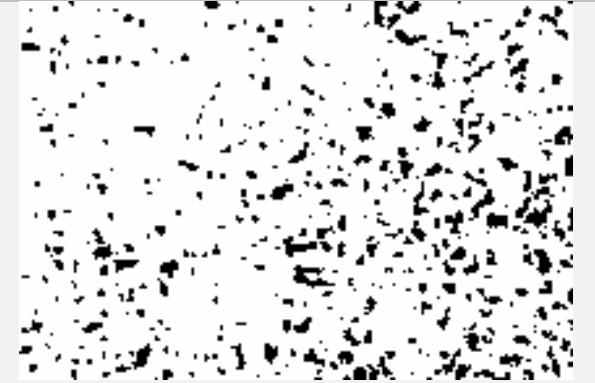
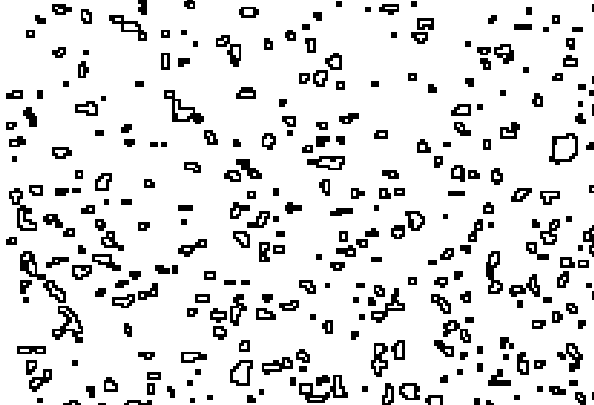

$h_3 = 1,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMAGES		

Tabella 5. 9- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=3 \text{ bar}$, $h=1,5 \text{ m}$.

Nella *Tabella 5.10* seguente sono riportati i risultati ottenuti con una pressione di lavoro pari a 3 bar; sono adottate le stesse notazioni usate per il set di prove precedenti con $p=2$ bar.

$p_2= 3 \text{ bar} \quad t_s=0,53 \text{ s}$									
	$h=0,5$			$h=1,0$			$h=1,5$		
	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio
VMD_I	341,0	299,5	320,3	311,2	319,9	315,6	380,9	344,6	362,7
VMD_II	244,6	213,6	229,1	222,5	229,1	225,8	272,6	247,2	259,9
VMD_III	340,3	304,8	322,5	315,2	322,8	319,0	370,1	343,1	356,6
Area coverage [%]	47,4	20,3	33,8	12,1	11,9	12,0	15,5	20,6	18,1
Droplet density [droplet/cm²]	53,7	38,0	45,9	18,6	15,5	17,1	16,2	20,2	18,2

Tabella 5. 10- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=3$ bar.

Si procede alla rappresentazione dei risultati ottenuti per la caratterizzazione del getto, relativi alla dimensione delle gocce e per valutarne la sua distribuzione.

Dal grafico in *Figura 5.11* vengono riportati gli andamenti dei diametri medi volumetrici al variare dell'altezza di irrorazione ossia della distanza verticale l'ugello e la posizione del foglio valutate nelle diverse prove sperimentali.

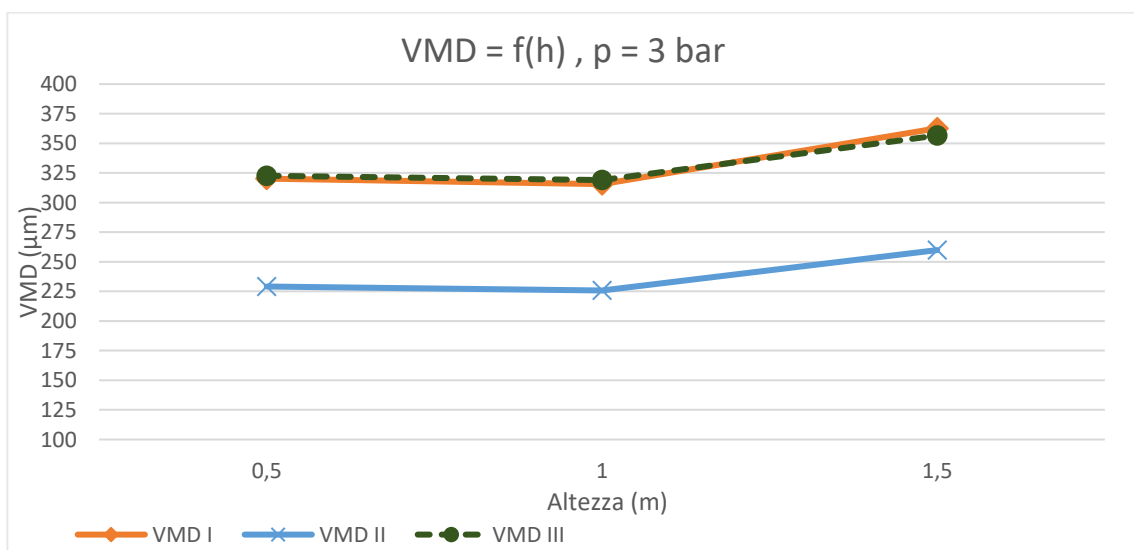


Figura 5. 11- Andamento VMD al variare dell'altezza ugello-foglio con $p=3$ bar.

I tre metodi VMD I, VMD II e VMD III sono rappresentati all'interno del grafico per poter effettuare il confronto.

- Si osserva che gli andamenti ottenuti dal primo (VMD I) e dal terzo metodo (VMD III) risultano essere quasi sovrapposti. I valori di diametro rappresentativi forniscono dei risultati discreti in quanto sono compresi tra i 325 e 350 μm .
- Il secondo metodo (VMD II) è in grado di rilevare diametri all'interno del range previsto sulla base della classe di apparenza dell'ugello.

Dal confronto tra i tre metodi impiegati per la conversione dal diametro della macchia al diametro originale dello spray, il secondo è l'unico a garantire la corrispondenza tra i risultati ottenuti e quelli attesi.

Per la valutazione della distribuzione del getto si osservano gli andamenti relativi al grado di copertura e la densità delle gocce.

L'area di copertura o area coverage (%) fornisce la percentuale di area di riferimento ricoperta complessivamente dal getto emesso dall'ugello, poiché per garantire un buon trattamento è fondamentale che venga irrorata l'intera superficie.

Il grado di copertura, come si può osservare dalla *Figura 5.12*, è massimo in corrispondenza della zona più vicina all'ugello ossia allo strato superficiale della vite e si riduce per distanze maggiori.

L'andamento ottenuto segue un andamento simile al caso per $p=2$ bar e sono valide le stesse considerazioni.

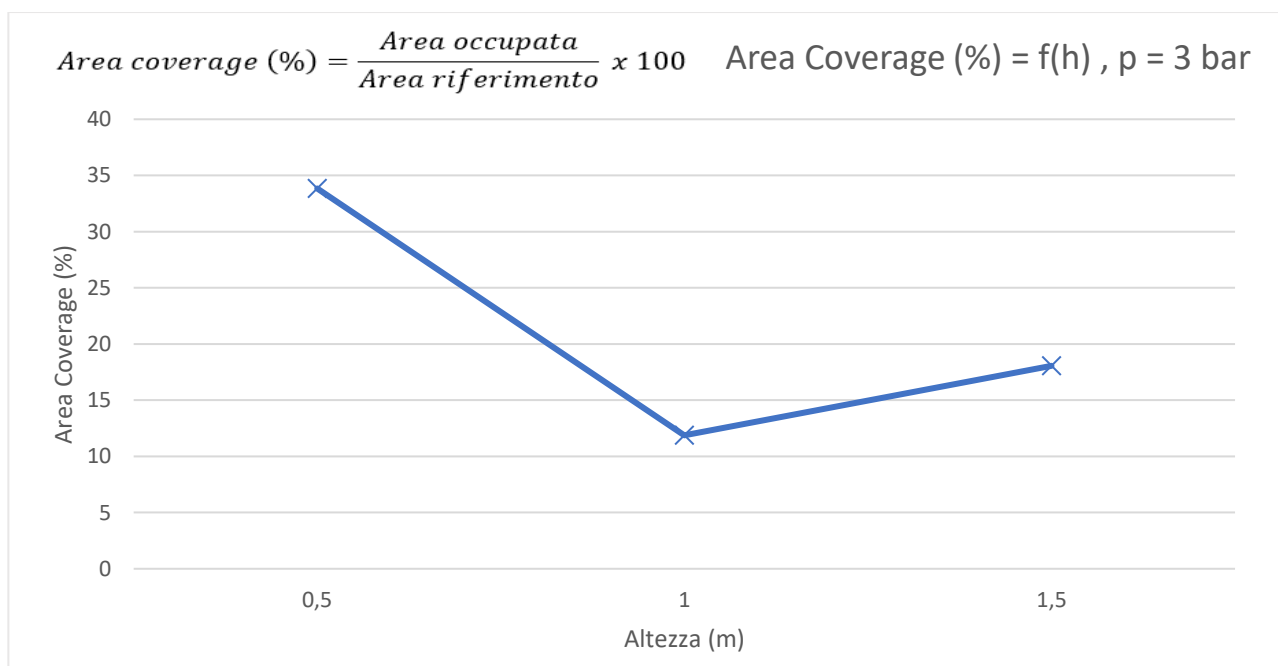


Figura 5. 12-Area coverage per $p=3$ bar.

Il secondo parametro importante per garantire l'efficacia del trattamento fitosanitario è quello riferito alla densità di particelle, ossia il numero di gocce che investono un'unità di area. A causa della vicinanza all'ugello, la zona con h=0,5 è quella in cui si rilevano il maggior numero di gocce, mentre, man mano che ci si sposta verso gli strati interni del vigneto la densità si riduce, consentendo comunque l'efficacia del trattamento.

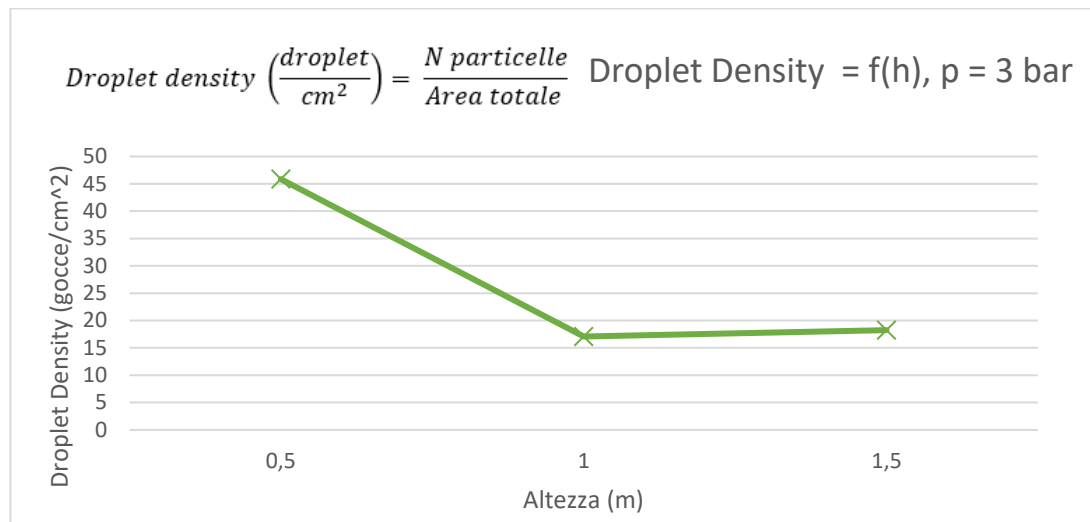


Figura 5. 13-Droplet density per p = 3 bar.

Anche in questo caso, è stata posta l'attenzione sulle dimensioni dell'impronta rilasciata dal getto ai fini delle valutazioni finali relative alla scelta della pressione di lavoro da impiegare per effettuare i trattamenti. È importante conoscere questo dato poiché, a parità degli altri parametri, la scelta viene effettuata utilizzando l'ugello che garantisce la distribuzione completa del trattamento sulla vite in una sola passata per evitare uno spreco di risorse, salvaguardando l'ambiente.

Area d'impronta per p = 3 bar		
Dimensioni	Larghezza(cm)	Lunghezza(cm)
	59,5	46,7

Tabella 5. 11-Area d'impronta per p=3 bar.

L'aumento della pressione determina una riduzione della dimensione delle gocce del getto e, di conseguenza, la probabilità per cui non raggiungano la zona bersaglio, poiché vengono spostate più facilmente, è maggiore.

L'area d'impronta ottenuta con una pressione pari a 3 bar è inferiore al caso precedente; nonostante ciò, è in grado di garantire l'intera copertura della zona interessata

Prove sperimentali p₃ = 4 bar

Si riportano i dati ottenuti relativi alla pressione massima di esercizio consentita dal banco prova pari a 4 bar, eseguendo le stesse metodologie dei casi precedenti.

Si riportano nelle *Tabelle 5.12, 5.13, 5.14* le immagini ottenute nelle varie procedure di analisi. Nel dettaglio si riportano:

1. Nella prima riga sono riportate le immagini originali del getto con evidenziate in giallo le zone di area 76x52 mm oggetto di studio;

2. Nella seconda riga vi è l'immagine binaria di partenza ottenuta dal processo di conversione in 8-bit del software.
3. Nella terza riga viene riportata l'immagine risultato del processo Analyze Particles di ImageJ in cui si evidenziano i soli contorni delle particelle riconosciute e quantificate.

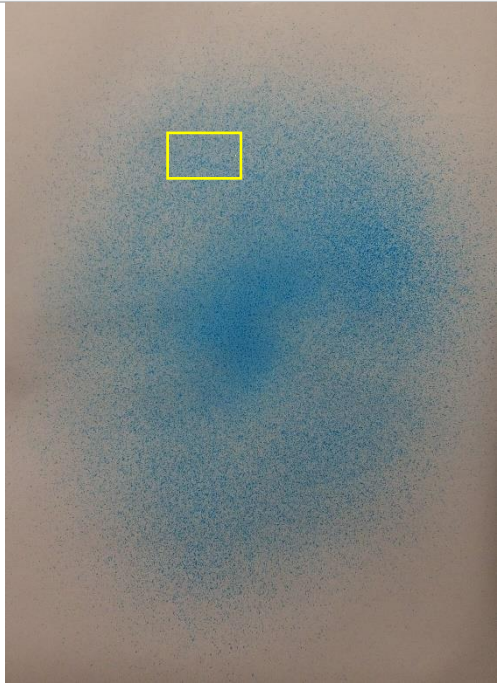
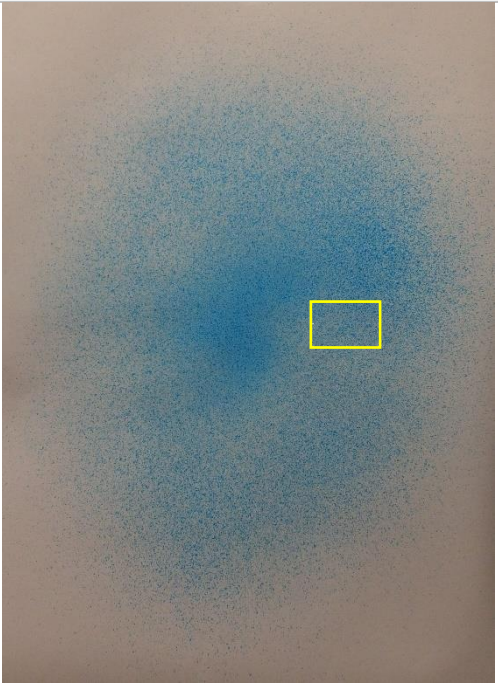

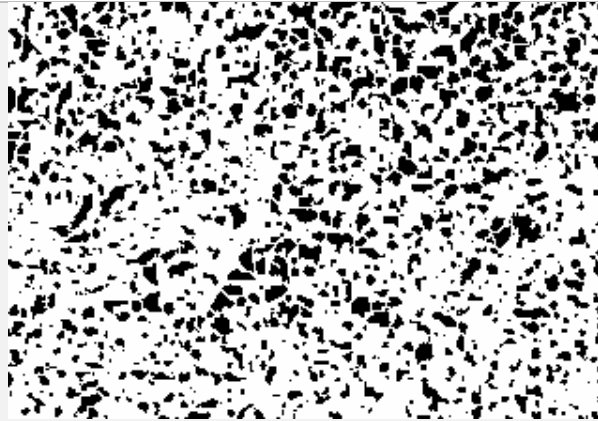
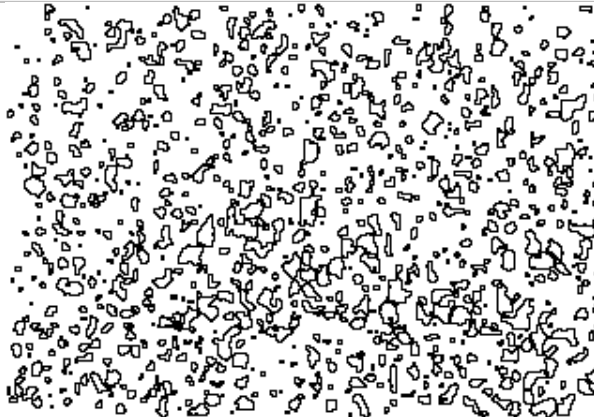

$h_1 = 0,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMAGEJ		

Tabella 5. 12- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=4 \text{ bar}$, $h=0,5 \text{ m}$.



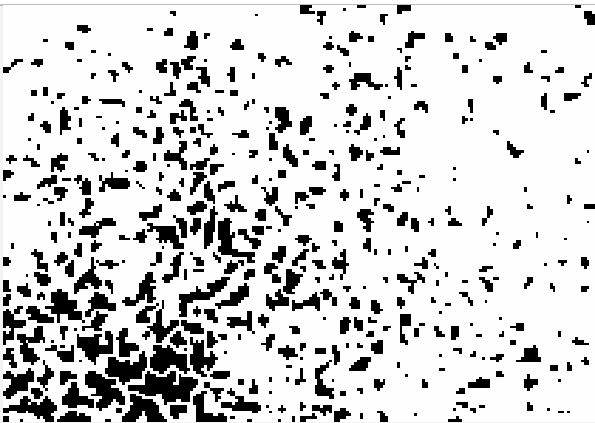
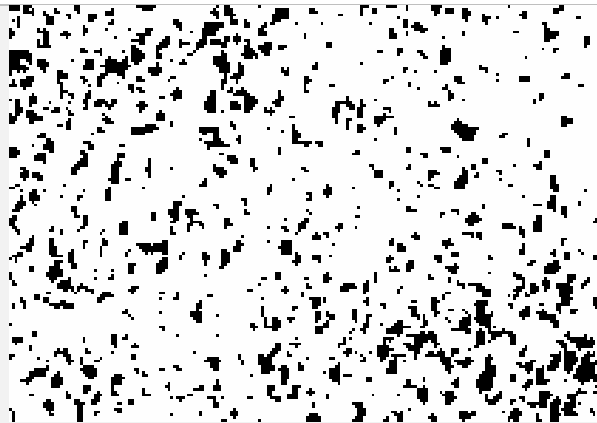


$h_2 = 1,0 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGI		

Tabella 5. 13- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=4 \text{ bar}$, $h=1,0 \text{ m}$.

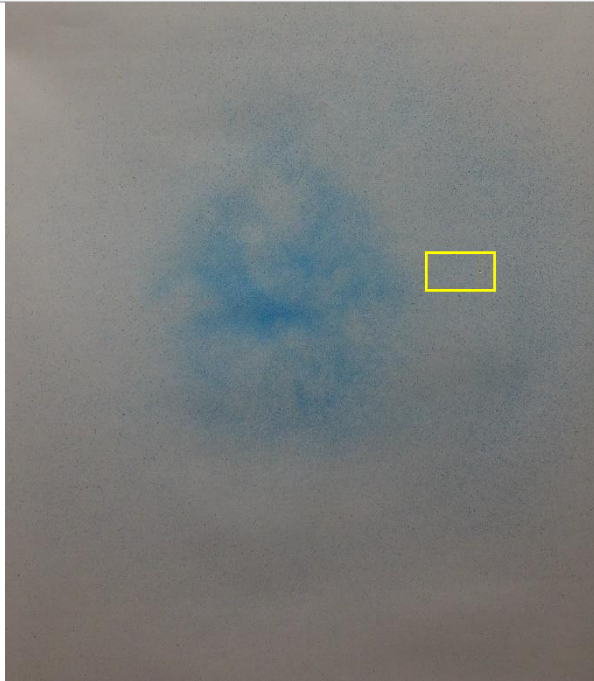
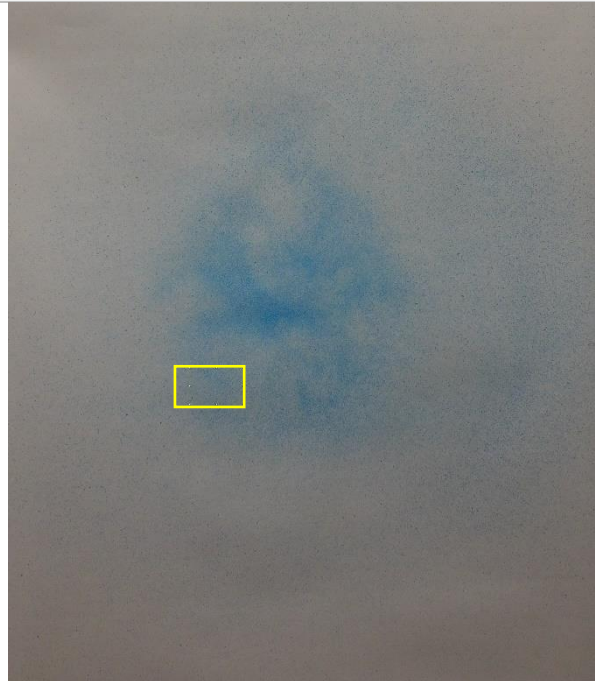

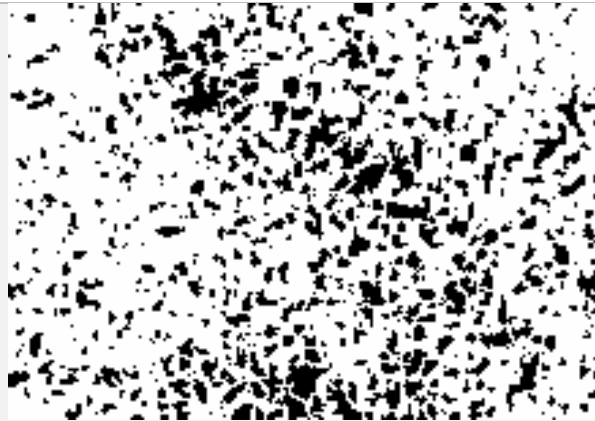
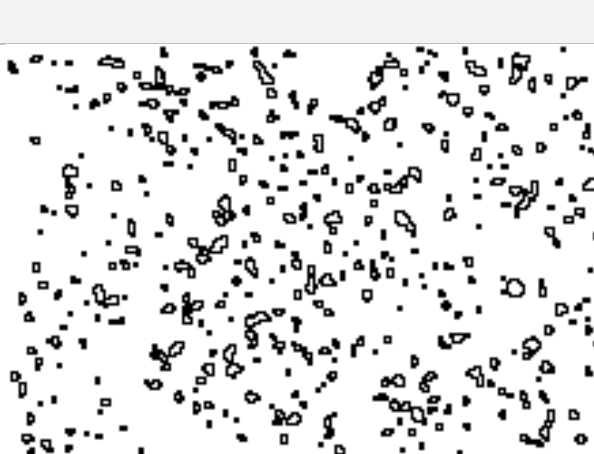

$h_3 = 1,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMAGESJ		

Tabella 5. 14- Risultati analisi ugello HCF80015 per $p=4 \text{ bar}$, $h=1,5 \text{ m}$.

I risultati dell'analisi dell'ugello HCF800115 per la pressione di lavoro massima erogata dalla pompa, pari a 4 bar, vengono riportati in *Tabella 5.15*.

Sono adottate le stesse notazioni delle prove precedenti.

p₃= 4 bar t_s=0,37 s									
	h=0,5			h=1,0			h=1,5		
	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio
VMD_I	370,7	400,9	385,8	444,0	376,4	410,2	329,3	394,8	362,0
VMD_II	265,6	285,8	275,7	312,3	269,6	290,9	236,0	281,8	258,9
VMD_III	362,9	383,6	373,2	409,5	367,0	388,2	330,7	379,6	355,1
Area coverage [%]	38,9	50,7	44,8	31,8	25,8	28,8	13,4	41,0	27,2
Droplet density [droplet/cm²]	37,9	45,9	41,9	21,6	24,8	23,2	19,2	28,8	24,0

Tabella 5. 15 - Risultati analisi ugello HCF80015 per p=4 bar.

Si riportano i grafici principali sulla base delle informazioni riassuntive fornita dalla tabella precedente.

Il primo grafico realizzato è quello relativo all'andamento del diametro medio volumetrico, caratteristico dell'intera distribuzione delle gocce, al variare dell'altezza h ossia della distanza verticale dell'ugello con il foglio che è posizionato sul piano orizzontale, in maniera tale da essere perpendicolare alla direzione del getto.

Sono state rappresentati gli andamenti differenziandoli sulla base dei tre metodi di conversione utilizzati per passare dalla dimensione della macchia alla dimensione originale: VMD I , VMD II e VMD III.

- Il primo e il terzo metodo di conversione (VMD I e VMD III) sono simili: entrambi registrano dei valori caratteristici elevati, compresi tra 375 e 425 µm, rispetto alla classe identificativa riportata da catalogo.
- Il secondo metodo rileva, al variare dell'altezza, valori di diametro che sono pressoché costanti e di poco superiore alle specifiche previste.

Dal confronto dei tre metodi, l'unico per cui si ha una corrispondenza con quanto riportato dal costruttore è il secondo.

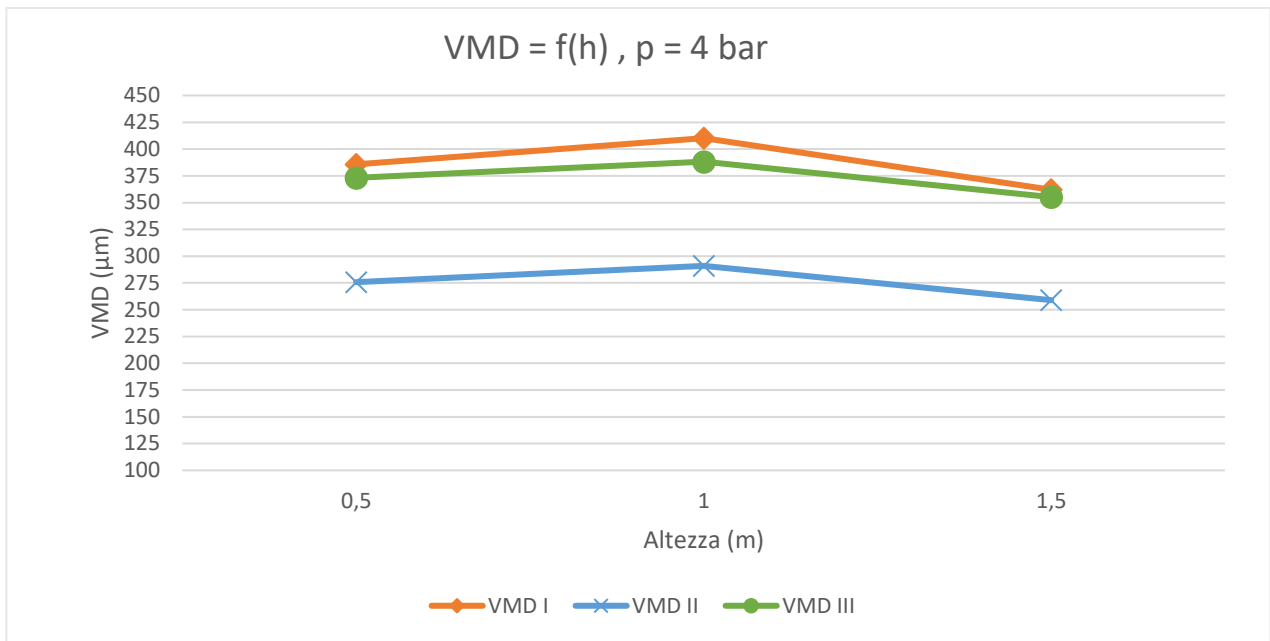


Figura 5. 14- Andamento VMD al variare dell'altezza ugello-foglio con p=4 bar.

In termini di distribuzione, l'andamento ottenuto sia per l'area di copertura che per la densità delle gocce è simile a quello ottenuto con le altre pressioni di lavoro analizzate.

Come si può osservare dagli andamenti in *Figura 5.15 e 5.16*, si osserva come entrambi i parametri sono massimi in corrispondenza della superficie superiore della vite e subiscono una netta riduzione in corrispondenza degli strati intermedi e inferiori della pianta.

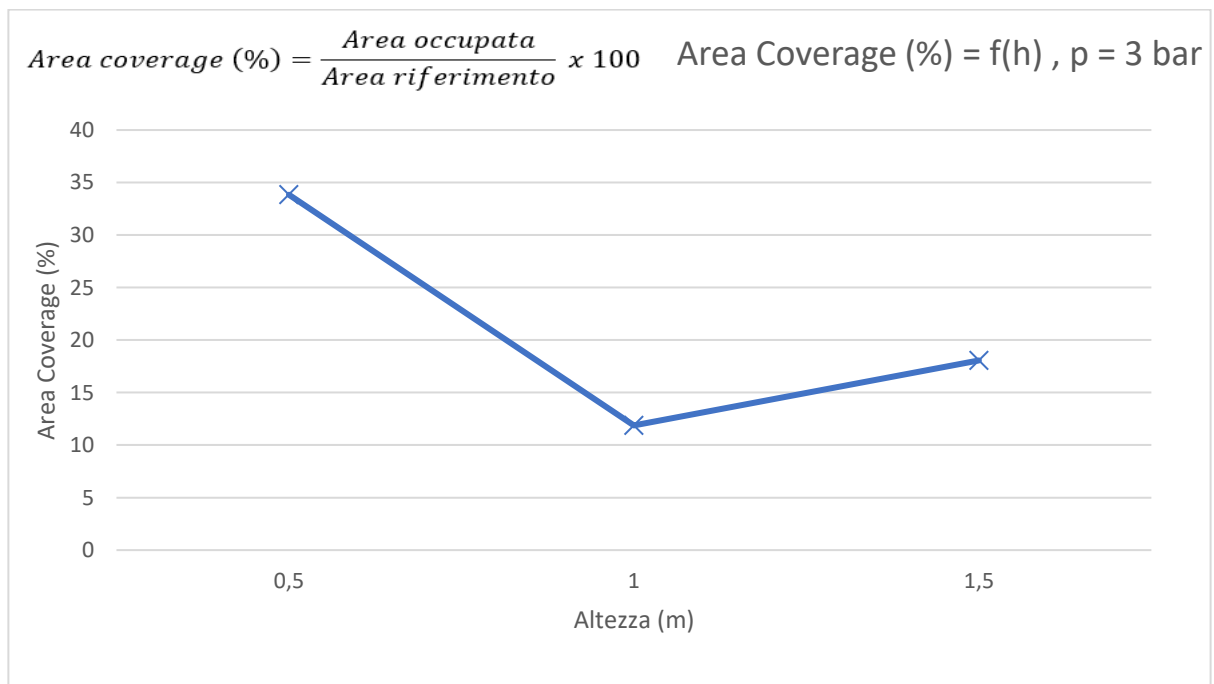


Figura 5. 15-Area coverage per p=4 bar.

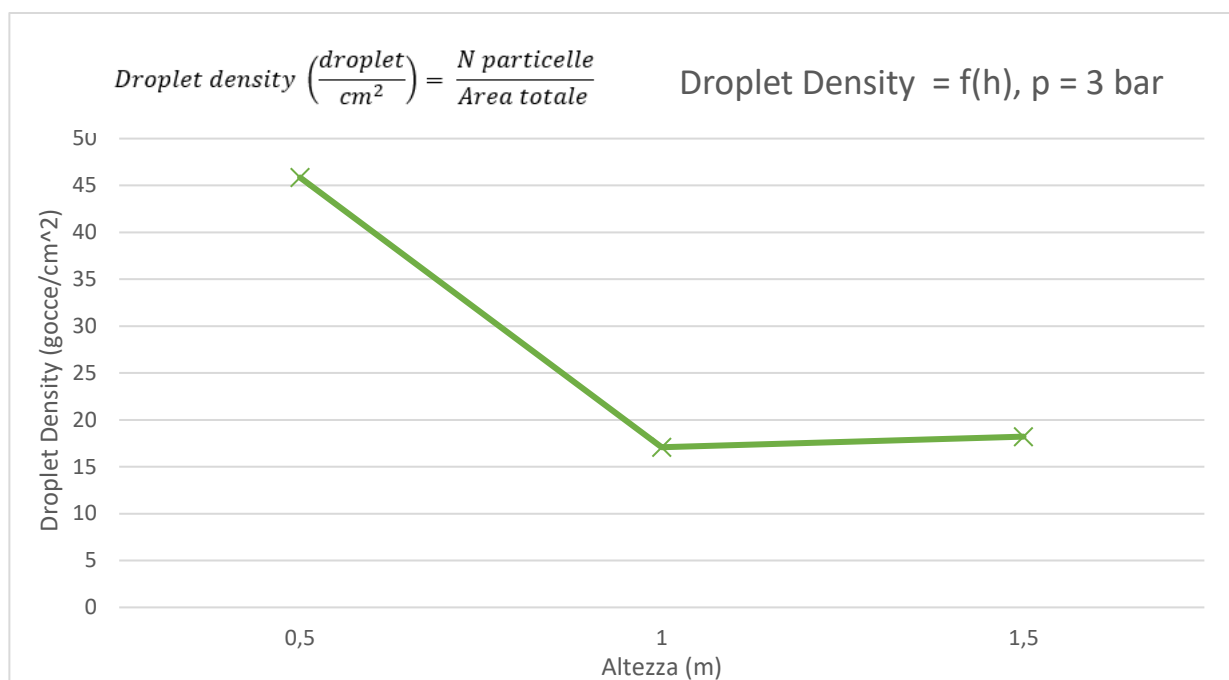


Figura 5. 16-Droplet Density per p=4 bar.

Dalla valutazione dell'area di impronta dalle dimensioni dell'area del getto ottenuto si ottengono dati differenti rispetto ai casi precedenti.

La zona non è assimilabile a una zona circolare ma ad una zona ellittica poiché è maggiormente estesa in lunghezza, come riportato in *Tabella 5.16*, nonostante ciò, garantisce la copertura dell'intera larghezza della superficie fogliare pari a 60 cm senza evitare di effettuare più passate per la distribuzione del pesticida.

Area d'impronta per p = 4 bar		
Dimensioni	Larghezza(cm)	Lunghezza(cm)
	55,7	77,2

Tabella 5. 16-Area d'impronta per p=4 bar.

Confronti

Dai risultati ottenuti è possibile procedere alla valutazione del comportamento del getto prodotto dall'ugello a cono pieno HCF80015, procedendo così alla scelta della pressione ottimale in maniera tale che vengano soddisfatti i requisiti forniti dalle linee guida per l'applicazione dei trattamenti fitosanitari sul vigneto.

Per avere una visione complessiva del comportamento sono stati riportati su un unico grafico gli andamenti dei valori del diametro medio volumetrico (VMD), valutati con i singoli metodi, al variare della pressione relativa p e a parità di altezza di irrorazione h.

Vengono indicati con VMD I, VMD II e VMD III i diametri caratteristici del getto ricavati rispettivamente con il primo, secondo o terzo metodo di conversione da cui si passa dalla dimensione dello spot alla dimensione originale della goccia all'uscita dall'ugello.

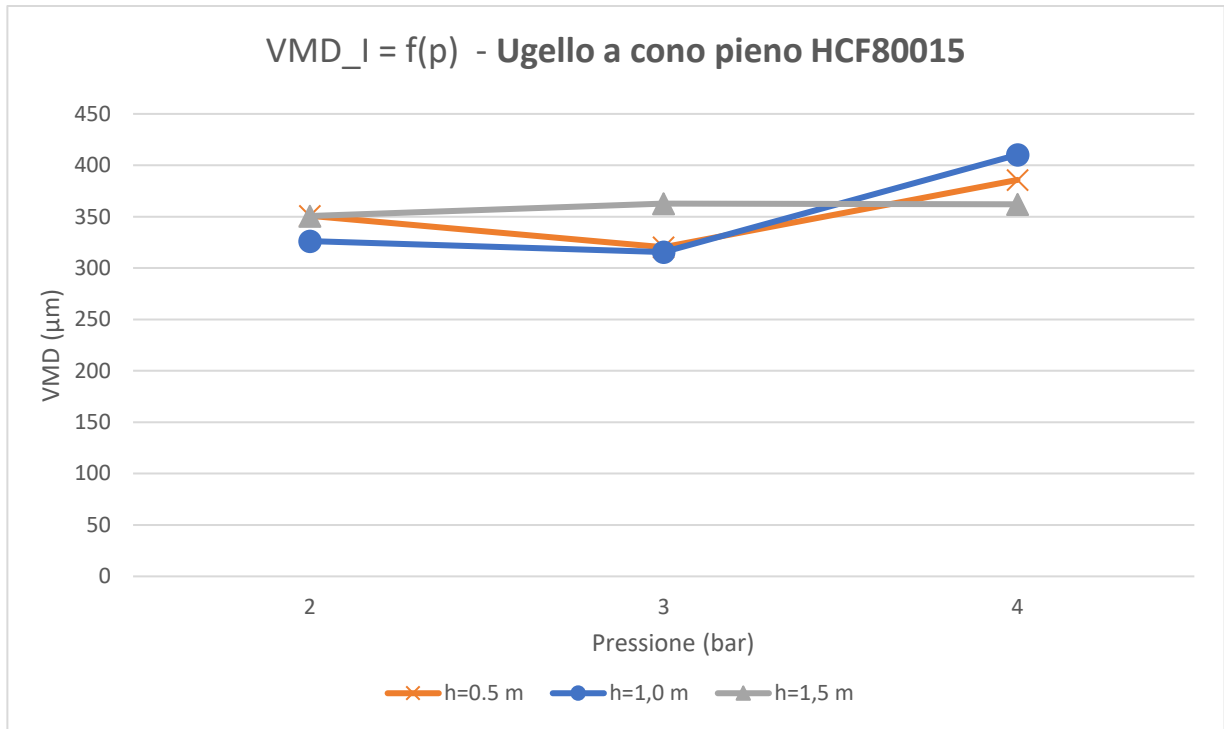


Figura 5. 17-Andamento VMD I in funzione della pressione di lavoro

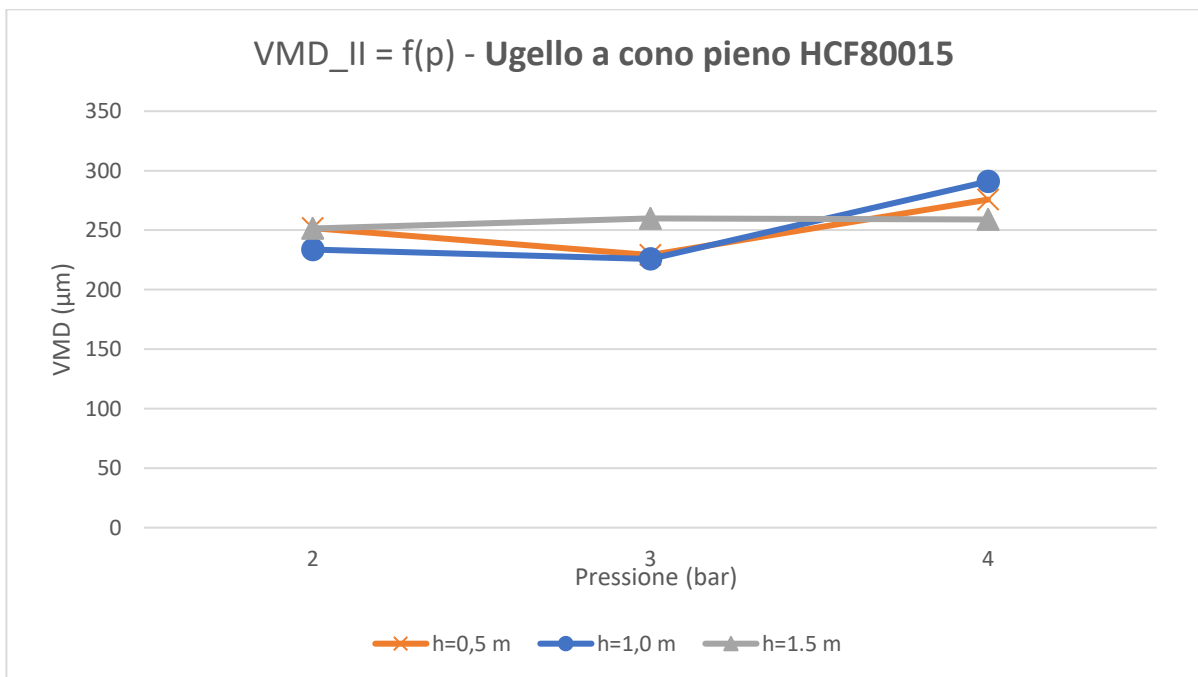


Figura 5. 18- Andamento VMD II in funzione della pressione di lavoro

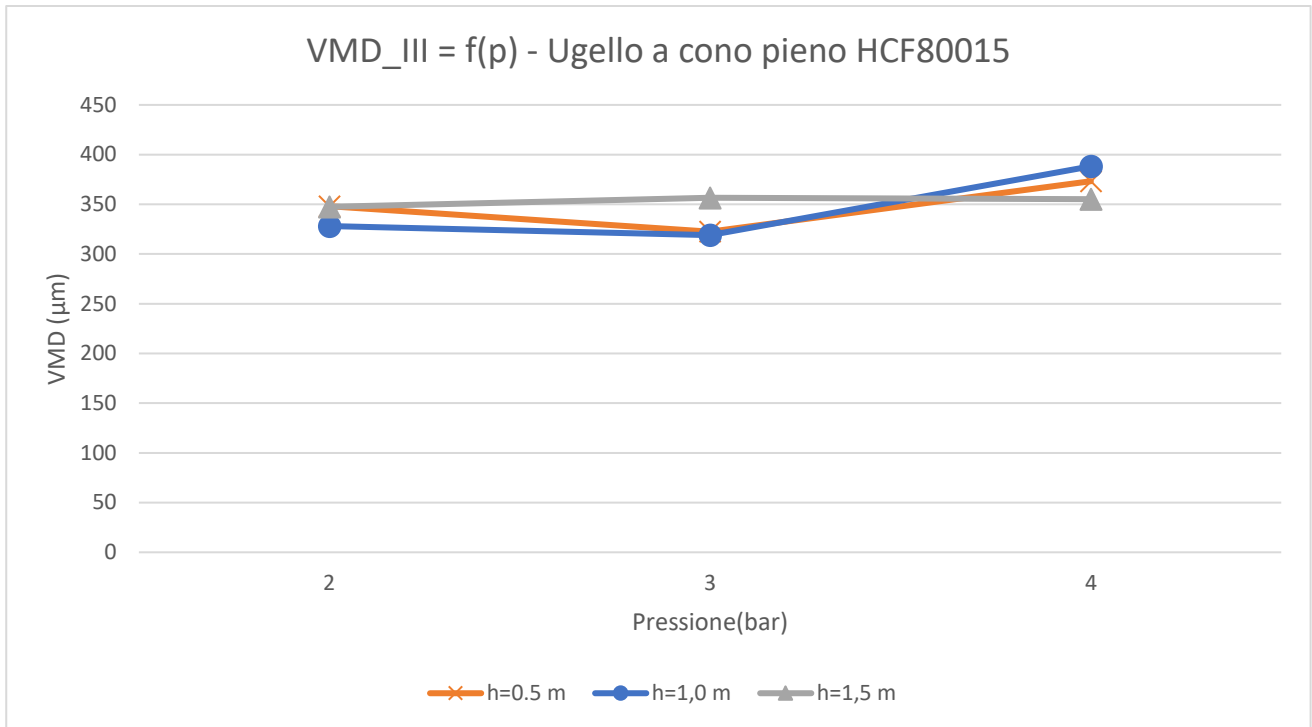


Figura 5. 19 -Andamento VMD III in funzione della pressione di lavoro

Dai grafici ottenuti si può ricavare facilmente, come previsto già nelle indagini al variare della sola pressione di lavoro, quale tra i tre metodi corrispondono valori di diametri più bassi e quale sia quello coerente con i valori riportati da catalogo in quanto l'ugello, per le pressioni di lavoro analizzate, appartiene alla classe F(Fine).

Dai risultati ottenuti si osserva che:

- Tra i tre metodi impiegati, complessivamente l'unico metodo che è in grado di garantire una buona corrispondenza tra i dati riportati da catalogo e quelli ottenuti è il secondo metodo (VMD II).
Il secondo metodo presenta valori di diametro compresi tra 200 e 300 µm a confronto del range delle dimensioni associate alla classe Fine di appartenenza a cui corrispondono valori compresi tra 106 e 235 µm.
- Valutando complessivamente il comportamento del getto all'aumentare della pressione di lavoro si ha un comportamento costante in termini di dimensioni; è probabile che l'andamento non abbia un trend decrescente per via del ridotto campo di variabilità della pressione.
Quest'ipotesi potrebbe essere confermata qualora il banco prova garantisse delle pressioni di lavoro superiori ai 4 bar per poter valutare il comportamento ad alte pressioni, per cui sono previste gocce di dimensioni inferiori.

Pertanto, per le considerazioni finali è necessario valutare i risultati ottenuti relativi alla distribuzione del getto.

È necessario, secondo le stesse linee guida, che il trattamento sia quanto più omogeneo possibile e, essendo applicato per contatto sull'intera superficie, deve essere garantito un buon grado di copertura.

Per sintetizzare tutti i risultati ottenuti al variare della pressione di lavoro, vengono riportati in un unico grafico gli andamenti associati al grado di copertura e alla densità delle gocce del getto in funzione delle altezze tra ugello e la superficie del vigneto, nelle *Figure 5.20 e 5.21*.

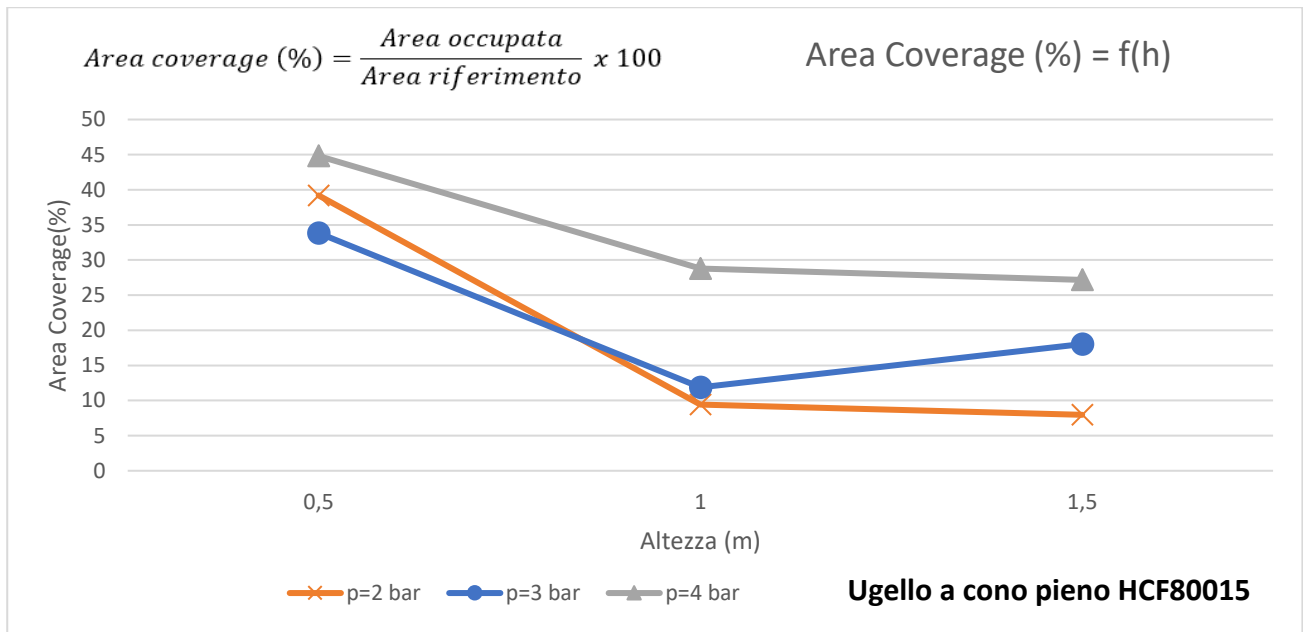


Figura 5. 20-Area coverage al variare della pressione di lavoro.

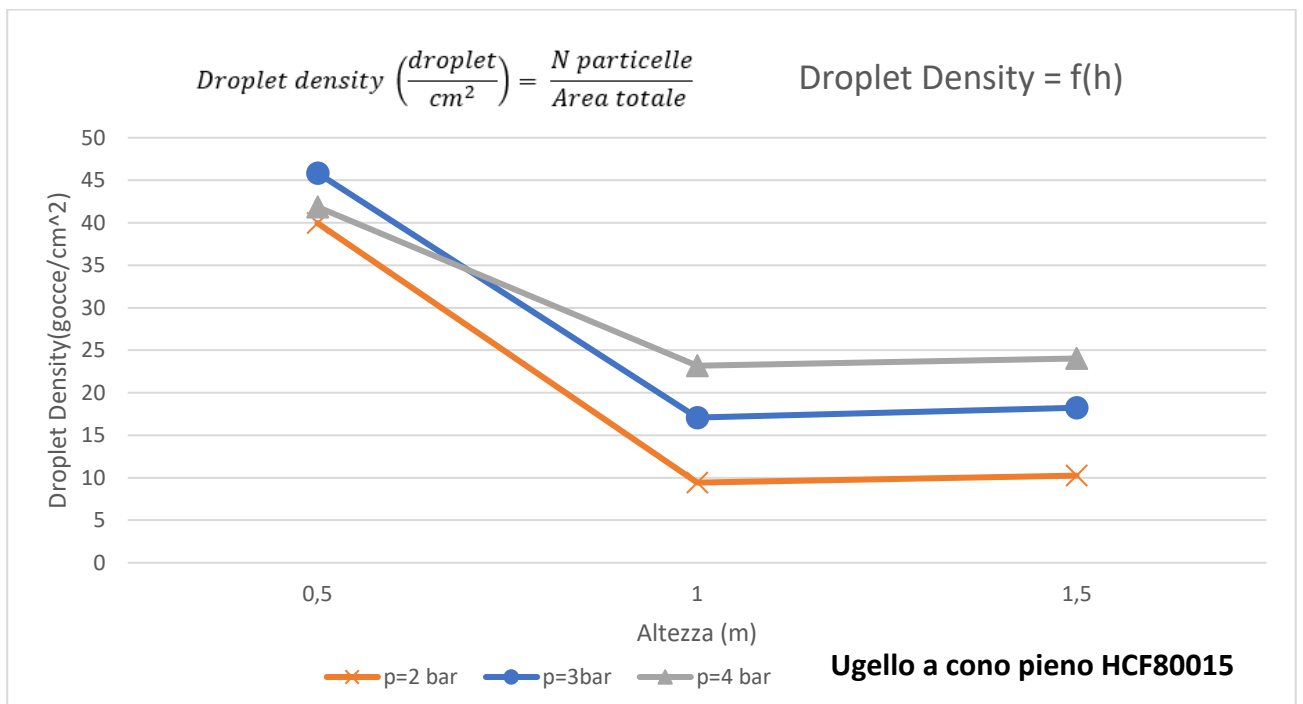


Figura 5. 21-Droplet density al variare della pressione di lavoro.

Dall'osservazione dei parametri relativi alla distribuzione al variare della pressione di lavoro si ottengono le seguenti considerazioni:

- Per entrambi i parametri si osserva, come previsto, che all'aumentare della distanza dell'ugello dalla superficie le performance del getto si riducono, per cui negli strati intermedi

e inferiori della pianta i valori registrati subiscono una netta riduzione, per alcuni casi addirittura di dimezzano.

Questo rappresenta un limite poiché le zone interne della vite potrebbe subire un trattamento meno efficace rispetto alla superficie superiore.

- Per valori di pressione differenti si osserva che il comportamento migliora all'aumentare della pressione di lavoro.
La scelta ottimale della pressione individuata è, pertanto, pari a 4 bar per cui si registra sia sull'estremità della superficie che negli strati intermedi un grado di copertura maggiore rispetto ai casi con pressioni inferiori.
Inoltre, l'andamento della densità delle gocce è ottimale soprattutto tra gli strati della pianta in maniera tale da poter garantire un trattamento efficace.

La scelta come pressione di lavoro dell'ugello a cono pieno HCF80015 pari a 4 bar assicura, inoltre, all'agricoltore di poter distribuire i prodotti fitosanitari con un singolo avanzamento del drone sulla vite.

Questa informazione non viene fornita dal catalogo del costruttore, pertanto, è utile sia per l'agricoltore sia per l'operatore qualificato che comanda il drone in maniera tale da avere una serie di informazioni correlate alla programmazione del percorso che deve essere compiuto, tale da garantire la totale distribuzione sull'intera area del terreno agricolo.

La condizione necessaria che deve essere garantita è associata alla larghezza del vigneto, fornita dall'azienda, pari a 60 cm.

Dal confronto dei dati ottenuti sulle dimensioni dell'intera area rilasciata del getto, corrispondente all'immagine originale presente nella prima riga della tabella dei risultati di ImageJ, viene garantita questa specifica sulla superficie superiore della vite per tutti e tre i valori di pressione analizzati.

Tra le varie simulazioni quella che garantisce dei risultati migliori perché in grado di ricoprire delle zone più ampie, come visto in *Tabella 5.16*, è quella per cui viene impiegata la massima pressione di lavoro della pompa pari a 4 bar.

Complessivamente è consigliabile per il viticoltore adottare una pressione pari a 4 bar poiché garantisce un'elevata efficienza in termini in dimensioni delle gocce, omogeneità del trattamento tra i vari strati della pianta, ottimizzazione delle risorse e del tempo di lavoro.

5.2 HCl6001: Ugello a cono vuoto

Nel seguente paragrafo l'ugello analizzato è il modello HCl6001 prodotto dall'azienda italiana Asj Nozzle.

Da catalogo, come in *Figura 5.2*, vengono riportate le informazioni relativi alla geometria(a), alle dimensioni (b) e l'utilizzo per cui viene consigliato(c).

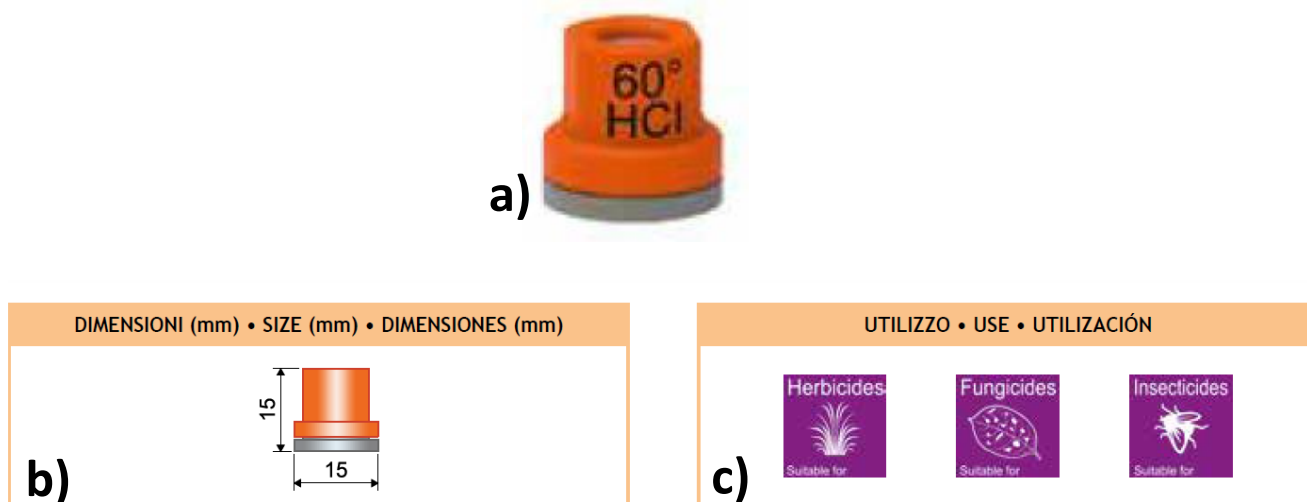


Figura 5. 22– Ugello a cono vuoto HCl6001: a) ugello, b) dimensioni, c) utilizzo consigliato. Fonte: Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.

Si tratta di un ugello a cono vuoto (Hollowcone) di angolo di apertura pari a 60° con inserto in ceramica e il corpo in resina acetilica che conferisce eccezionali caratteristiche di durata, essendo un materiale con alta stabilità.

Gli ugelli a cono Hollowcone possono essere impiegati per effettuare trattamenti sopra o sotto il fogliame e per coperture omogenee.

L'ugello HCl6001 è adatto per l'applicazione di prodotti fitosanitari per trattamenti di prevenzione da insetti e funghi e può essere installato su barre irroratrici e atomizzatori.

Il getto creato genera delle gocce di piccole dimensioni e, da catalogo, viene garantita una buona distribuzione e una buona copertura.

L'ugello dopo essere stato accoppiato con la testina a baionetta e con la guarnizione esatta, individuate dal catalogo del costruttore, viene installato sul banco prova in maniera tale da procedere con le prove sperimentali per ottenere la caratterizzazione completa dell'ugello.

L'analisi dell'ugello richiede la consultazione delle informazioni riportate da catalogo, come in *Figura 5.23*, per poter ricavare quali pressioni di lavoro debbano essere adottate per garantire il corretto funzionamento e il getto ottimale.

COD. CODE CÓD.	q (l/min)										
	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	8 bar	9 bar	10 bar	11 bar	12 bar	13 bar
HCI60005	0.20	0.23	0.26	0.28	0.31	0.33	0.35	0.37	0.38	0.40	0.42
HCI600075	0.30	0.35	0.39	0.42	0.46	0.49	0.52	0.55	0.57	0.60	0.62
HCI6001	0.40	0.46	0.52	0.57	0.61	0.65	0.69	0.73	0.77	0.80	0.83
HCI60015	0.60	0.69	0.77	0.85	0.92	0.98	1.04	1.10	1.15	1.20	1.25
HCI6002	0.80	0.92	1.03	1.13	1.22	1.31	1.39	1.46	1.53	1.60	1.67

Figura 5. 23- Catalogo Asj Nozzle-Ugello a cono vuoto HCI6001. Fonte: Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.

Per questo tipo di ugello, nonostante da catalogo non sono fornite le caratteristiche associate alla classe di identificazione relativa alla dimensione delle gocce, secondo la normativa Asabe S572.1, si procede allo studio del comportamento dell'ugello per due valori di pressione relativa p :

- $p_1 = 3 \text{ bar}$
- $p_2 = 4 \text{ bar}$

Le prove sperimentali per analizzare l'ugello sono state differenziate per la pressione di lavoro p e per l'altezza d'irrorazione h .

La pressione p è stata modificata intervenendo sul regolatore di flusso collegato alla mandata della pompa, mentre, l'altezza h è stata variata modificando la posizione verticale della barra orizzontale montata sul banco prova.

Le altezze di interesse sono 3 e sono scelte opportunamente sulla base delle caratteristiche del vigneto e della modalità di volo del drone in maniera tale da poter valutare l'efficacia del trattamento in corrispondenza della superficie fogliare superiore e, idealmente, in uno strato intermedio e inferiore della pianta.

Nel dettaglio le altezze scelte sono le seguenti:

- $h_1 = 0,5 \text{ m}$
- $h_2 = 1,0 \text{ m}$
- $h_3 = 1,5 \text{ m}$

Si riportano di seguito i risultati dei getti ottenuti mantenendo invariata la pressione erogata dalla pompa e, andando di volta in volta a modificare le altezze in modo tale da simulare il trattamento su differenti livelli della pianta.

È importante verificare che non si generino nel circuito idraulico delle perdite e, inoltre, verificare dal manometro installato nel circuito che la pressione sia sempre la stessa.

Prove sperimentali $p_1 = 3$ bar

Fissata la pressione di lavoro a 3 bar, vengono riportate di seguito le analisi dettagliate con cui è stato valutato il comportamento dell'ugello a cono HCII6001.

Le procedure richiedono gli stessi accorgimenti adottati fin ad ora.

Sono state valutate per ogni getto ottenuto sul foglio di carta lucida due zone differenti di area pari a quella di una cartina idro sensibile (76x52 mm) mediante l'utilizzo del software ImageJ che consente di attribuire ad ogni singola particella individuata il valore dell'area.

Le aree evidenziate in giallo prese esame, per le stesse considerazioni fatte per l'analisi dell'ugello precedente, non sono state individuate nella zona centrale ma nelle zone laterali per evitare di analizzare regioni per cui vi è una forte sovrapposizione delle gocce che può determinare un errore dei risultati dall'elaborazione immagini tramite il software.

Nelle righe delle *Tabella 5.17, 5.18 e 5.19* sono riportati i risultati associati ad ogni singolo step, come segue:

- Nella prima riga viene riportata l'immagine originale ossia l'intera fotografia del getto e vengono evidenziate in giallo le aree di dimensioni pari a 76x52 mm prese come oggetto di studio;
- Nella seconda riga viene riportata l'immagine binaria. Il software ImageJ per poter quantificare la dimensione delle particelle sfrutta la conversione dell'immagine in bit.
- Nella terza riga è riportata l'immagine ottenuto come risultato dal processo *Analyze Particles* in cui sono presenti i soli contorni delle particelle riconosciute e quantificate dal programma.

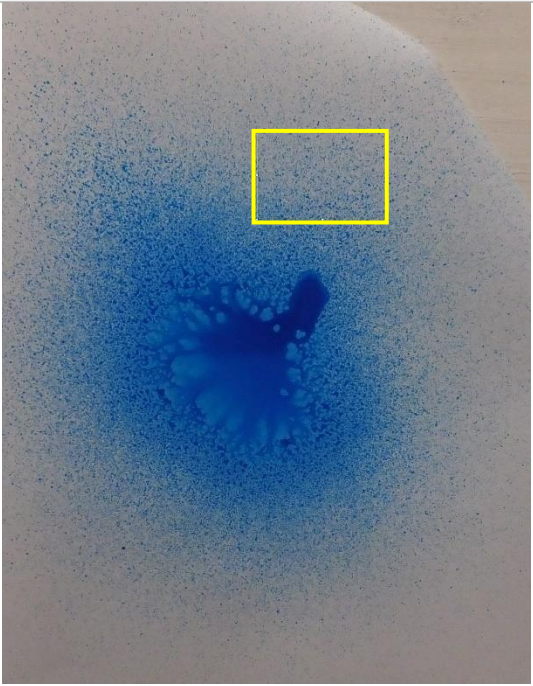
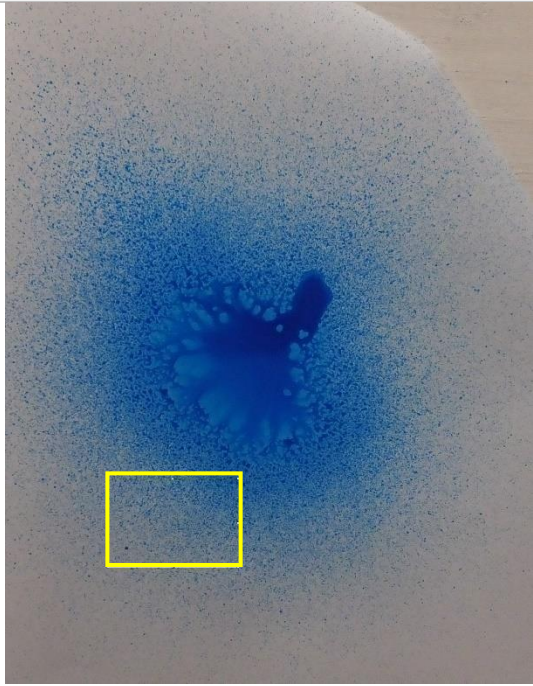
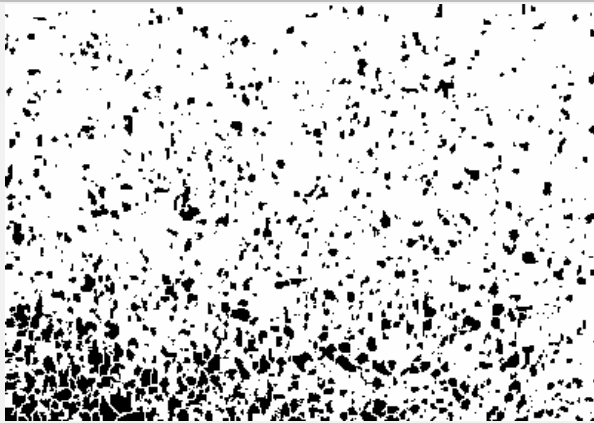
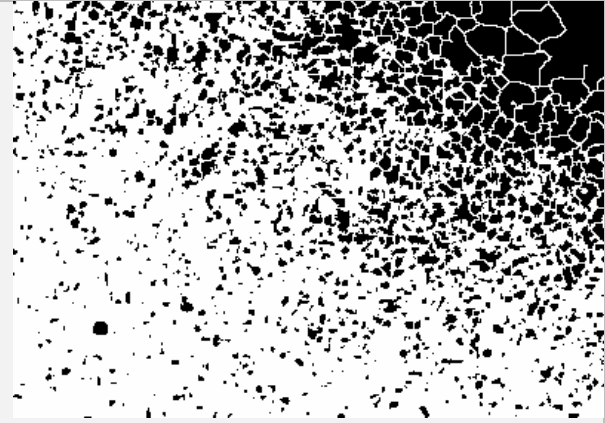
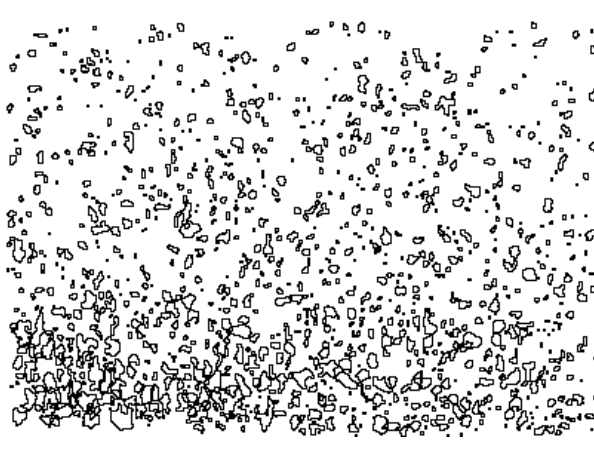
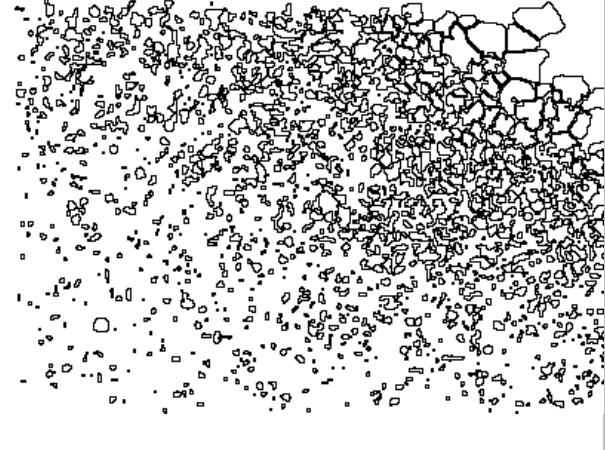
		$h_1 = 0,5 \text{ m}$	
		Zona 1	Zona 2
ORIGINALE			
IMMAGINE BINARIA			
IMAGGI			

Tabella 5. 17- Risultati analisi ugello HCl6001 per $p=3\text{bar}$, $h=0,5 \text{ m}$.

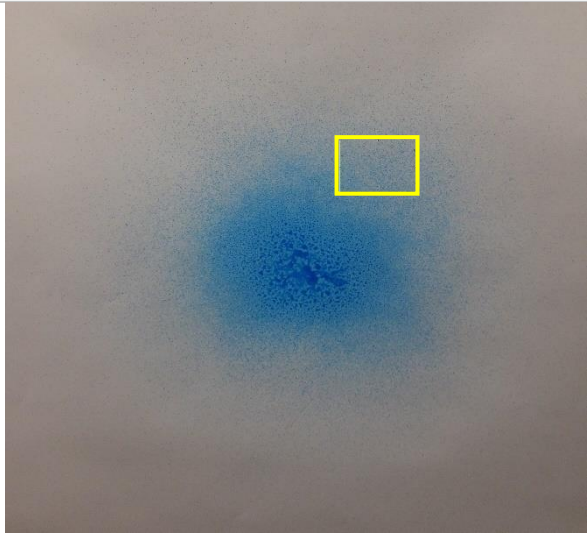
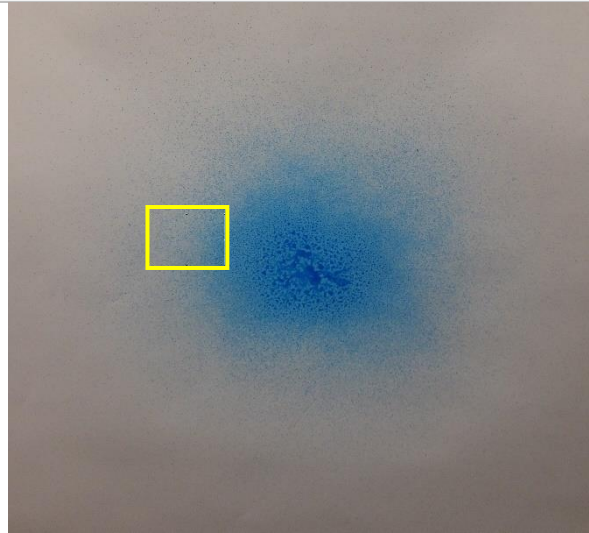

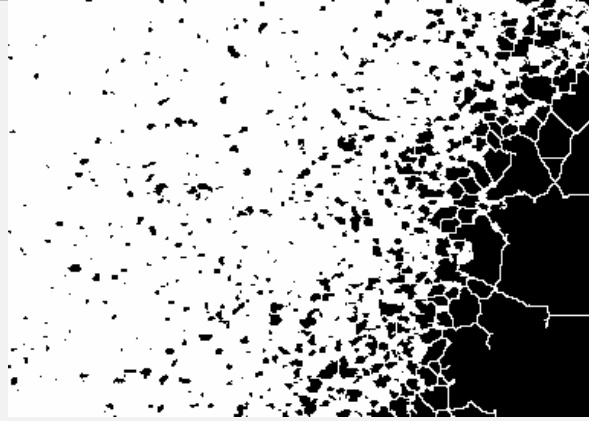
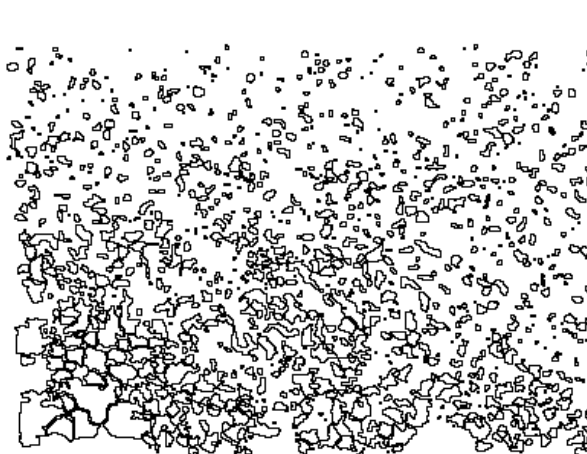

$h_2 = 1,0 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMAGES		

Tabella 5. 18- Risultati analisi ugello HCl6001 per $p=3\text{bar}$, $h=1,0 \text{ m}$

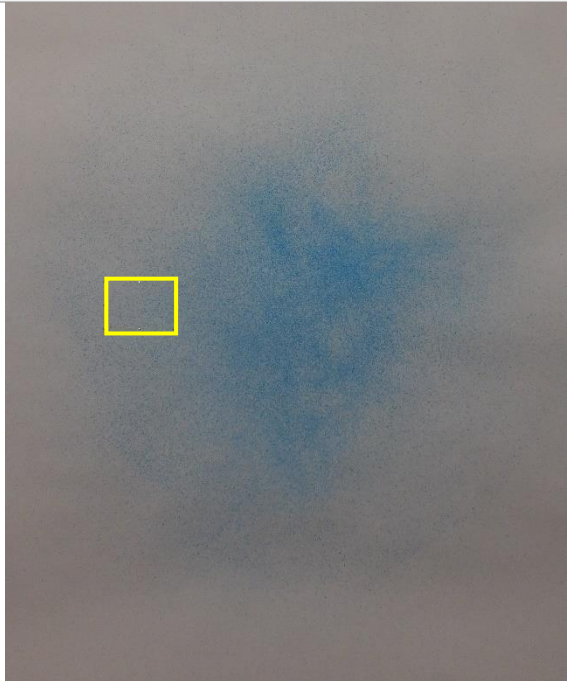
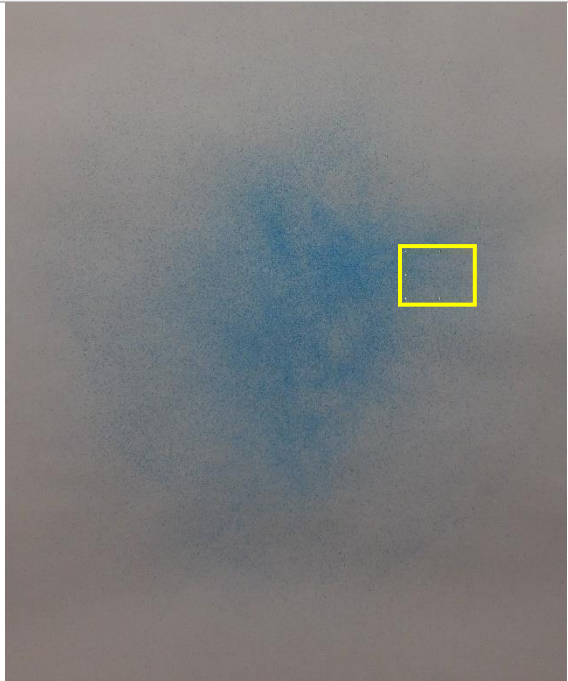
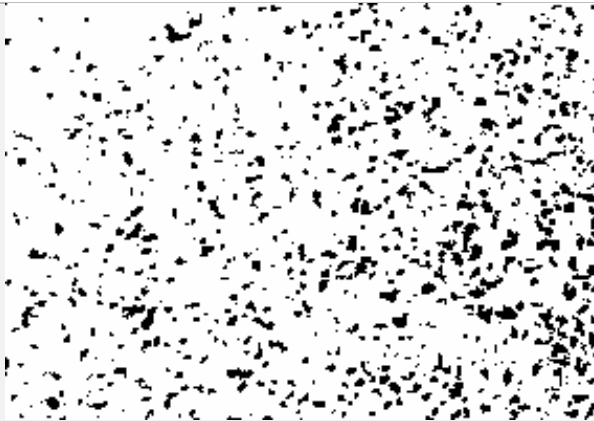
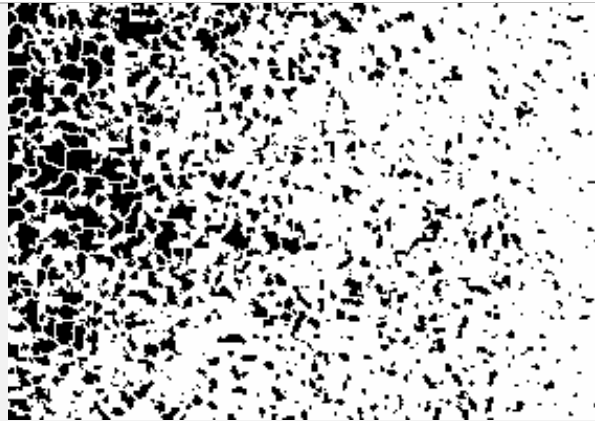
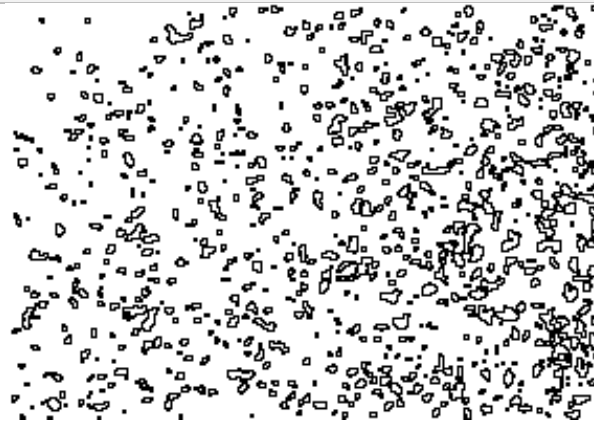
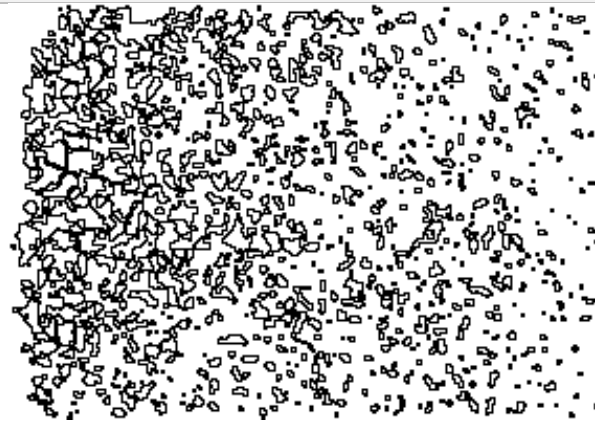
$h_3 = 1,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGI		

Tabella 5. 19- Risultati analisi ugello HCl6001 per $p=3\text{bar}$, $h=1,5 \text{ m}$

Per ogni singola zona analizzata, evidenziata in giallo, i risultati quantitativi ottenuti da ImageJ sono stati importati come file .txt ed importati sul foglio elettronico di Excel in modo tale da procedere alla caratterizzazione dell'ugello e effettuare i confronti finali per ricavare le migliori condizioni di lavoro.

I risultati delle analisi dell'ugello a cono vuoto HCI6001 in esame, alla pressione di lavoro di 3 bar sono riassunti all'interno della *Tabella 5.20*. I risultati sono differenziati a seconda del metodo di conversione adottato per ricavare il diametro originale della goccia a partire dal diametro della macchia rilasciata sul foglio, quantificata tramite ImageJ.

Nelle tabelle riassuntive dei risultati alla voce **VMD_I**, **VMD_II** e **VMD_III** corrispondono i diametri medi volumetrici ottenuti a seconda che sia stato adottato rispettivamente il primo, il secondo o il terzo metodo bibliografico, citati nei paragrafi precedenti.

Riassumendo, i tre metodi di conversione fanno riferimento a relazioni differenti:

- VMD I: viene valutato mediante l'Equazione 5.2 dell'equazione di tendenza polinomiale in grado di seguire l'andamento, come riportato nella *Figura 5.6*
- VMD II : viene valutato riprendendo l'Equazione 5.4 individuata dagli studi effettuati dall'Università di Catania;
- VMD III: si ricava dall'Equazione 5.6 , per cui dal diametro della macchia si ricava la dimensione originale delle gocce.

Inoltre, la pressione **p** a cui si fa riferimento è la pressione relativa e viene identificata tramite l'utilizzo della **p** minuscola.

Assieme all'indicazione della pressione di lavoro, è bene definire la durata t_s per il quale è stato effettuato il getto sul foglio, dopo aver raggiunto le condizioni di regime.

$p_1=3 \text{ bar}$ $t_s=0,56 \text{ s}$									
	h=0,5			h=1,0			h=1,5		
	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio
VMD_I	265,97	301,94	283,95	243,30	285,07	264,19	312,87	333,80	323,33
VMD_II	187,42	215,43	201,42	229,54	211,94	220,74	223,76	239,36	231,56
VMD_III	272,87	306,96	289,92	323,32	302,83	313,08	316,68	334,42	325,55
Area coverage [%]	26,7	48,0	37,4	44,0	28,7	36,4	23,6	42,1	32,8
Droplet density [droplet/cm²]	52,6	60,0	56,3	49,6	28,6	39,1	36,0	39,0	37,5

Tabella 5. 20- Risultati analisi ugello HCI6001 per $p=3 \text{ bar}$.

Dal grafico in *Figura 5.24* ai valori dei diametri delle gocce realizzate dall'ugello (in μm) si può effettuare un confronto sui tre metodi di confronto adottati per effettuare la conversione dal diametro dello spot e quello originale della goccia all'uscita dell'ugello.

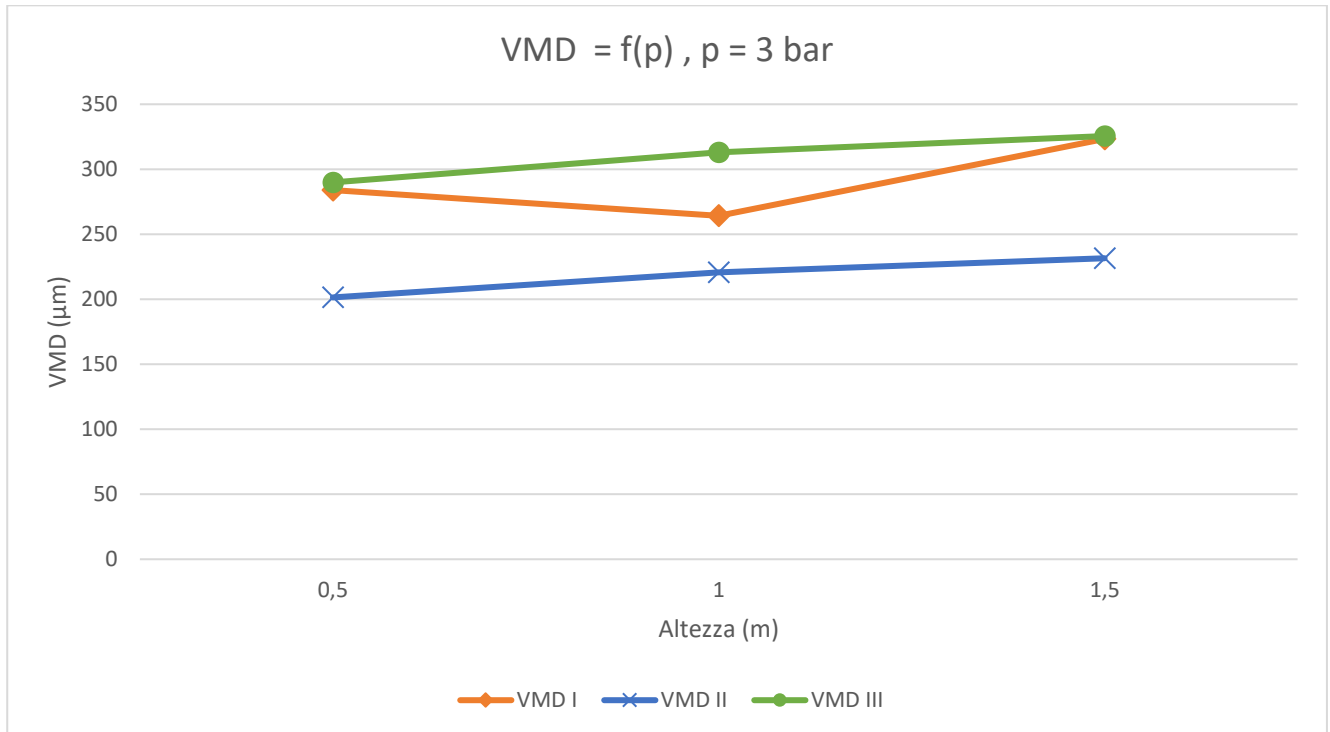


Figura 5. 24- Andamento VMD al variare dell'altezza ugello-foglio con $p=3$ bar.

Dall'osservazione degli andamenti tra i tre metodi impiegati risulta che:

- Il primo metodo (VMD I), per cui viene adottata l'Equazione 5.2, i valori di diametro rappresentativi della distribuzione del getto risultano essere compresi tra i 250 e i 320 μm , inoltre, il valore minimo viene registrato in corrispondenza di $h=1,0$ m a cui corrisponde, pertanto, una distribuzione più fine.
- Il secondo metodo (VMD II) viene individuato un diametro un diametro medio volumetrico compreso tra 200 e 225 μm , minore rispetto a quello valutato con gli altri due metodi di conversione.
- Il terzo metodo (VMD III) consente di ricavare valori dei diametri delle gocce dello spray simili al primo metodo, con la differenza che in questo caso non si registra il valore minimo per la prova ad $h=1,0$ ma per $h=0,5$.
Inoltre, i valori ottenuti sono simili al variare dell'altezza, ossia della distanza verticale tra il foglio e l'ugello posizionato nella direzione orizzontale.

In termini di distribuzione, è necessario verificare quanto riportato da catalogo, mediante l'individuazione dei parametri relativi al grado di copertura e alla densità di gocce sulla superficie di riferimento.

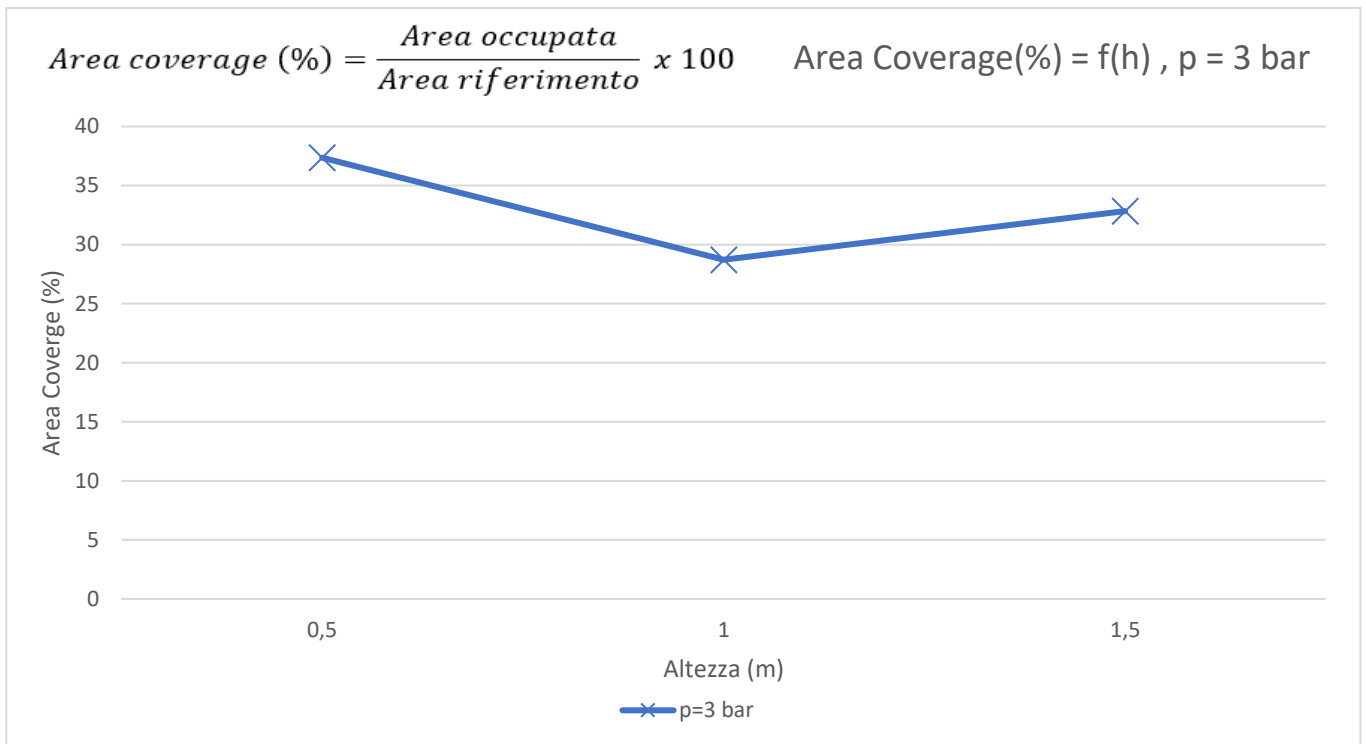


Figura 5. 25-Area Coverage per p = 3 bar.

È importante che venga garantito un buon grado di copertura affinché l'applicazione dei pesticidi e dei trattamenti fitosanitari sulla vite sia efficace dal momento che è richiesta una distribuzione per contatto che interessa l'intera superficie fogliare.

- Dall'andamento del grado di copertura, in *Figura 5.25*, si osserva un buon comportamento del getto prodotto.

Il parametro di Area Coverage, espresso in termini percentuali, non subisce una riduzione tra lo strato superiore e quelli intermedi e si mantiene all'incirca costante ad una percentuale del 35%.

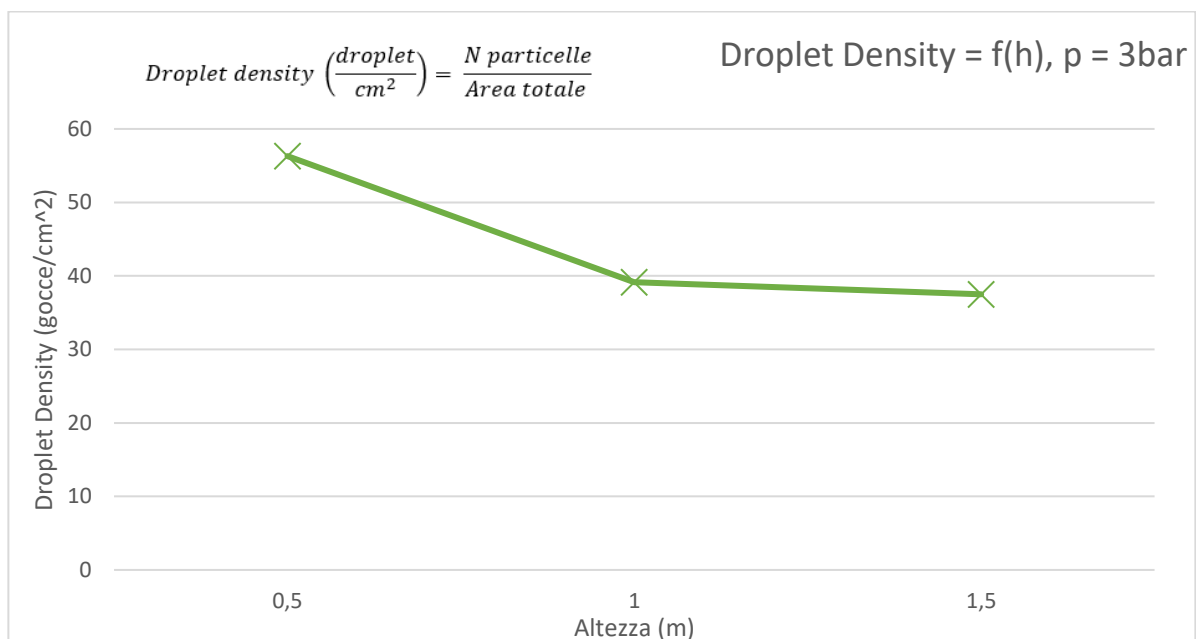


Figura 5. 26- Droplet density per p=3 bar.

Dalla valutazione dei risultati ottenuti sulla densità delle gocce, in *Figura 5.26*, è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

- Il numero di gocce per unità di area non dipende dall'altezza d'irrorazione, di conseguenza, ciò determina un buon comportamento dell'ugello poiché garantisce un trattamento omogeneo ed efficace nei diversi strati della vite.
- Conferma quanto dichiarato da catalogo per cui viene assicurata una buona copertura nell'esecuzione dei trattamenti fitosanitari.

Per la valutazione dell'area d'impronta del getto effettuato dall'ugello è stata presa in considerazione la prova relativa ad un'altezza $h=0,5$ che equivale alla superficie superiore del vigneto.

È importante ai fini dell'applicazione del prodotto che l'ugello sia in grado di garantire il trattamento sull'intera larghezza per evitare di dover effettuare più passate e, di conseguenza, determinare uno spreco di risorse e aumentare la probabilità che le gocce vadano a finire nelle zone adiacenti non interessate oppure che raggiungano l'operatore.

L'ugello, per una pressione di 3 bar, come riportato in *Figura 5.21*, è in grado di ricoprire in maniera ottimale la larghezza del vigneto pari a 60 cm. La caratteristica principale dell'ugello HCI6001 è relativa all'angolo di apertura di 60° che consente di poter intervenire in zone concentrate, utile per poter effettuare interventi mirati.

Area d'impronta per $p = 3$ bar		
Dimensioni	Larghezza(cm)	Lunghezza(cm)
	56,2	63,0

Tabella 5. 21-Area d'impronta per $p=3$ bar.

Prove sperimentali $p_2 = 4$ bar

Adottando le stesse modalità d'analisi, si riportano di seguito i risultati dettagliati ottenuti con la pressione di lavoro massima consentita dal banco prova, pari a 4 bar.

Si riportano nelle *Tablelle 5.22,5.23, 5.24* le immagini ottenute nelle varie procedure di analisi. Nel dettaglio si riportano:

1. Nella prima riga sono riportate le immagini originali del getto con evidenziate in giallo le zone di area 76×52 mm oggetto di studio;
2. Nella seconda riga vi è l'immagine binaria di partenza ottenuta dal processo di conversione in 8-bit del software.
3. Nella terza riga viene riportata l'immagine risultato del processo Analyze Particles di ImageJ in cui si evidenziano i soli contorni delle particelle riconosciute e quantificate.

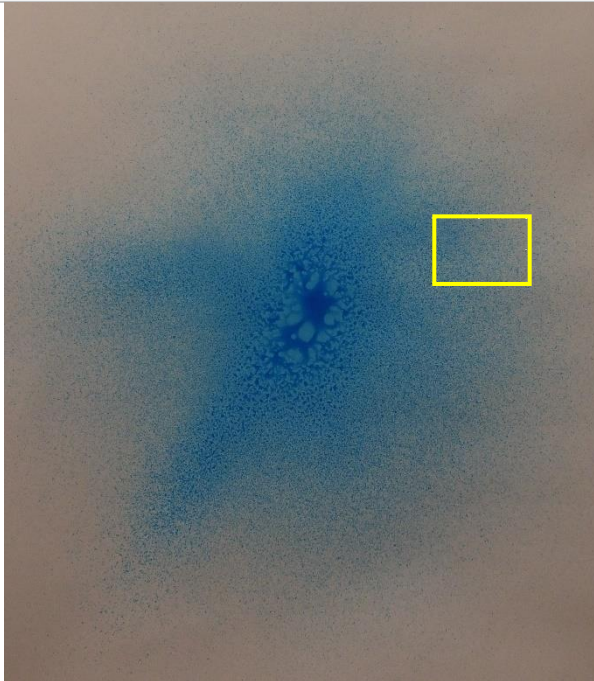
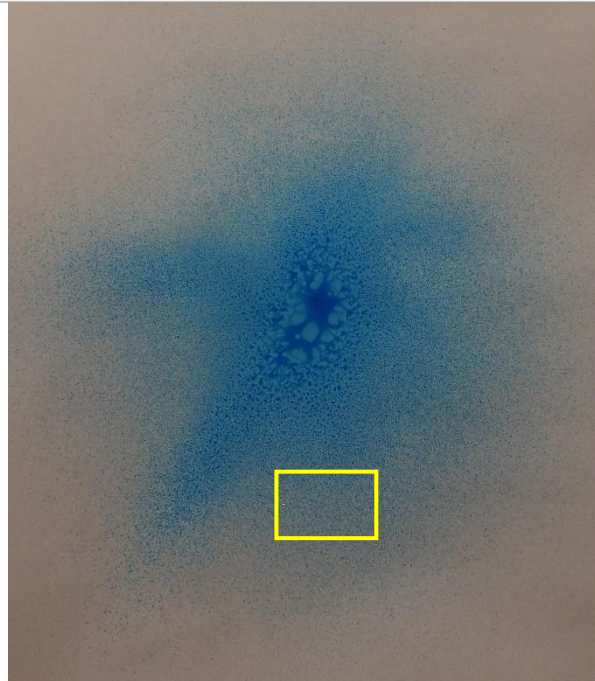
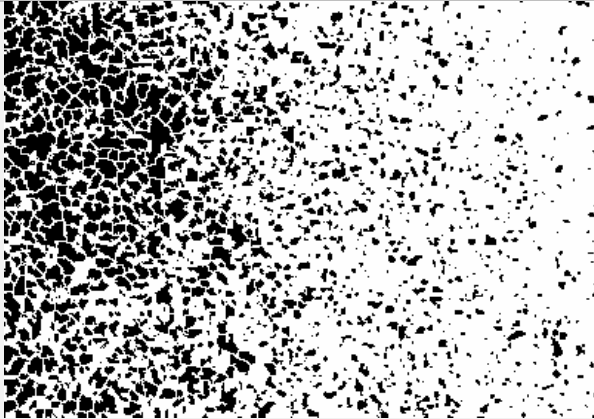

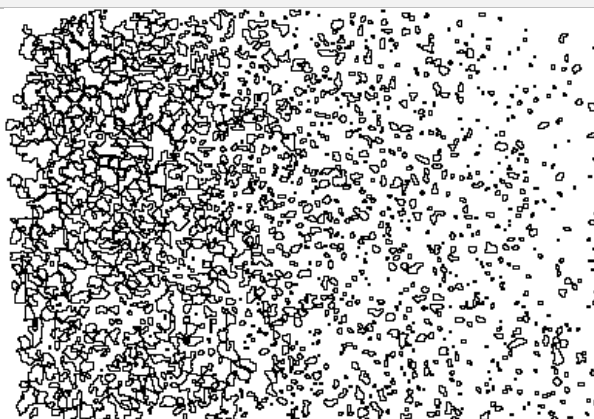
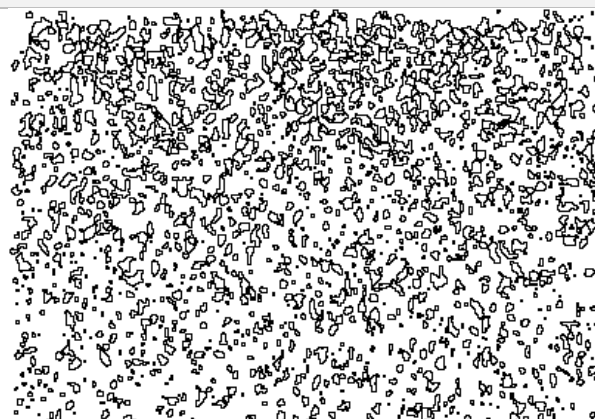
$h_1 = 0,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGI		

Tabella 5. 22 - Risultati analisi ugello HCI6001 per $p=4 \text{ bar}$, $h=0,5 \text{ m}$.


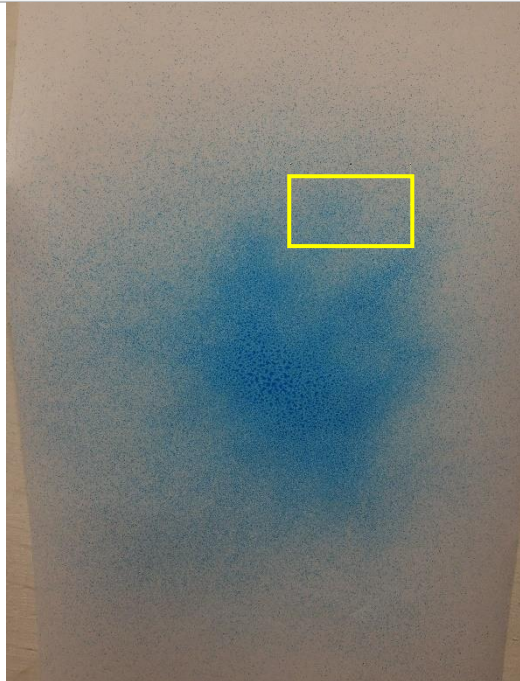
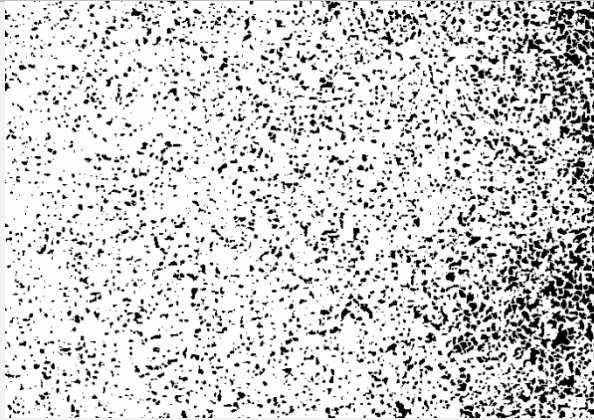

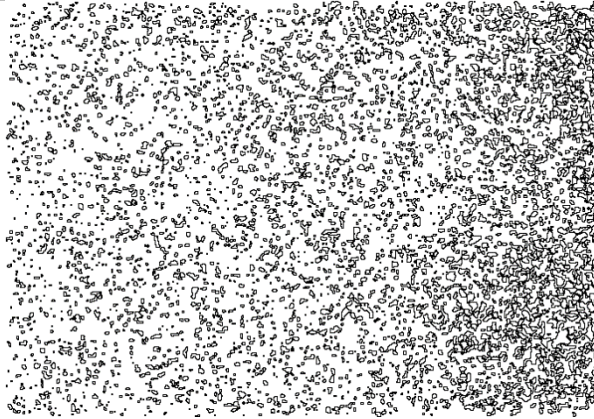
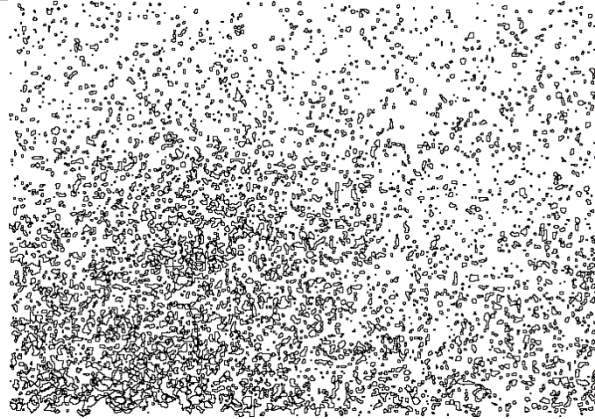
		$h_2 = 1,0 \text{ m}$	
		Zona 1	Zona 2
ORIGINALE			
IMMAGINE BINARIA			
IMAGGI			

Tabella 5. 23- Risultati analisi ugello HCl6001 per $p=4 \text{ bar}$, $h=1,0 \text{ m}$.

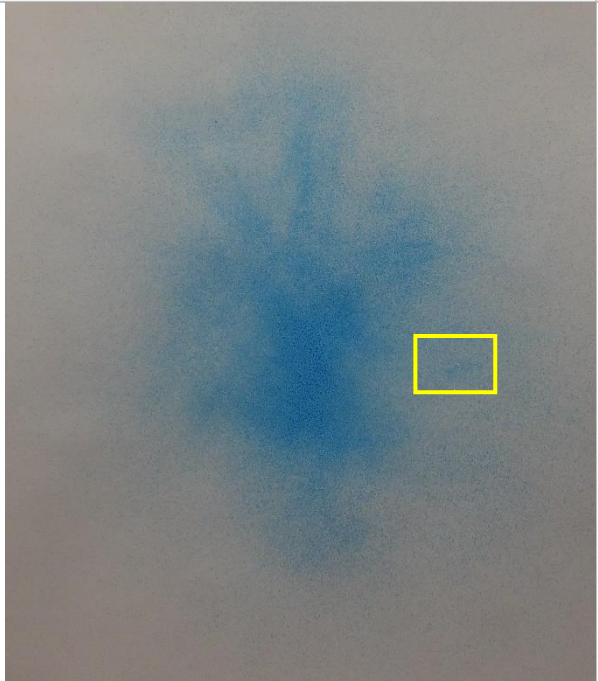
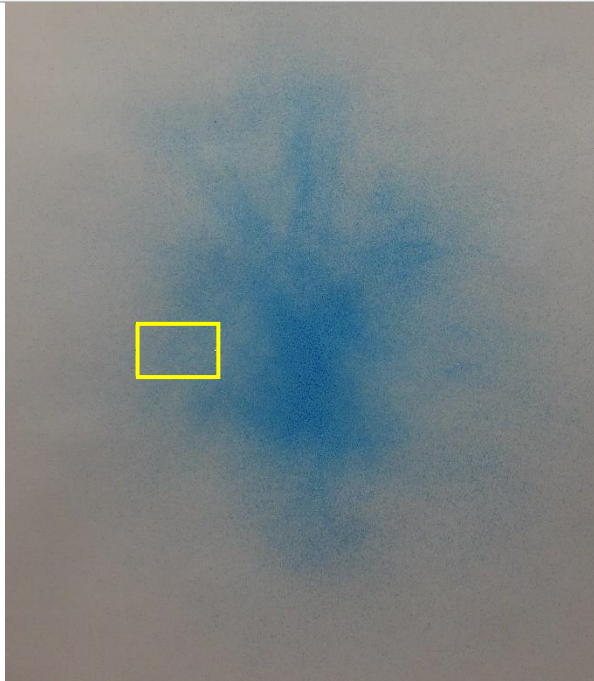
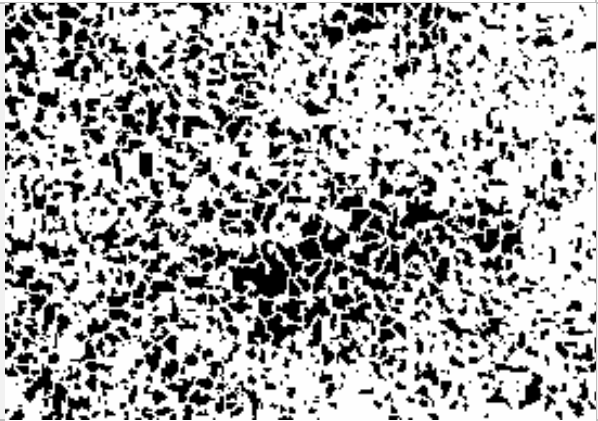
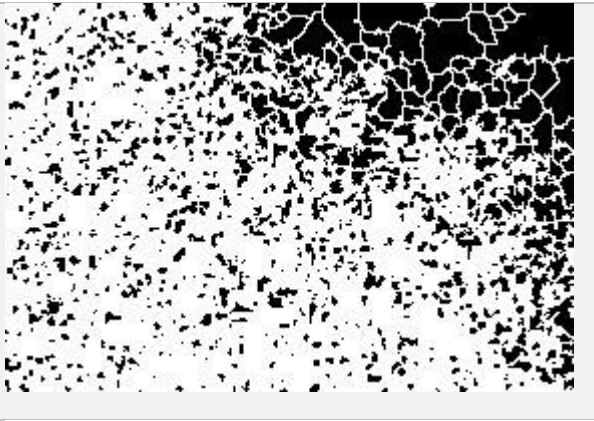


$h_3 = 1,5 \text{ m}$		
	Zona 1	Zona 2
ORIGINALE		
IMMAGINE BINARIA		
IMMAGINE		

Tabella 5. 24 - Risultati analisi ugello HCI6001 per $p=4 \text{ bar}$, $h=0,5 \text{ m}$.

I dati ottenuti dalle analisi per le singole zone, impostando come pressione di lavoro 4 bar, sono riassunti in Tabella 5.25, adottando le stesse notazioni delle prove precedenti.

p ₂ = 4 bar t _s =0,37 s									
	h=0,5			h=1,0			h=1,5		
	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio	Zona 1	Zona 2	Valore medio
VMD_I	290,27	301,67	295,97	185,22	177,04	181,13	445,91	426,26	436,09
VMD_II	206,43	215,22	210,83	124,04	117,82	120,93	313,42	301,72	307,57
VMD_III	296,25	306,71	301,48	187,58	178,58	183,08	410,51	399,31	404,91
Area coverage [%]	49,9	43,4	46,6	12,6	8,0	10,3	60,3	84,6	72,4
Droplet density [droplet/cm²]	65,6	69,8	67,7	193,5	178,7	186,1	42,7	27,6	35,1

Tabella 5. 25- Tabella 5. 26- Risultati analisi ugello HCI6001 per p=4 bar.

Dal grafico in *Figura 5.27* vengono riportati gli andamenti dei diametri medi volumetrici al variare dell'altezza di irrorazione ossia della distanza verticale l'ugello e la posizione del foglio valutate nelle diverse prove sperimentali.

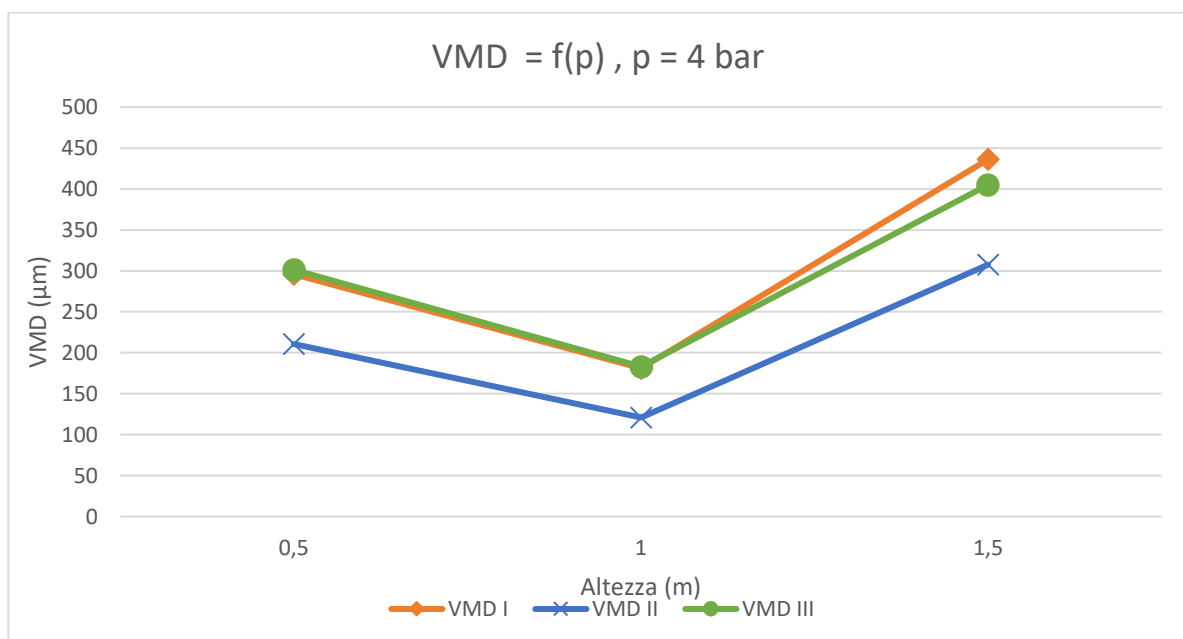


Figura 5. 27 - Andamento VMD al variare dell'altezza ugello-foglio con p= 4 bar.

In particolare, vengono tracciati tre andamenti a seconda del metodo di conversione adottato per ricavare il diametro effettivo della goccia, indicati con VMD I, VMD II e VMD III.

Le considerazioni da fare sui risultati ottenuti sono le seguenti:

- Il primo metodo (VMD I) e il secondo metodo (VMD II) sono simili sia in termini di range di valori, compresi tra 200 e 400 μm , sia per il fatto che seguono lo stesso andamento per cui il valore del diametro medio volumetrico minimo è registrato per un'altezza d'irrorazione pari a 1 m.
- Il secondo metodo (VMD II) individua un diametro medio volumetrico compreso tra 120 e 250 μm al quale potrebbe essere associata una classe di tipo *Fine(F)*.

Per la valutazione della distribuzione del getto si osservano gli andamenti relativi al grado di copertura e la densità delle gocce.

L'area di copertura o area coverage (%) fornisce la percentuale di area di riferimento ricoperta complessivamente dal getto emesso dall'ugello, poiché per garantire un buon trattamento è fondamentale che venga irrorata l'intera superficie.

Il grado di copertura, come si può osservare dalla *Figura 5.28*, presenta un comportamento anomalo: assume il massimo valore in corrispondenza dell'altezza $h=1,5$ ossia dell'altezza rappresentativa dello strato inferiore della vite.

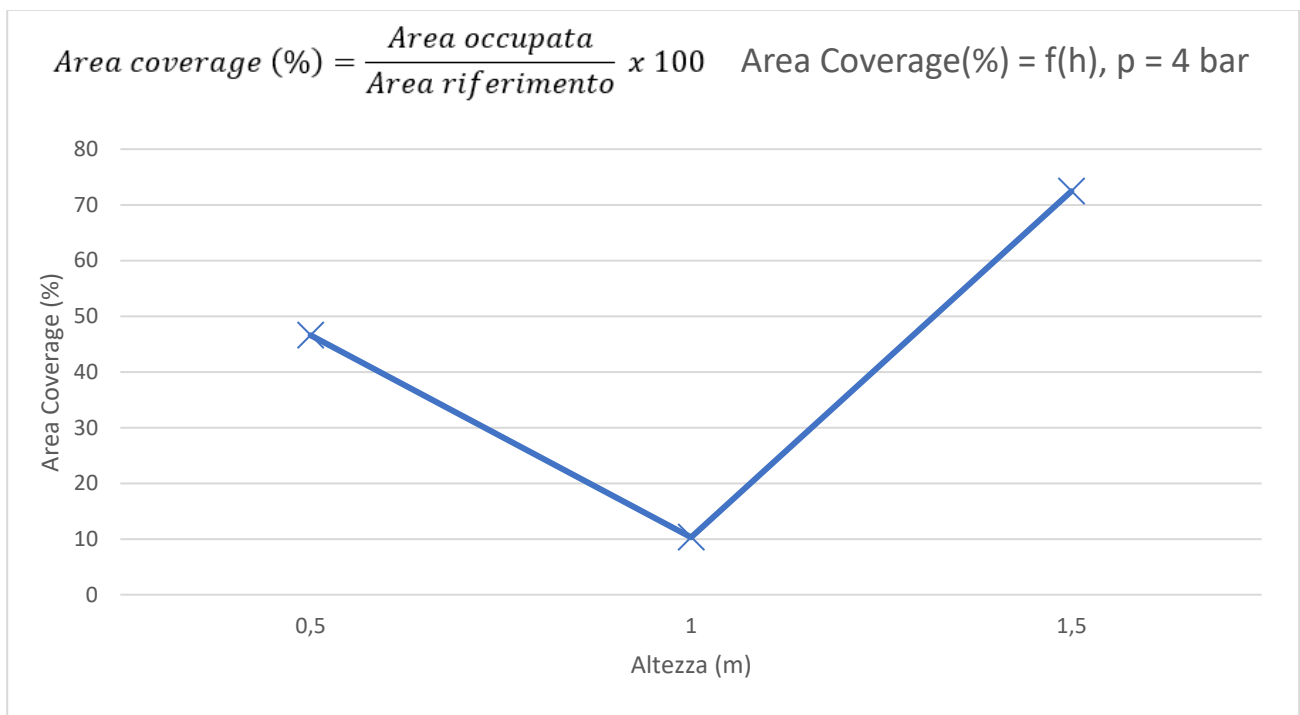


Figura 5. 28-Area Coverage per p=4 bar.

Il secondo parametro importante per garantire l'efficacia del trattamento fitosanitaria è quello riferito alla densità di particelle, ossia il numero di gocce che investono un'unità di area.

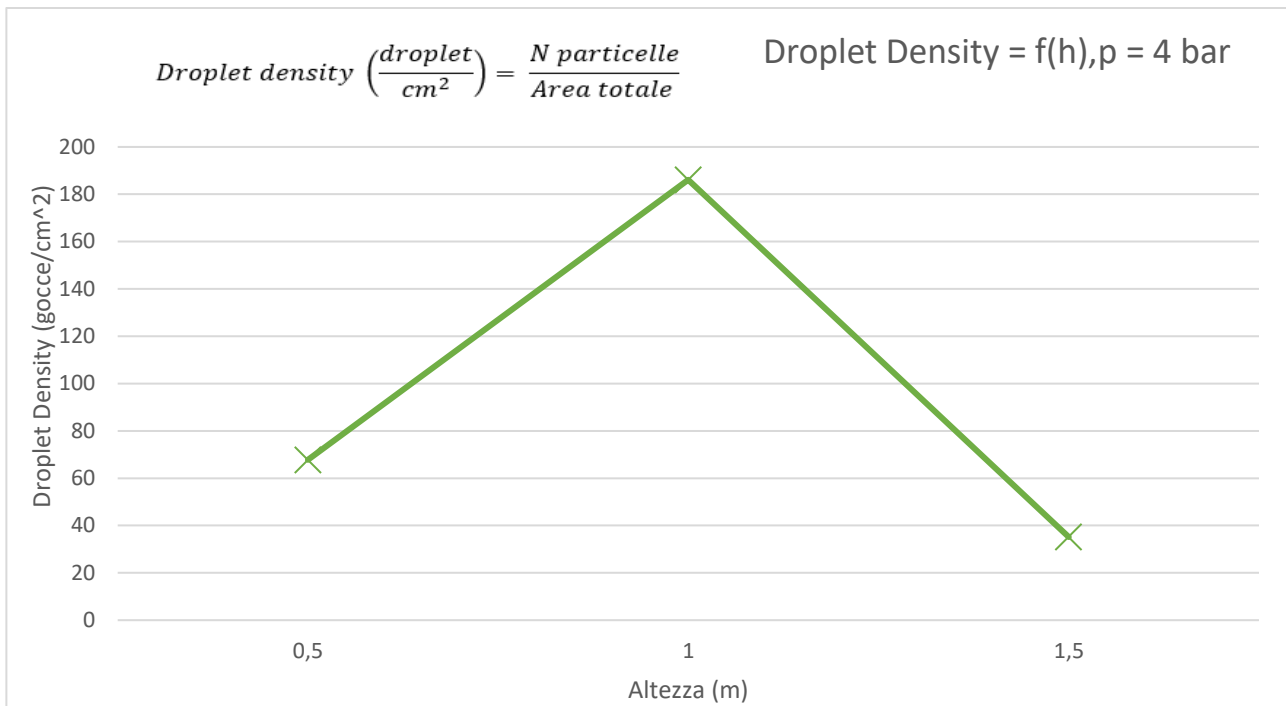


Figura 5. 29-Droplet density per p=4 bar.

Come si osserva dall'andamento riportato in *Figura 5.29* si osserva un andamento "opposto" a quello registrato dall'area coverage: il valore massimo di densità è individuato in corrispondenza dell'altezza pari a 1 m.

Per ricavare l'informazione del getto è necessario combinare i due andamenti:

- In corrispondenza dello strato intermedio ad altezza h=1 m l'ugello è in grado di garantire una distribuzione con un numero di gocce molto alto ma che sono in grado di ricoprire solo una porzione di area molto piccola; ciò è dovuto dal fatto che le gocce sono molto sottili.
- Alla massima distanza dall'ugello ossia per h=1,5 m, invece, si ha situazione completamente opposta perché si hanno poche gocce, di grandi dimensioni, che ricoprono una vasta area della superficie presa come riferimento.

Un ulteriore parametro importante per la caratterizzazione dell'ugello è associato alla valutazione dell'intera impronta rilasciata sul foglio di carta lucida in maniera tale da assicurarsi che il trattamento vada a ricoprire l'intera superficie fogliare della vite.

L'area di impronta del getto, adottando una pressione di lavoro di 4 bar, per questo tipo di ugello non è in grado di effettuare il trattamento in una sola passata.

A fronte dei 60 cm di larghezza della larghezza della vite, l'ugello HCI6001 a cono vuoto, ricopre una zona inferiore.

Il risultato ottenuto è attendibile poiché l'ugello è caratterizzato da un angolo di apertura pari a 60° e, di conseguenza, il getto è più ristretto e viene concentrato soltanto nella parte centrale lasciando libere le zone periferiche lungo i bordi del foglio.

Area d'impronta per p = 4 bar		
Dimensioni	Larghezza(cm)	Lunghezza(cm)
	50,0	54,9

Tabella 5. 27-Area d'impronta per p=4 bar.

Confronti

Dai risultati ottenuti dalle simulazioni del getto per i due valori di pressioni presi in esame; è necessario procedere alla differenziazione del comportamento dell'ugello in maniera tale da individuare quale debba essere la pressione da adottare in condizioni reali che ci garantisce un trattamento efficiente sul vitigno.

Si riportano di seguito gli andamenti, per ogni metodo adottato, dei diametri medi volumetrici delle gocce in funzione della pressione p .

Vengono indicati con VMD I, VMD II e VMD III i diametri caratteristici del getto ricavati rispettivamente con il primo, secondo o terzo metodo di conversione da cui si passa dalla dimensione dello spot alla dimensione originale della goccia all'uscita dall'ugello.

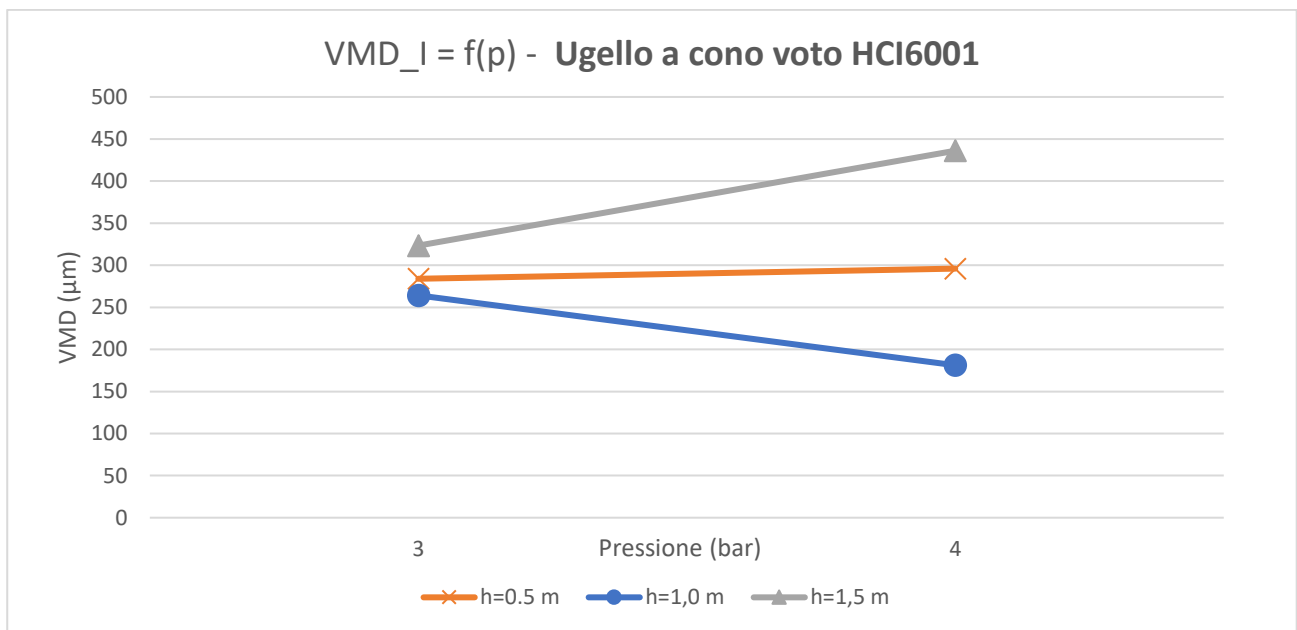


Figura 5. 30--Andamento VMD I in funzione della pressione di lavoro.

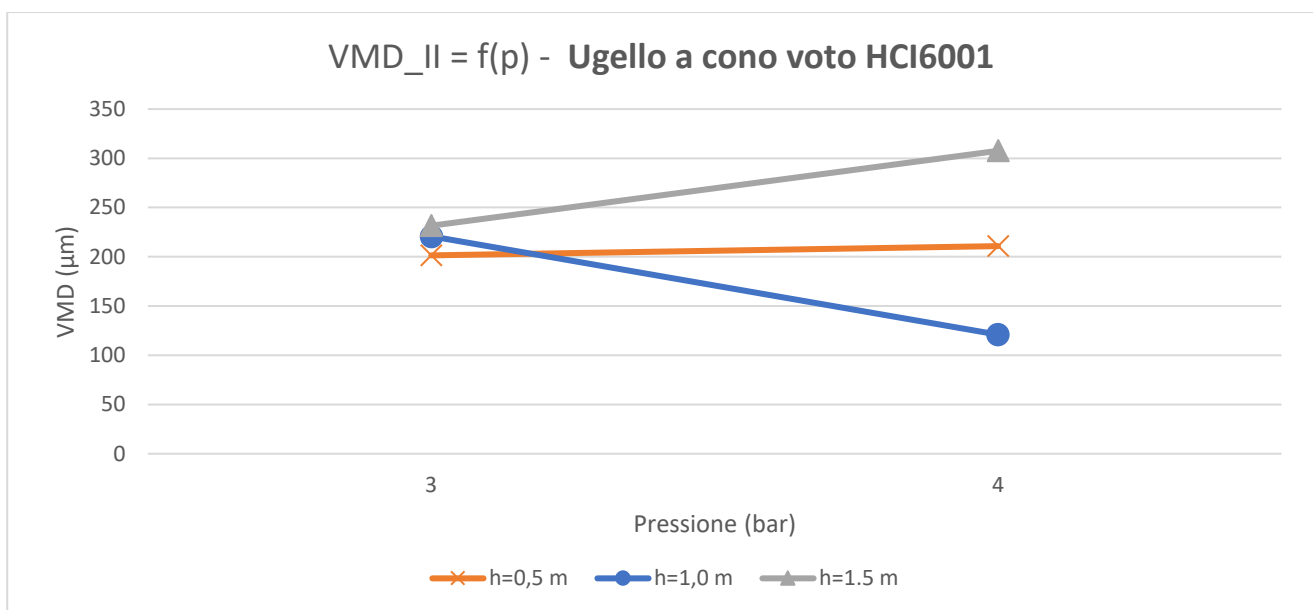


Figura 5. 31-Andamento VMD II in funzione della pressione di lavoro

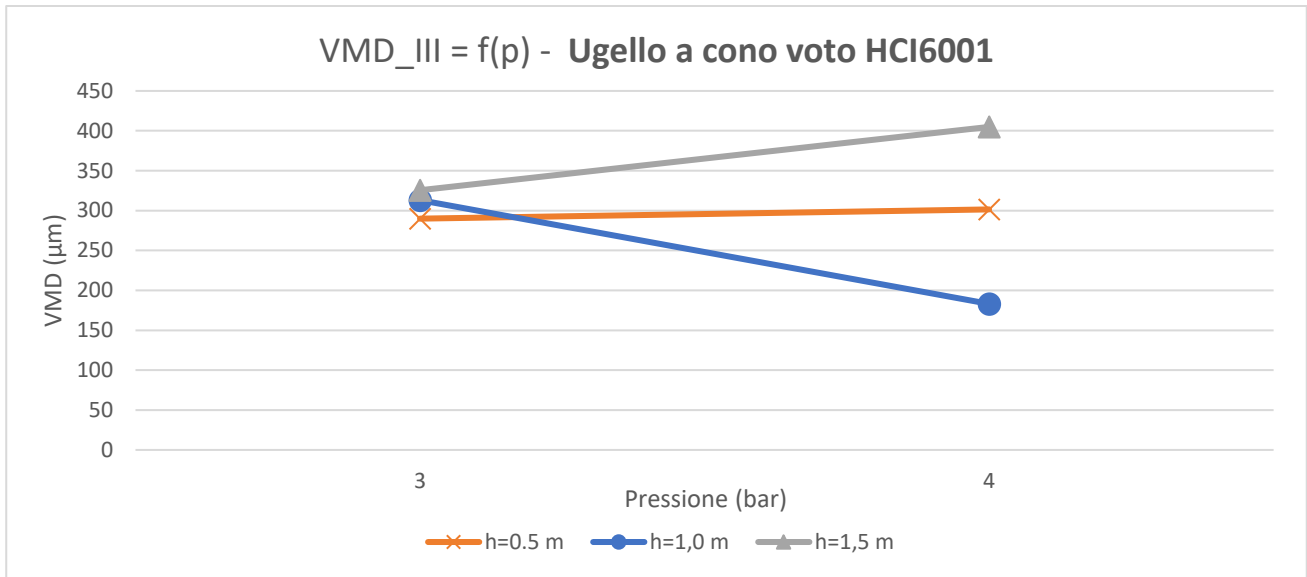


Figura 5. 32- Figura 5. 33 -Andamento VMD III in funzione della pressione di lavoro.

- Dagli andamenti ottenuti il diametro delle gocce subisce una riduzione all'aumentare della pressione per le prove ottenute per l'altezza intermedia h=1,0 m, mentre assume un valore costante sulla superficie superiore ad h=0.5.
- Nello strato inferiore della pianta h=1,5 m, si osserva uno strano comportamento per cui si registra un aumento delle dimensioni all'aumentare della pressione di lavoro.

Questo potrebbe essere dovuto dal fatto che per le gocce emesse a pressione maggiore, prima di raggiungere il foglio, assorbono le particelle di aria aumentando le proprie dimensioni. Ciò rappresenta uno dei principali limiti dell'impiego del banco prova per come è stato progettato, poiché, le prove vengono effettuate in condizioni statiche e non si tiene conto dell'effetto di ventilazione che determina una frammentazione ulteriore delle gocce.

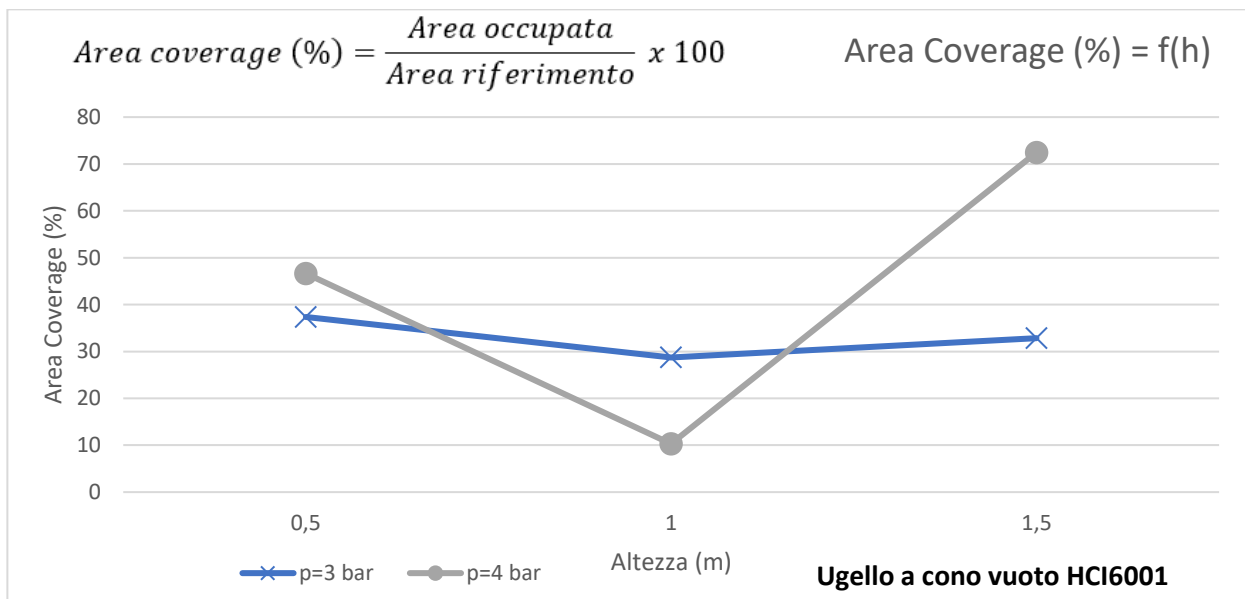


Figura 5. 34-Area coverage al variare della pressione di lavoro.

In termini di distribuzione, si osserva un comportamento differente adottando le due pressioni di lavoro:

- Alla pressione di 4 bar il grado di copertura non è costante alle differenti altezze, mentre, per $p=3$ bar si ha il comportamento ottimale che garantisce un ricoprimento costante per ogni livello della pianta.

Pertanto, come risultato finale dell'analisi dell'ugello HCI6001 si prevede un buon comportamento in termini di dimensione delle gocce e del grado di distribuzione adottando nel circuito idraulico una pressione di 3 bar.

Un'ulteriore specifica che può influire sulla scelta dei parametri di lavoro da associare all'utilizzo dell'ugello a cono vuoto HCI6001 è quella correlata alla capacità di realizzare il getto in maniera tale da ricoprire con una singola passata l'intera larghezza della vite.

Questa informazione non viene riportata da catalogo del costruttore ma è importante che sia nota all'agricoltore per poter ottimizzare sia le risorse che il tempo del trattamento.

La larghezza della vite su cui applicare il trattamento è pari a 60 cm. Analizzando le aree delle impronte dei getti rilasciate in corrispondenza della superficie superiore della pianta, si osserva una netta differenza delle dimensioni delle aree che l'ugello è in grado di ricoprire.

L'ugello, infatti, come si osserva dai dati registrati nelle *Tabelle 5.21 e 5.27*, con una pressione di lavoro pari a 4 bar riesce a garantire la specifica in maniera discreta poiché vengono ricoperti 50 cm, al contrario, per $p=3$ bar il getto ricopre 30 cm, cioè metà della larghezza della vite.

L'ugello, infatti, avendo un angolo d'apertura pari a 60° distribuisce il prodotto in una zona ristretta ed è per questo motivo che viene consigliato l'uso per effettuare trattamenti mirati su particolari zone della pianta.

Come diretta conseguenza di queste analisi, è necessario che l'agricoltore programmi attentamente il percorso del drone in maniera tale da assicurare che l'intera area venga interessata dal trattamento.

Il viticoltore, pertanto, che ha come obiettivo quello di distribuire il prodotto affinché sia assicurata la protezione dell'intera pianta da funghi e insetti è consigliabile che adotti una strategia adeguata. Per evitare uno spreco di risorse e per fare in modo che il trattamento sia efficace, la pressione ottimale di lavoro potrebbe essere pari a 3 bar associata, però, ad un'opportuna programmazione del percorso che deve essere compiuto dal drone per evitare di disperdere il prodotto in aria e sul terreno.

Conclusioni

Le prove sperimentali hanno coinvolto l'utilizzo di due ugelli a cono. In particolare, i due ugelli presi in esame, prodotti dall'azienda italiana Asj Nozzle, sono i seguenti:

- Ugello a cono pieno HCF80015;
- Ugello a cono vuoto HCII6001.

Lo studio portato avanti si è posto come obiettivo quello di fornire degli strumenti utili al settore agricolo che, negli ultimi anni, ha subito un vero e proprio processo di innovazione tanto che ora si è nella fase che viene definita *Agricoltura 4.0* o *Agricoltura di precisione*.

Il motivo principale che ha modificato il modo di operare è correlato alle nuove politiche green per cui si pone un occhio di riguardo alla salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente.

Uno dei principali problemi a cui si è cercato di trovare una soluzione nel corso degli ultimi decenni è quello associato all'applicazione dei pesticidi sulle colture, la quale richiede delle operazioni di precisione affinché vengano erogati i giusti dosaggi per evitare che si vadano a depositare sui frutti e ortaggi che raggiungono le tavole dei consumatori.

Da questo punto di vista le istituzioni indirizzano gli agricoltori affinché questi trattamenti vengano eliminati o, al limite, vengano effettuati solo in condizioni critiche.

Come risoluzione a questo problema, il settore di ricerca e sviluppo agricolo ha spinto alla sostituzione dei mezzi tradizionali impiegati per la distribuzione dei prodotti fitosanitari con l'impiego di droni, ossia di velivoli comandati a distanza che sono in grado di ottimizzare le operazioni.

I droni agricoli sono dotati di un opportuno sistema di sensoristica con camere multispettrali che sono in grado di costruire una mappa dell'intera area del terreno e, allo stesso tempo, valutare le condizioni della pianta in maniera tale da differenziare la distribuzione dei prodotti fitosanitari in ottica dell'ottimizzazione delle risorse.

Le analisi effettuate hanno riguardato l'applicazione di pesticidi su un particolare vigneto a Vicoforte (CN) per cui sono note le caratteristiche grazie alla collaborazione con l'azienda agro-turistica *Antica Meridiana Relais-Art*.

Le viti sono delle piante delicate, richiedono numerosi interventi di prevenzione per la difesa della pianta da funghi e batteri e nella maggior parte dei casi sono situate su terreni con alti dislivelli, difficili da essere raggiunte da macchine irroratrici tradizionali.

Le analisi effettuate mediante le prove sperimentali sono finalizzate alla scelta dell'ugello e i suoi parametri di lavoro in grado di garantire l'ottimizzazione del processo di applicazione di pesticidi mediante il drone, prendendo come riferimento il modello disponibile sul mercato estero DJJ Agras MG-1.

Le simulazioni sperimentali effettuate all'interno del Laboratorio di Aerodinamica "Modesto Panetti" del Politecnico di Torino sono state realizzate mediante l'utilizzo di un banco prova in cui il getto è prodotto in *condizioni statiche*. Si tratta di una condizione ideale poiché il drone si muove con una data velocità di avanzamento per poter irrorare l'intero terreno agricolo.

A partire dall'idea per cui tradizionalmente il getto viene valutato mediante l'utilizzo di cartine idro sensibili di colore giallo che diventano blu nei punti in cui vengono bagnate, disposte in modo strategico in più punti all'interno del terreno, nelle prove sperimentali effettuate sono stati utilizzati dei fogli di carta lucida posizionati ortogonalmente all'ugello, a distanze fissate.

Le informazioni dei getti sono state ricavate, a partire dalle foto, dall'analisi mediante il software di elaborazione immagini: ImageJ.

Il programma è in grado di ricavare informazioni quantitative sulle particelle mediante una serie di comandi già implementati, tra cui quello fondamentale *Analyze Particles* che permette di ricavare la dimensione delle singole aree delle particelle.

Il funzionamento di base del programma prevede l'introduzione di una scala, in maniera tale che ad ogni pixel corrisponda una dimensione reale opportuna, ed inoltre, una conversione dell'immagine in bit che costituisce l'oggetti di partenza per l'analisi vera e propria.

Le informazioni che sono state ricavate riguardano:

- La dimensione delle gocce dello spray prodotto dall'ugello;
- Il grado di copertura o area coverage (%);
- La densità delle gocce per unità di area della zona presa come riferimento.

La prima informazione sulla dimensione è importante per evitare l'insorgere di due fenomeni: fenomeno della deriva e il fenomeno del gocciolamento.

Il fenomeno della deriva viene generato nel momento le gocce sono molto fini (50 -100 μm) per cui la tendenza ad essere allontanate dalla zona bersaglio è molto alta, specialmente in presenza di forti venti.

Il fenomeno del gocciolamento si ha, invece, nella situazione opposta cioè quando le gocce assumono grosse dimensioni (500 μm) per cui scivolano dalle foglie raggiungendo il terreno, determinando il trattamento poco efficace.

Pertanto, le linee guida definiscono come dimensioni ottimali diametri delle gocce compresi tra 150-400 μm , a seconda del tipo di trattamento che viene eseguito.

Gli altri due parametri sono utili per fornire le informazioni sulla distribuzione del getto e sulla corretta applicazione del pesticida. Nelle viti i trattamenti fitosanitari interessano l'intera pianta: l'intera superficie fogliare, i grappoli e i rami.

Il grado di copertura è in grado di riconoscere se il trattamento è in grado di soddisfare questo requisito, mentre, la densità delle gocce è utile per valutare se il trattamento viene depositato in maniera corretta.

La combinazione dei due parametri è utile per valutare se l'azienda agricola è in grado di ottimizzare le risorse impiegate in ottica della salvaguardia dell'ambiente e della gestione economica.

Per soddisfare questi requisiti le simulazioni portate avanti in laboratorio hanno consentito di fornire all'azienda agricola il parametro ottimale, per gli ugelli a cono presi in esame, relativo alla pressione di lavoro dalla pompa del circuito irroratore.

L'ugello a cono pieno HCF80015 è stato caratterizzato, coerentemente con i dati riportati dal catalogo del produttore, per i seguenti valori di pressione relativa p:

- $p_1 = 2 \text{ bar}$
- $p_2 = 3 \text{ bar}$
- $p_3 = 4 \text{ bar}$

Per ogni singola pressione, le prove sono state differenziate in base all'altezza d'irrorazione cioè la distanza verticale tra l'ugello e il foglio modificando opportunamente la posizione dell'asta orizzontale del banco prova.

La scelta per l'individuazione della pressione ottimale è stata effettuata sulla base della valutazione degli andamenti delle dimensioni delle gocce, del grado di copertura e della densità delle gocce.

Per l'agricoltore è importante garantire un'ottima distribuzione e l'omogeneità del trattamento sia sulla superficie superiore della pianta sia negli strati intermedi ed inferiore.

Sulla base delle considerazioni precedenti, la pressione ottimale in grado di garantire le migliori performance è pari a 4 bar cioè per la massima pressione garantita dal banco prova.

Per questo valore di pressione il grado di copertura e la densità delle gocce ottenuti sono maggiori nei vari strati rispetto a quelli ricavati per pressioni inferiori, consentendo l'omogeneità del trattamento.

L'ugello a cono vuoto HCF80015 è stato analizzato per due valori di pressione relativa p:

- $p_1 = 3 \text{ bar}$
- $p_2 = 4 \text{ bar}$

Le prove sono state effettuate in modo analogo e ricavando gli stessi parametri, a partire dalla foto del getto.

Per ricavare quale sia la pressione ottimale, tra quelle analizzate, sono state effettuati i confronti relativamente alla dimensione delle gocce dello spray e dei parametri di distribuzione: area coverage e densità delle gocce.

Come risultato del confronto, la pressione ottimale che garantisce all'agricoltore di applicare i pesticidi in maniera efficace, evitando uno spreco di risorse, è pari a 3 bar.

Ugello	p ottimale
HCF80015	4 bar
HCF6001	3 bar

Tabella 5. 28-Tabella riassuntiva risultati.

Accorgimenti e miglioramenti

Il seguente progetto è finalizzato a fornire delle informazioni utili nel settore agricolo, in particolare per l'applicazione di prodotti fitosanitari su vigneti finalizzati alla protezione della pianta da funghi e insetti.

I risultati possono essere impiegati come dati di partenza per decidere quali ugelli debbano essere montati sul circuito irroratore, che dovrà essere installato sul drone, di pari passo con le condizioni di lavoro ottimali di funzionamento.

L'impiego dello stesso banco prova adottato, pertanto, potrebbe essere impiegato per la caratterizzazione di altri tipi di ugelli in maniera tale da avere una visione completa su come varia il getto in funzione della tipologia.

Dal punto di vista pratico, in maniera tale da garantire buone performance, è necessario programmare l'esecuzione di interventi di manutenzione per evitare l'insorgere di malfunzionamenti, causati dall'accumulo di calcare, che potrebbero determinare una riduzione della portata che attraversa l'orifizio.

Un metodo di intervento che consente di garantire le migliori performance dell'ugello è dettato dalla norma per cui occorre mantenere pulito l'ugello immergendolo per 30 minuti all'interno di un contenitore con acqua e aceto e, di seguito, lasciarlo a bagno in acqua per 5 minuti.

Il banco prova presenta, però dei limiti che impediscono di poter riprodurre fedelmente quello che accade durante l'applicazione pratiche con l'utilizzo del drone.

Come già visto in precedenza, infatti, la caratterizzazione del getto è nelle condizioni statiche; perciò, si potrebbe implementare il banco prova già a disposizione o realizzare uno nuovo in grado di muoversi per poter simulare il movimento del drone e dello stesso ugello sulla vegetazione.

In particolare, un possibile miglioramento del banco sarebbe quello di aggiungere una ventola che simuli il moto dei rotori in modo tale da valutare come lo spray venga influenzato dalle turbolenze prodotte dai rotori del drone, importanti per ridurre il fenomeno della deriva.

Bibliografia e sitografia

- [1] Università di Torino Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DiSAFA), Aldo Ferrero, Paolo Balsari, Gianluca Oggero, *Regione Piemonte: Guida all'uso corretto dei prodotti fitosanitari*.
- [2] Angelo Gentili, Legambiente, *Analisi dei residui dei fitofarmaci negli alimenti e buone pratiche agricole, Dossier Stop Pesticidi 2021*,
<https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/11/Stop-Pesticidi-2021.pdf>
- [3] Pierre-Henri Dubuis (coordinamento), Aurélie Gfeller, Lina Künzler, Patrik Kehrl, Christian Linder, Jean-Sébastien Reynard, Christophe Debonneville, Jean-Laurent Spring, Vivian Zufferey, Kathleen Mackie-Haas, Agroscope Transfer N. 370/gennaio 2021, *La guida fitosanitaria per la viticoltura 2021/2022*
- [4] Gtechnology, Fondazione organismo di ricerca, maggio 2017, *I pro e i contro dei droni ad ala fissa*.
- [5] Agronotizie, Tommaso Cinquemani, *Droni agricoli, tutte le soluzioni chiavi in mano*,
<https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agrimeccanica/2020/03/30/droni-agricoli-tutte-le-soluzioni-chiavi-in-mano/66246>
- [6] T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, M. Persico, *Studio e progetto di un banco prova per irrorazione di pesticidi in vigneto tramite droni*, ottobre 2020.
- [7] T. Raparelli, G.Eula, A. Ivanov, G.Pepe, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale Politecnico di Torino, *Ugelli e sistemi di irrorazione per vigneti montati su droni*, aprile 2021
- [8] Massimo Lazzari, Ambra Longoni, Ernesto Beretta, Savio Landonio, Camera di commercio Milano, *Distribuzione dei fitofarmaci: stato dell'arte e impiego di attrezzature intelligenti per il contenimento dei costi e il miglioramento della sostenibilità delle produzioni vitivinicole milanesi e lombarde*
- [9] Centro Ricerche Produzioni Vegetali, Programma di Sviluppo Rurale dell'Emilia-Romagna, *Componenti delle macchine irroratrici, Gli ugelli*, maggio 2018.
- [10] Asj Spray Jet Arag Group, Catalogue DC 6010a 2021.
- [11] Mario Cunha, Claudia Carvalho, Andre R.S.Marcas, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto and Centro de Investigação em Ciências Geoespaciais, *Assessing the ability of image processing software to analyse spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets*, giugno 2011
- [12] Syngenta Crop Protection, Switzerland, *Water Sensitive paper for monitoring spray distribution*.

[13] Emanuele Cerruto, Giuseppe Manetto, Domenico Longo, Sabina Failla, Rita Papa * Department of Agricoltura, Alimentazione e Ambiente (Di3A), Section of Mechanics and Mechanisation, University of Catania, *A model to estimate the spray deposit by simulated water sensitive papers*

[14] Judit Pásztor, András Kakucs Zoltán Timár, Erzsébet Egyed -Faluvégi, Sapientia Hungarian University of Transylvania, Faculty of Technical and Human Sciences, Târgu Mureş, Romania, *Droplet size analysis of Spray Nozzle*