



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

Valutazione della distribuzione di agrofarmaci in vigneto. Confronto tra sistemi di distribuzione “target oriented” e standard.

Evaluation of the distribution of crop protection products in the vineyard. Comparison between “target oriented” and standard distribution systems.

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:  
SEBASTIANO MELATINI

Relatore:  
PROF.SSA ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:  
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

“Primo o ultimo non conta... l'importante è avere dato il meglio di sé in ogni singolo giro.”  
Marco Simoncelli

# SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE .....	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	6
PREMESSA E SCOPO DELLA TESI .....	7
INTRODUZIONE .....	11
Distribuzione dei fitofarmaci in vigneto....	11
Macchine e dispositivi attualmente esistenti.....	12
Sistemi a controllo fisico .....	12
Sistemi a ultrasuoni.....	13
Sistemi LiDAR .....	14
CAPITOLO 1 MATERIALI E METODI .....	16
1.1 Caso di studio.....	16
1.1.2 Rilievi in campo.....	19
1.2 Verifica della distribuzione durante il trattamento.....	21
1.3 Preparazione cartine ed acquisizione dati .....	22
1.4 Analisi statistica .....	23
CAPITOLO 2 RISULTATI .....	24
CAPITOLO 3 DISCUSSIONI .....	28
CONCLUSIONI.....	30
RINGRAZIAMENTI .....	31
BIBLIOGRAFIA .....	32

## ELENCO DELLE TABELLE

Figura 2-1: Copertura blocchi.....	26
Figura 2-2: Grafico % copertura nei blocchi .....	26

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 2-1: Piano di acquisizione dati del LiDAR.....	17
Figura 2-2: Schema di funzionamento del dispositivo di misura inerziale.....	18
Figura 2-3: Macchina operatrice utilizzata.....	19
Figura 2-4: Sistema LiDAR.....	19
Figura 2-5: Suddivisione dei filari.....	20
Figura 2-6: Visione aerea vigneto.....	21
Figura 2-7: Cornici con cartine pre e post trattamento.....	22

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

A.R.P:	AUTOMATIC RESISTIVITY PROFILYING
GNSS:	GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM
RTK	REAL-TIME KINEMATICS
GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
LIDAR	LIGHT DETECTION AND RANGING

## PREMESSA E SCOPO DELLA TESI

L'agricoltura di precisione è un insieme di tecnologie e strumenti che consentono di coltivare migliorando l'efficacia delle operazioni agricole. Tale insieme mette a contatto diretto la macchina, l'agricoltore e i tecnici attraverso hardware, software ed *app* sempre più sofisticate permettendo di ridurre costi di gestione e impatto ambientale e di aumentare qualità e rese del prodotto.

Lo sviluppo in questo campo è in continua evoluzione e può essere applicato a tutte le fasi della coltivazione. Per facilitare le operazioni di lavorazione del terreno, ad esempio, si può partire dal sistema d'indagine A.R.P. (*Automatic Resistivity Profilying*) che permette di mappare interi appezzamenti dando informazioni sulla tessitura del suolo. Dopo l'acquisizione e l'elaborazione, queste informazioni vengono mostrate sul monitor presente nella cabina del trattore con una mappa dove le differenti classi granulometriche sono associate a colori diversi (ad esempio verde per tessitura tenace, rosso per tessitura più sciolta). La mappatura dell'appezzamento può essere perfezionata aggiungendo la classica analisi del terreno ai vari punti identificati con A.R.P. così da ottenere una mappa di prescrizione. Questa mappa viene usata principalmente nella concimazione di fondo o in semina, quando si usano macchine in linea, che, grazie al sistema ISOBUS, ricevono le informazioni relative a forma dell'appezzamento e caratteristiche de terreno. In questo modo si ha una minore spesa, perché, in funzione delle informazioni presenti nelle mappe e trasmesse alle macchine operatrici, vengono limitate le sovrapposizioni, il seme può essere posizionato ad altezze del solco caratterizzate da temperatura ed umidità costanti (tecnologia "Smart Fimer").

Di notevole interesse è il ruolo della guida satellitare, tecnicamente composto da un sistema di navigazione GNSS (*Global Navigation Satellite System*) il cui ricevitore è un GPS (di fatto un'antenna ricevente i segnali radio del sistema GNSS) e da una macchina di calcolo. A questo sistema di navigazione può essere integrato uno di correzione RTK che permette di individuare e correggere la posizione del trattore in campo con un margine di errore di 2-3 cm utilizzando stazioni di correzione a terra.

Anche se i sistemi di guida satellitare hanno costi di acquisto elevati, permettono di agevolare molto le lavorazioni riducendo i costi di produzione. Nelle diverse produzioni agricole sono numerose le strategie che permettono di applicare tecniche di produzione agricola di precisione. Questa affermazione è sicuramente più attuale oggi di ieri, grazie all'incentivo dato dal progresso tecnologico che ha incrementato sia le soluzioni di AP a disposizione ma ha anche ridotto i relativi costi di acquisto e servizio.

Tra le innumerevoli operazioni che possono essere ottimizzate tramite l'uso di sistemi di AP di particolare interesse è la distribuzione di agro farmaci e di fattori di difesa delle colture. La protezione delle colture oltre ad essere un'attività cruciale, positiva, per la produzione (si pensi ai sistemi orticoli e frutticoli intensamente trattati) è però anche responsabile di rischi ambientali e di salute a causa dell'elevata deriva di prodotto (in alcuni casi superiore al 50%) generata dall'utilizzo in larga parte delle macchine per la distribuzione di questi prodotti. A questi si devono aggiungere le perdite economiche dovute al mancato raggiungimento dell'obiettivo da parte del prodotto. Quindi, per far fronte alle problematiche di deriva e per limitare le perdite di input, lo sviluppo della meccanizzazione e della tecnologia nel corso degli anni ha permesso di migliorare l'efficienza delle attrezzature, attraverso l'introduzione di sensoristica, partendo dagli atomizzatori standard fino ad arrivare a quelli con sistema di controllo LiDAR.

I primi sistemi di distribuzione per colture arboree, ormai ampiamente superati, erano quelli costituiti da due barre verticali porta ugelli. Tali sistemi creavano gocce di dimensioni molto grandi causando un'eccessiva perdita per lisciviazione del prodotto distribuito.

In sostituzione, sono stati introdotti atomizzatori con ventilatore assiale e con ugelli antideriva, i sistemi più diffusi ai nostri giorni, che possono essere disposti a semicerchio o su una o due barre verticali, in questo modo si è ridotta la dimensione della goccia ma rimane la notevole perdita di prodotto a causa della deriva, soprattutto su colture a siepe con vegetazioni poco sviluppate.

Ulteriore macchina è il polverizzatore che ha le stesse componenti dell'atomizzatore quindi: telaio, serbatoio, sistema di ricircolo ma differiscono nella pompa che in questi è a bassa pressione e nel sistema di diffusione perché non ci sono ugelli veri e proprio ma diffusori meccanici. I nebulizzatori permettono di fare trattamenti a basso volume ed i diffusori possono avere due lobi ad uscita multipla; questi ultimi presentano più bocchigli che possono essere regolati in più direzioni.

Per fronteggiare il problema deriva, sono state anche sviluppate e messe in commercio irroratrici a tunnel o a recupero (utilizzate su coltivazioni a spalliera e principalmente su vite) che sono formate da due pareti contrapposte piane in cui sono montati gli ugelli e, a coprire l'altra parete, da una griglia che permette di intercettare le gocce che non si depositano sulla vegetazione; in questo modo si ha un notevole risparmio di prodotto perché viene appunto recuperato e riutilizzato.

Problematiche di queste macchine sono:

- L'ingombro dato che possono avere dalle quattro alle otto pareti (2-4 filari), pertanto necessitano di ampie capezzagne per agevolare le manovre. Risultano quindi poco pratiche per impianti collinari;
- L'elevato costo d'acquisto le rende accessibili solo a chi ha buone capacità economiche.

Di ultima generazione sono le macchine con sistemi ad ultrasuoni nella quale la gestione della distribuzione è svolta da sensori a ultrasuoni che trasmettono onde sonore verso la vegetazione per rilevare sia la distanza tra il sensore e la coltura sia il volume delle chiome. In questa tipologia, gli ultimi dispositivi applicati a macchine irroratrici sono sensori LiDAR (*Light Detection And Ranging*) che con un laser inviano impulsi luminosi alla vegetazione e mediante un detector rilevano i ritorni degli impulsi dopo la loro riflessione sull'obiettivo. Questo sistema riesce a rilevare la distanza tra il sensore e il bersaglio e le informazioni registrate vengono utilizzate inviate all'elettrovalvole per aprire e chiudere gli ugelli in presenza o in assenza di vegetazione (distribuzione on/off) oppure per regolare il volume distribuito in funzione della dimensione delle chiome stesse (*variable rate distribution*).

Il presente lavoro di tesi si inserisce nell'ambito di un progetto che ha l'obiettivo di sviluppare e mettere a punto un kit LiDAR per l'aggiornamento di macchine operatrici a frammentazione meccanica e trasporto pneumatico per trattamenti fogliari in vigneto con controllo di distribuzione di tipo on/off.

L'agricoltura di precisione in vigneto è già una realtà per molte operazioni colturali.

Il settore vitivinicolo sia in Italia che in Europa, ricopre una notevole importanza di mercato, è molto redditizio ma allo stesso tempo ha un notevole impatto ambientale. La viticoltura, sebbene rappresenti solamente il 3% della superficie agricola europea, utilizza il 65% di tutti i fungicidi impiegati in agricoltura, ovvero 68 mila tonnellate/anno (Assoenologi 2020). Considerando che la deriva incide al 50%, i sistemi che controllano la deposizione della miscela sono molto importanti e tra le soluzioni è la distribuzione di precisione.

Quelli appena elencati sono i principali motivi e il contesto che hanno mosso l'attività specifica di tesi all'interno di un progetto di ricerca più ampio che coinvolge anche gruppi di ricerca in viticoltura, patologia, entomologia e molti altri.

Il sistema LiDAR utilizzato per lo studio di questa tesi è la parte principale di un kit, che, in quanto tale, può essere spostato e regolato su macchine diverse. Lo sviluppo della prima versione è avvenuto (Tiffi Magi) su un atomizzatore di nuova generazione, con barre porta ugelli verticali, parallele e perfettamente allineate sul piano orizzontale, direzionato lungo la direzione di avanzamento.

Nella versione studiata nel presente lavoro di tesi, invece, il kit è stato modificato rispetto alla versione precedente e montato su una macchina più datata, già presente in azienda, dotato di barre porta ugelli verticali sfalsate rispetto al senso di avanzamento. In particolare, nel lavoro di tesi sono state analizzate le caratteristiche di distribuzione del nuovo kit utilizzando cartine idrosensibili.

## INTRODUZIONE

### DISTRIBUZIONE DEI FITOFARMACI IN VIGNETO

#### *Il controllo fitosanitario delle colture arboree*

Il controllo fitosanitario permette di proteggere le colture dagli attacchi di parassiti e patogeni con trattamenti preventivi e/o curativi che possono essere svolti sia in agricoltura convenzionale che biologica pur rispettando sempre le normative imposte a livello comunitario. Le distribuzioni dei fitofarmaci sono quindi operazioni colturali quasi indispensabili, perché permettono di limitare le perdite colturali che, però, possono creare problemi ambientali a causa della deriva di prodotto fitosanitario data dal vento, dalla lisciviazione nel suolo, con pericolo di inquinamento del suolo e delle falde. Oltre a creare problemi ambientali, la deriva comporta perdite economiche “fisiologiche” perché il prodotto, non raggiungendo il target, non contribuisce al controllo dei patogeni. Buona norma per ridurre il più possibile le perdite di prodotto è quella di utilizzare macchine tarate e di direzionare gli ugelli solo sulla vegetazione chiudendo l’irroratore quando si esce dai filari o in prossimità di ampie fallanze.

Dati i loro effetti potenzialmente dannosi per la salute umana o l'ambiente, nell'UE i pesticidi sono soggetti a rigorose norme, sancite dal regolamento (CE) n. 1107/20091 (di seguito "regolamento sui prodotti fitosanitari") e dal regolamento (CE) n. 396/20052 (di seguito "regolamento LMR").

Gli obiettivi dei citati regolamenti sono di:

- assicurare un elevato livello di protezione della salute umana e animale e dell'ambiente,
- migliorare il funzionamento del mercato interno,
- stimolare la produzione agricola nell'UE
- facilitare il commercio internazionale.

(RELAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO E AL CONSIGLIO Valutazione del regolamento (CE) n. 1107/2009 relativo all'immissione sul

mercato dei prodotti fitosanitari e del regolamento (CE) n. 396/2005 concernente i livelli massimi di residui di antiparassitari).

Inoltre, per poter limitare problematiche ambientali, a partire dal 26 novembre 2015 è stato introdotto il patentino fitosanitario che permette solo a chi ne è in possesso di poter acquistare e utilizzare i fitofarmaci.

### ***Macchine e dispositivi attualmente esistenti***

Con il progresso della meccanica e della tecnologia, negli anni sono state sviluppate e commercializzate macchine e dispositivi sempre più performanti atti alla distribuzione di antiparassitari. I nuovi dispositivi, come i kit LiDAR o SONAR, possono essere adattati ai vecchi macchinari, evitando di sostituire l'intera macchina. Di seguito si riportano le descrizioni per i principali sistemi/macchinari (ordinari e innovativi) utilizzabili.

#### *Sistemi a controllo fisico*

In questo gruppo troviamo dispositivi e macchinari che riducono la deriva grazie a metodi fisici. Ad esempio, gli ugelli anti deriva che possono essere applicati agli atomizzatori a polverizzazione meccanica e agli atomizzatori a recupero di prodotto.

- Gli ugelli anti-deriva possono essere classificati in due categorie principali. Quelli appartenenti alla prima categoria hanno un pre-orifizio posto all'interno del corpo dell'ugello che rallenta il prodotto in uscita portando a una riduzione della pressione del liquido, creando così delle gocce di diametro maggiore. La seconda categoria è composta dagli ugelli anti deriva a inclusione d'aria i quali presentano un foro a lato dell'ugello che grazie all'effetto Venturi, aspira aria e la miscela con il liquido in uscita ottenendo delle gocce più grandi. Avere delle gocce con diametro maggiore, permette di ridurre la deriva aumentando l'inerzia delle gocce stesse che rimangono meno tempo in sospensione nell'aria, allo stesso tempo, purtroppo, si ha una distribuzione del prodotto meno omogenea rispetto all'uso di ugelli standard. Gli ugelli permettono di ridurre l'effetto deriva ma richiedono accuratezza nelle scelte nelle operazioni colturali, inoltre, un'adeguata pulizia sia dei filtri che degli ugelli stessi.
- Le irroratrici a tunnel e a riciclo per frutteti e vigneti sono da tempo riconosciute come uno strumento importante per ridurre notevolmente sia la contaminazione del suolo per ruscellamento che la deriva aerea (Backer & Ruhling, 1991) (Siegfried

& Raisigl, 1991). Sono macchine costituite da due pareti che permettono di richiudere la parete vegetale e di intercettare e recuperare la nube di gocce che non si deposita sulla vegetazione. Il prodotto viene recuperato grazie a strutture grigliate poste sul pannello, qui le gocce condensano e il fluido derivante sarà prima raccolto in un pozzetto e successivamente filtrato e riutilizzato.

Esse macchine trainate con serbatoio che hanno una portata variabile dai 500 ai 3000 litri; quindi, anche ingombranti, e sono più indicate per appezzamenti estesi, regolari e privi di ostacoli. Queste irroratrici sono in grado di recuperare e riciclare la maggior parte della frazione irrorata che non è stata trattenuta dalla chioma, rendendo possibile un controllo efficiente dei parassiti anche a tassi di dose di fitofarmaco ridotta (dal 50% e 70%, nelle prime fasi di crescita della coltura; o, 15% e 30% a pieno sviluppo del fogliame) (Siegfried & Hollinger, 1996) (Doruchowski & Holownicki, 2000). L'importanza ambientale ed economica di un ridotto consumo di prodotti fitosanitari viene ulteriormente enfatizzata in climi piovosi come quello dell'Italia nord-orientale, dove da 15 a 20 applicazioni all'anno sono una pratica comune, e il costo dei fitofarmaci può variare da 40 a 70 euro/ha per applicazione. Nonostante questi vantaggi, il numero di irroratrici a tunnel nelle aziende viticole italiane è ancora molto ridotto, a causa del costo elevato della macchina, della minore capacità di lavoro, della necessità di fare frequenti soste per la pulizia del sistema di filtrazione delle impurità, della difficile manovrabilità rispetto alle irroratrici convenzionali e della difficoltà nel distribuire omogeneamente il prodotto anche nella parte interna della vegetazione, soprattutto per le varietà più vigorose (Pergher, et al., 2013).

### *Sistemi a ultrasuoni*

Questi sono sistemi che permettono di rilevare la presenza di vegetazione e di bloccare la distribuzione quando si presentano delle fallanze. Il lavoro è svolto da sensori a ultrasuoni che rilevano la presenza di oggetti attraverso onde sonore. La rilevazione avviene misurando il tempo che intercorre tra l'emissione dell'onda e la sua ricezione da parte di un rilevatore. Conoscendo le velocità di propagazione del suono, il sistema emettitore/rilevatore può sfruttare il tempo misurato per determinare la distanza dell'oggetto (pianta).

Il segnale proveniente dai sensori, insieme ai dati sulla velocità di avanzamento delle macchine e la distanza costante tra i sensori e gli ugelli, vengono utilizzati da un algoritmo ottimizzato per aprire e chiudere gli ugelli individualmente (Doruchowski & Holownicki, 2000) o, in alcune soluzioni commerciali, aprire e chiudere intere sezioni di barra.

Per evitare che ci siano interferenze i sensori vengono posizionati anche a diverse altezze al lato del serbatoio per dare maggiori informazioni sullo stato di sviluppo fogliare, inoltre è bene optare per sensori con elevati raggio e forza, per avere migliore precisione durante il trattamento. Nelle prove svolte da Gils nel 2007 con una macchina irroratrice dotata di due serie di sensori a ultrasuoni e in grado di adattare la dose erogata istantaneamente sulla base del volume di chioma misurato, si sono ottenuti risparmi di prodotto del 57%. Lo stesso gruppo di ricerca di Barcellona ha testato un sistema simile su diverse varietà anche allo scopo di valutarne l'efficienza in diverse epoche fenologiche e su chiome formate da foglie di diversa forma e dimensione. I risultati hanno fatto registrare risparmi di prodotto variabili tra il 40 e il 77%. Inoltre, è stata verificata una maggiore uniformità nella distribuzione fogliare del prodotto e una maggiore quantità di prodotto intercettato dalle foglie rispetto a quello erogato. (<https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-agrofarmaci-difesa/virtuose-e-intelligenti-le-irroratrici-del-futuro/>)

### *Sistemi LiDAR*

I sistemi LiDAR (*Light Detection And Ranging*) sono stati sviluppati per risolvere le problematiche riscontrate con i sistemi a ultrasuoni. Il LiDAR si basa sull'utilizzo della radiazione nel dominio ottico; il dispositivo base è formato da un laser (diodo) che emette impulsi luminosi spesso nel campo infrarosso verso la superficie della vegetazione e grazie a un detector rileva i ritorni degli impulsi dopo la loro riflessione sul bersaglio. Il sistema rileva con precisione la distanza tra il sensore e il bersaglio sulla base della velocità della luce, registrando il tempo (espresso in nanosecondi) impiegato dall'impulso luminoso per andare e tornare dalla vegetazione.

Dopo l'acquisizione delle informazioni sulla distanza, il sistema di controllo della distribuzione invia l'impulso alle elettrovalvole per chiudere gli ugelli in caso di mancanza di vegetazione (nel caso di controllo on/off) oppure di variare la dose applicata in relazione al volume della chioma (nel caso di controllo a rateo variabile).

Questi sistemi di controllo sono sviluppati principalmente per colture in parete come la vite; inoltre, molto spesso, sono collegati ai GPS al fine di ottenere informazioni sull'altezza e sulla struttura della vegetazione in 3D.

I primi LiDAR, (come anche i modelli di fascia economica presenti oggi sul mercato) sono dispositivi 2D che riescono ad individuare la posizione di un punto in uno spazio piano. Qualora posti su dispositivi in movimento, la sovrapposizione e l'unione dei diversi punti individuati permette di costruire tridimensionalmente la nuvola di punti rilevata.

Ad oggi vi è un rapido progresso in diverse tecnologie avanzate di LiDAR, quali ad esempio i LiDAR full waveform, i quali invece dei singoli punti, ricevono il segnale da ritorni multipli, permettendo una miglior ricostruzione del passaggio attraverso la copertura vegetale; questi dispositivi sono tuttavia applicati quasi esclusivamente al settore forestale e del telerilevamento.

Un'altra innovazione è quella dei LiDAR multi- o iper-spetttrali in cui per ogni punto della nuvola 3D sono fornite informazioni spettrali (Matese, et al., 2016).

Attualmente questa tipologia, a causa dell'elevato costo e della difficoltà nel mettere a punto i dati, è utilizzata principalmente nel campo della ricerca ma grazie al progressivo sviluppo avuto negli anni ed ai vantaggi ottenuti rispetto agli altri sistemi, i costi sono in netto calo in modo tale da ottenere un prodotto più accessibile.

# Capitolo 1

## MATERIALI E METODI

Lo studio ha permesso di mettere a punto un sistema per la valutazione della distribuzione di miscele fitosanitarie distribuite da atomizzatori e, precisamente, di verificare le caratteristiche di lavoro del cantiere che effettua trattamenti in vigneto.

Nel caso studiato, la macchina presenta dei sensori che controllano l'apertura e la chiusura di ogni singolo ugello situato sulla barra irroratrice, a seconda della presenza o dell'assenza di vegetazione.

Il sistema progettato è stato testato per verificare la qualità del lavoro con e senza l'attivazione del sensore.

### 1.1 Caso di studio

Per la prova è stato impiegato un atomizzatore trainato monoasse, senza ruote sterzanti, con frammentazione meccanica e trasporto pneumatico.

Prodotta dalla ditta Favaro modello Holder OVS 25, è una macchina composta da:

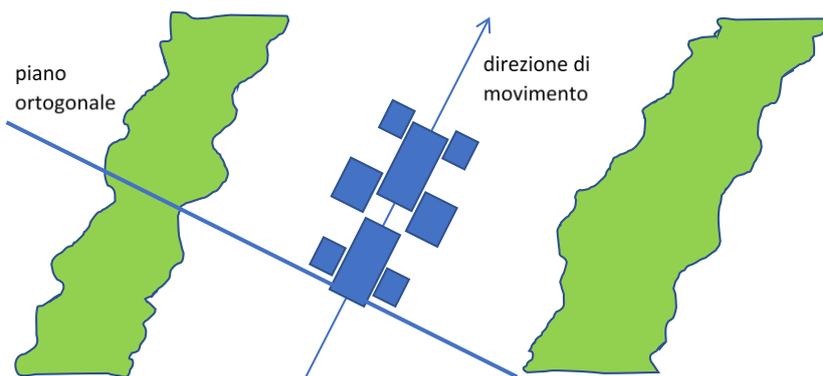
- un serbatoio con volume di 600 litri;
- un sistema di trasporto pneumatico a doppia ventola;
- una centralina elettronica a due settori che regola gli ugelli antideriva.

I trattori da cui è trainata sono, indifferentemente, un *Claas nexos 240* e un *Landini Rex 100*.

Il cantiere presenta un sistema di acquisizione dati formato da sensori installati su un'asta verticale posta nella parte anteriore della botte, sopra al gruppo di valvole di comando.

Il sensore LiDAR (SLAMTEC: RPLIDAR A3): è stato scelto per il costo contenuto e per la frequenza di acquisizione dati (10 kHz) che permette di definire gli oggetti, vegetazione e pali o fallanze, lungo la vegetazione con dimensioni lineari comprese tra i 10-15 cm.

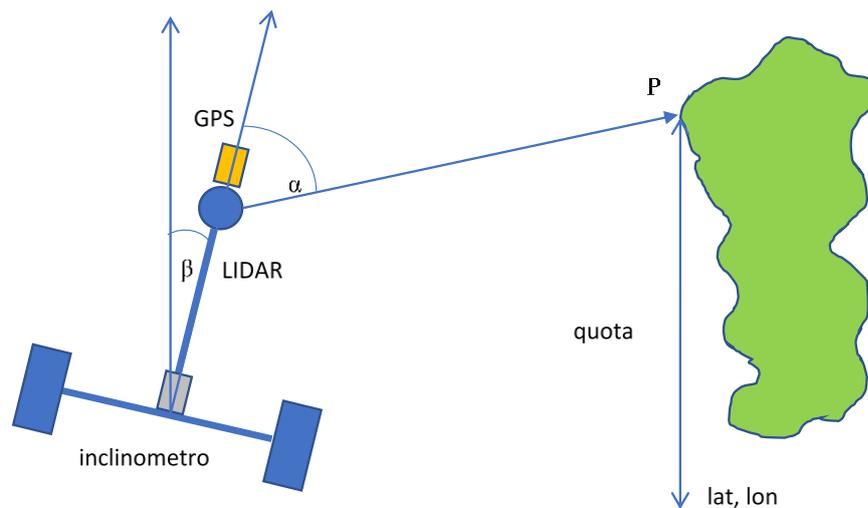
Lo strumento utilizzato è un LiDAR di tipo 2D con un angolo d'impronta di 360° che determina contemporaneamente la struttura di due metà di filare contrapposte (Figura 2-1).



**Figura 2-1: Piano di acquisizione dati del LiDAR**

Esso è così composto:

- Antenna GPS (*Ag Leader GPS 1500*): questa tipologia di ricevitore si collega ad almeno quattro satelliti presenti in orbita ed usa le informazioni da loro fornite, a seguito di una correzione differenziale operata da una rete di satelliti e basi terrestri (in Europa EGNOS), per calcolare la posizione con un errore massimo di  $\pm 1\text{m}$ . Ciò consente la georeferenziazione del cantiere e fornisce il dato di posizione tridimensionale dei punti determinati dal LiDAR (le coordinate tridimensionali sono date dal LiDAR: 2 coordinate sul piano verticale delle chiome; e una coordinata longitudinale alla contropalliera data dal GPS). L'antenna è posta sul punto più alto della barra in modo tale da evitare che la vegetazione vada a schermare il segnale ricevuto.
- Dispositivo di misura inerziale (IMU) a tre assi (*WIT MPU6050 3-Axis*): dispositivo elettronico che attraverso una combinazione di giroscopi e magnetometri rileva i movimenti rotazionali sugli assi xyz e le accelerazioni a cui un corpo viene sottoposto. Permette di determinare gli errori di posizionamento del LiDAR (inclinazione) che inevitabilmente si creano quando si lavora su superfici irregolari come possono essere i fondi coltivati o come la maggior parte degli interfilari che sono lavorati (Figura 2-2). Il suo utilizzo viene più volte consigliato in letteratura scientifica per aumentare l'accuratezza delle misurazioni (Cortiella, et al., 2011) (Escolà, et al., 2017), è stata utilizzata da Tsoulas et al. nella costruzione di un sistema LiDAR trasportato da un trattore, utilizzato per stimare i parametri vegetativi della chioma degli alberi (Tsoulas, et al., 2019).



**Figura 0-2: Schema di funzionamento del dispositivo di misura inerziale**

I sensori sono collegati, attraverso un sistema di cavi, ad una scheda elettronica (*RaspberryPi B+*) programmata con un software sviluppato dalla ISELQUI TECHNOLOGY (partner tecnologico per lo sviluppo del kit), che permette di gestire in tempo reale i dati acquisiti dai sensori coordinati temporalmente da un clock interno e il salvataggio degli stessi in una chiavetta USB. La scheda ha un'interfaccia Wi-Fi che permette di copiare i dati sviluppati senza dover rimuovere la chiavetta USB dal suo portale.

Il sistema, quindi, permette di rilevare le eventuali fallanze e/o buchi nella vegetazione e l'attivazione di chiusura e di apertura di ogni singolo ugello in corrispondenza delle fallanze; il tutto avviene grazie ad una scheda controllore comandata dalla scheda Raspberry che, a sua volta, controlla le elettrovalvole. Ogni elettrovalvola regola l'apertura di un ugello ed in questo modo ogni ugello è indipendente dall'altro (Figura 2-3, 2-4).



*Figura 2-3: Macchina operatrice utilizzata*



*Figura 2-4: Sistema LiDAR*

### **1.1.2 Rilievi in campo**

I rilievi sono stati svolti nei mesi di luglio e ottobre 2022 nel vigneto “Conti Leopardi” situato in località Coppo nel comune di Sirolo (coordinate GPS:43.502011, 13.593826).

Il vigneto, con giacitura collinare, è posto sul versante esposto a Sud-Ovest.

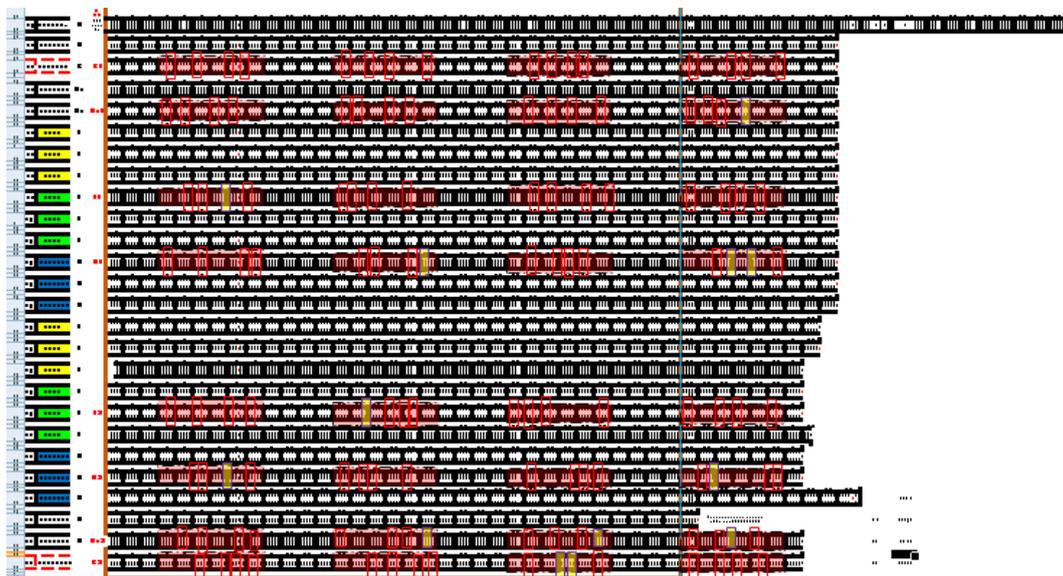
Per svolgere le prove, dall'intero appezzamento sono stati scelti 26 filari e suddivisi per colori a seconda della tipologia di macchina utilizzata. (Figura 2-5)

Più precisamente:

- 6 filari per la macchina a recupero (colore bianco)
- 6 filari con controllo a ultrasuoni (colore giallo)
- 6 filari a controllo LiDAR (colore verde)
- 6 filari a controllo standard (colore blu)
- 2 filari di controllo, non trattati.

La prova del 7 luglio 2022 è stata condotta per valutare la corretta funzionalità del kit LiDAR sull'atomizzatore Holder OVS 25 utilizzato nei successivi rilievi, questo perché il kit era in precedenza installato su un atomizzatore SAE Defender Turbomatic 91 DP/1500.

I due rilievi effettuati il 21 ottobre sono stati condotti utilizzando solo acqua: la prima distribuzione per poter osservare il funzionamento delle differenti macchine (atomizzatore con controllo lidar, atomizzatore in versione standard e macchina a recupero) in termini di volume di miscela distribuita (prova in bianco); la seconda distribuzione per valutare le differenze tra il trattamento con atomizzatore in versione standard e atomizzatore con controllo LiDAR attivato (prova di deposizione).



*Figura 2-5: Suddivisione dei filari*



*Figura 2-6: Visione aerea vigneto*

## **1.2 Verifica della distribuzione durante il trattamento**

L'obiettivo dello studio è quello di verificare il funzionamento degli strumenti di regolazione del flusso di distribuzione del trattamento fitosanitario, più precisamente la macchina deve interrompere la distribuzione nei punti in cui riscontra delle fallanze lungo il filare e alla fine di esso. L'atomizzatore eroga il prodotto alle pareti poste alla sua destra e alla sua sinistra.

Durante la prova in bianco, svolta in parità di condizioni in modo tale da valutare la quantità di prodotto distribuito, sono state selezionate le file 1-20 partendo da quelle a recupero fino a quelle LiDAR.

In questa prova sono state utilizzate le due macchine, ossia quella a recupero e l'atomizzatore classico con kit LiDAR, sia acceso che spento.

Il trattamento è continuato fino a completo esaurimento di liquido nei serbatoi delle macchine, e la superficie trattata con un carico è stata definita misurando i metri di filare trattato.

Nella prova di deposizione, per valutare il trattamento effettuato, sono state usate delle cartine idrosensibili (ditta Syngenta), che si colorano quando vengono colpite dalle gocce d'acqua, fissate su strisce portate da cornici (Figure 2-7). Ciò permette di verificare il livello e la qualità della bagnatura nelle zone di vegetazioni e di vuoto.

Al termine di ogni trattamento le cartine vengono lasciate asciugare, poi staccate dalle strisce e poste in ordine in provette tipo "falcon".

Le operazioni di messa in opera, distacco e ricovero delle cartine sono state svolte indossando guanti in lattice per evitare di macchiare le cartine stesse.

Per effettuare il test, in ogni blocco in cui è stato suddiviso il filare sono state agganciate 20 cornici ai fili e di seguito graffate le cartine alle strisce di supporto (Figura 2-7); quest'operazione è stata svolta più volte dato il confronto tra due macchine, in modo tale da valutare le differenze sia tra le cartine poste nella vegetazione sia tra quelle nelle fallanze. Si è proceduto in maniera casuale nella scelta di quali pieni e vuoti utilizzare di ogni blocco. Per distinguere a quale blocco e a quale prova appartenesse ogni cartina, ognuna di essa è stata inizialmente identificata con un codice posto sul retro, in modo tale da evitare eventuali confusioni nelle successive analisi.

Il trattamento effettuato ad ottobre era solamente a base di acqua, perché in quel periodo il vigneto presentava meno vegetazione e la vendemmia era già stata svolta; inoltre, il principale scopo era quello di valutare le differenze tra il sistema standard e il sistema LiDAR.

Raccolte tutte le cartine, in laboratorio si è poi proseguito con l'elaborazione dei dati.



*Figura 2-7: cornici con cartine pre e post trattamento*

### **1.3 Preparazione cartine ed acquisizione dei dati**

Il primo passaggio è stato quello di ottenere l'immagine digitale di ogni cartina con una fotocamera posizionata su un cavalletto in modo da avere un'altezza costante.

Le cartine per essere fotografate sono state posizionate su una superficie a fondo nero e mantenute in posizione da due viti poste ai lati. Le immagini sono state acquisite in .jpg poi ritagliate a dimensione vettoriale in modo tale da eliminare parti superflue all'acquisizione, come i margini e le ombre, dando così un valore di luminosità uguale per ciascuna cartina. Questo è stato effettuato mediante il software, Inkscape il quale ha permesso di salvare i file in .dxf in modo tale da facilitare il passaggio di dati al programma successivo, ossia Qgis. In quest'ultimo software i file .dxf sono stati modificati in formato .shp permettendo il calcolo vettoriale; ciò è stato applicato con l'algoritmo di Qgis situato nella barra degli strumenti (strumenti di geometria → da linee a poligoni) che ha permesso di convertire ogni file vettoriale in file poligonale, ricavando così l'area ed il numero di poligoni occupanti ogni cartina. Al termine del procedimento svolto, i dati ricavati (l'area di ogni singola cartina, il numero di poligoni presenti e le loro rispettive aree) sono stati poi trasferiti sul foglio di calcolo Microsoft Excel per poter svolgere la successiva analisi statistica.

#### **1.4 Analisi statistica**

I dati raccolti mediante Qgis sono stati in seguito utilizzati per svolgere l'analisi statistica, attraverso test Anova ad una via utilizzando il software Minitab v.16.

Per valutare la distribuzione del prodotto irrorato è stata utilizzata la percentuale di copertura di ogni singola cartina (ricavata dividendo l'area degli impatti per l'area della cartina); essendo un valore adimensionale non è influenzato dalle inevitabili trasformazioni dimensionali, seppur ridotte, dovute all'utilizzo del software Qgis.

Il test Anova è stato utilizzato su due fattori di confronto: i blocchi (1,2,3) e i trattamenti (S, L, LV, SV)\*. Accoppiato a questo test è presente un test per la separazione dei gruppi (Tukey Test) che va ad applicare una lettera di significatività (A, B, C) ad ogni gruppo diverso; la presenza di gruppi che condividono la stessa lettera ci indica che questi non sono statisticamente distinti tra di loro.

Ciascun rilievo è stato suddiviso in tre blocchi e in ognuno sono state confrontate le percentuali di copertura di due trattamenti alla volta, nel seguente modo:

- Confronto tra pieno del LiDAR (L) e pieno dello Standard (S)
- Confronto tra vuoti del LiDAR (LV) e vuoti dello Standard (SV)
- Confronto tra pieno del LiDAR (L) e vuoti del LiDAR (VL)

\*L: LiDAR pieno/ S: Standard pieno/ LV: LiDAR vuoto / SV: Standard vuoto

## Capitolo 2

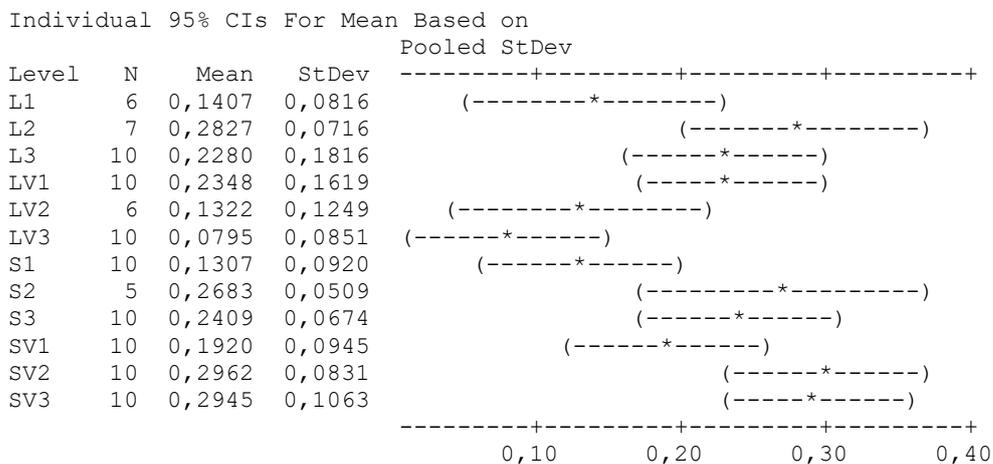
### RISULTATI

Come descritto già da altri studi (Tiffi Magi, 2021), l'acquisizione dei dati in campo e l'analisi dei dati digitalizzati permette di ottenere per ogni cartina delle informazioni relative alle caratteristiche della distribuzione della miscela e, in particolare, la percentuale di superficie coperta. I primi risultati derivanti dall'analisi delle cartine idrosensibili consistono nei valori di copertura relativi ad ogni singola cartina suddivisa in trattamenti e blocchi. Tali risultati analizzati statisticamente attraverso il test Anova con Tukey test hanno prodotto i report che vengono di seguito trascritti.

#### One-way ANOVA: COPERTURA versus blocchi

Source	DF	SS	MS	F	P
blocchi	11	0,5202	0,0473	3,91	0,000
Error92	1,1116	0,0121			
Total	103	1,6319			

S = 0,1099    R-Sq = 31,88%    R-Sq(adj) = 23,74%



Pooled StDev = 0,1099

#### Grouping Information Using Tukey Method

blocchi	N	Mean	Grouping
SV2	10	0,2962	A
SV3	10	0,2945	A B
L2	7	0,2827	A B
S2	5	0,2683	A B C
S3	10	0,2409	A B C

LV1	10	0,2348	A B C
L3	10	0,2280	A B C
SV1	10	0,1920	A B C
L1	6	0,1407	A B C
LV2	6	0,1322	A B C
S1	10	0,1307	B C
LV3	10	0,0795	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals  
All Pairwise Comparisons among Levels of blocchi

Individual confidence level = 99,88%

---

### One-way ANOVA: COPERTURA versus Tesi

Source	DF	SS	MS	F	P
Tesi3	0,1717	0,0572	3,92	0,011	
Error	100	1,4602	0,0146		
Total	103	1,6319			

S = 0,1208    R-Sq = 10,52%    R-Sq(adj) = 7,84%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
L	23	0,2218	0,1392	-----+-----+-----+-----+-----+----- (-----*-----)
LV	26	0,1514	0,1418	(-----*-----)
S	25	0,2023	0,0947	(-----*-----)
SV	30	0,2609	0,1043	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----+-----  
0,120      0,180      0,240      0,300

Pooled StDev = 0,1208

Grouping Information Using Tukey Method

Tesi	N	Mean	Grouping
SV	30	0,2609	A
L	23	0,2218	A B
S	25	0,2023	A B
LV	26	0,1514	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals  
All Pairwise Comparisons among Levels of Tesi

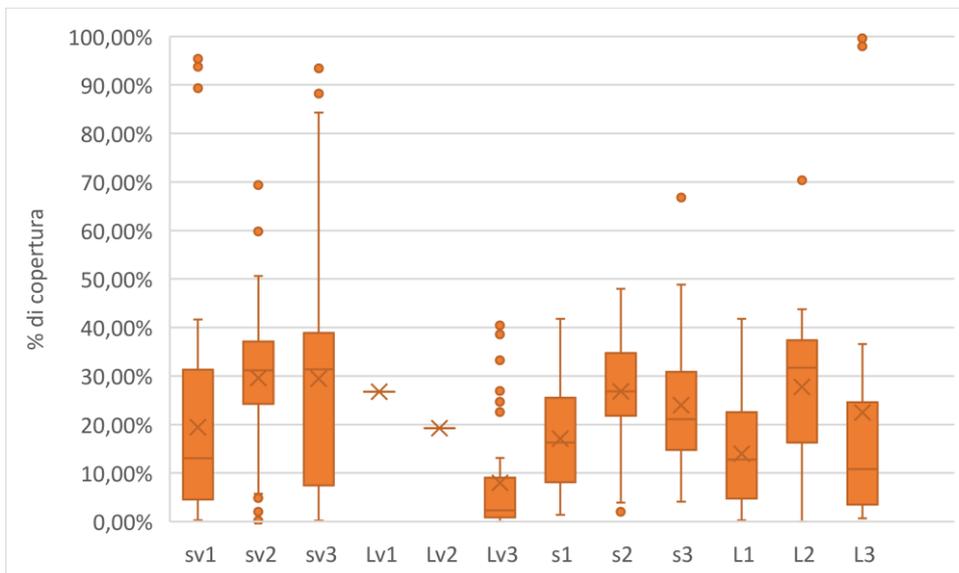
Individual confidence level = 98,97%

	L1	L2	L3	LV1	LV2	LV3	S1	S2	S3	SV1	SV2	SV3
<b>media</b>	0,14	0,28	0,22	0,23	0,13	0,08	0,13	0,26	0,24	0,19	0,29	0,29
	ABC	AB	ABC	ABC	ABC	C	BC	ABC	ABC	ABC	A	AB
<b>Dev stand</b>	0,08	0,07	0,18	0,16	0,12	0,08	0,09	0,05	0,07	0,09	0,08	0,10

**Tabella 2-1: Copertura blocchi**

Dal test Anova i dati relativi alla copertura delle cartine sono stati poi trascritti in tabella 2-1 così da poter osservare le deviazioni standard e le medie di distribuzione contrassegnate dalle lettere di significatività (A, B, C); i gruppi che presentano le stesse lettere hanno somiglianza statistica.

A confermare la bontà del test statistico si noti il valore di P che nell'analisi tra blocchi è dello 0% mentre nell'analisi tra tesi è di 1,1% con valori di intervallo di confidenza rispettivamente di 99.88% e 98.97%.



**Tabella 2-2: Grafico % copertura nei blocchi**

Anche se i test Anova e Tukey risultano già abbastanza esplicativi non sono completamente esaustivi: a tal proposito si riporta una rappresentazione delle singole osservazioni (cartine) nel box-plot precedente (tabella 2-2).

Tale grafico rappresenta la percentuale di copertura nei blocchi; la rappresentazione è caratterizzata da 5 elementi.

- Le linee orizzontali contenute nei rettangoli rappresentano il valore di mediana del campione, che può essere centrale, nel caso di distribuzione omogenea dei valori campionari, o spostato verso valori più bassi o più alti, nel caso di distribuzione non gaussiana (come nella maggior parte dei gruppi analizzati nella presente tesi).
- Le croci rappresentano il valore medio campionario (il medesimo riportato in tabella 2-1) che in alcuni casi può corrispondere, o avvicinarsi, alla mediana oppure esserne decisamente distinto.
- I blocchi rettangolari rappresentano i margini del 25° quartile (inferiore) e del 75° quartile (superiore) dei campioni considerati; la distanza tra i due lati corti dei rettangoli viene definita distanza interquartile.
- Le linee sottili uscenti dalle aree rettangolari sono le probabili distribuzioni della variabilità di popolazione che viene definita considerando come valori limite un intervallo corrispondente a 1.5 volte la distanza interquartile.
- I punti esterni a tutti gli elementi fino ad ora descritti sono definiti *outlier*, ovvero valori campionari che si discostano in maniera anomala dalla normale variabilità campionaria. I punti LV1 e LV2 hanno bassa variabilità perché è ridotto il quantitativo delle cartine convertite da immagine a dato vettoriale, a causa dei problemi originati dalla luminosità delle cartine durante l'acquisizione; quindi, vengono raffigurate solamente le media di esse e non i box-plot.

## Capitolo 3

### DISCUSSIONI

La prima prova svolta (prova in bianco), testata su 6 filari e confrontando macchine a recupero, a controllo LiDAR e Standard, ha fatto registrare per la macchina a recupero un volume distribuito di 205 litri di miscela, per l'atomizzatore con controllo LiDAR attivo un volume di 400 litri di fitofarmaco, mentre per il controllo standard sono stati distribuiti 525 litri, all'incirca 125 litri in più del LiDAR.

Per quanto riguarda la prova di deposizione, a causa di un malfunzionamento, la macchina a recupero non è stata testata, anche se ciò era stato inizialmente pianificato; quindi, il confronto analizzato nella tesi è quello tra lo standard e il LiDAR.

Inoltre, lavorando con un atomizzatore come l'Holder OVS 25 che ha le semibarre degli ugelli sfalsate, si riscontrano ritardi nella normale apertura e chiusura delle sezioni. Questo avviene perché il kit gestisce le semibarre in sincronia e non singolarmente, generando così possibili anomalie nel corretto svolgimento del lavoro.

Il possibile malfunzionamento è direttamente derivato dal fatto che il kit LiDAR è stato allestito su un atomizzatore con barre su un solo piano verticale e poi riadattato all'atomizzatore utilizzato nello studio.

Sebbene la parzializzazione dei dati del sistema sulle due diverse facciate della controspalliera sia tecnicamente possibile, si è scelto di regolare la tempistica di apertura su una delle due semibarre lasciando la seconda in ritardo o in anticipo a seconda del caso.

Tale scelta è obbligata in quanto la natura "low cost" del processore non garantisce la capacità di calcolo sufficiente e gestire due set di dati in parallelo.

Come spiegato nei capitoli precedenti, le cartine sono state successivamente sottoposte ad analisi per poter valutare le differenti coperture tra standard e LiDAR; durante questo lavoro si sono riscontrati alcuni problemi nell'acquisizione delle immagini vettoriali e nel successivo tracciamento dei poligoni. Questo è dovuto principalmente alla luminosità dell'immagine della cartina, che ha impedito, in alcuni casi, di ottenere una figura vettoriale ampia ed uniforme. Tale problematica si è potuta risolvere aumentando la soglia di luminosità nel programma utilizzato per l'ottenimento dei vettoriali (Inkscape).

Ottenute le percentuali di copertura di ogni cartina, come riportato in precedenza, si è proseguito con l'analisi statistica e dei gruppi.

- Dal confronto tra le piante campione del LiDAR (L) e quelle dello Standard (S), si nota che le differenze nei risultati non sono significative: questo ha portato ad avere percentuali di copertura simili (22% L e 20% S).

Ciò fa capire che il sistema LiDAR funziona allo stesso modo dello Standard.

Dal punto di vista operativo, quindi, il controllo delle varie patologie operato dalla distribuzione convenzionale viene perfettamente replicato dalla distribuzione mediata da LiDAR, anche se ciò dovrà necessariamente essere confermato da prove specifiche su vigneto attraverso ulteriori studi.

- Con il confronto tra i vuoti LiDAR (LV) e quelli dello Standard (SV) si osserva una maggiore significatività sul trattamento e sui blocchi.

Questo vuol dire che il sistema LiDAR ha avuto un buon funzionamento (15% LV e 26% SV). La sostanziale differenza tra LV e SV, con valori di copertura inferiori nel primo caso, dimostra l'efficacia del kit nel ridurre la distribuzione fuori target.

Ciò è confermato, in termini qualitativi dalla percentuale di copertura inferiore per le fallanze del LiDAR e in termini quantitativi dai volumi inferiori distribuiti per lo stesso trattamento nella prova in bianco.

- Confrontando le piante campione e i vuoti all'interno del trattamento LiDAR (L e LV) si nota una maggiore differenza di trattamento sul totale rispetto all'interno di ogni blocco. Inoltre, all'interno del blocco 1 si può osservare una somiglianza tra pianta e vuoto: questo è dovuto al fatto che trovandosi nel punto di partenza del trattamento, c'è una ridotta velocità di avanzamento che porta ad avere maggior errore di localizzazione dato dal GPS. Il fenomeno comporta un incremento della casualità di distribuzione che interessa indistintamente le piante target e le fallanze. Tale fenomeno è confermato dal fatto che nei trattamenti S e SV si riscontra un fenomeno altrettanto anomalo per il blocco 1: in questo caso i valori di copertura sono inaspettatamente bassi. Sebbene per i trattamenti standard non si possa parlare di errore di localizzazione del GPS (in quanto non attivo) si può però considerare un disturbo generato dalla scarsa velocità (analogo al caso LiDAR) che dovrà essere necessariamente verificato nelle prossime analisi.

## CONCLUSIONI

In questo studio, si è potuta osservare una differenza nella distribuzione del prodotto a vantaggio del sistema LiDAR che permette di risparmiare miscela fitosanitaria, nel caso specifico di circa il 24%, in quanto riconosce le fallanze permettendo di chiudere gli ugelli e di riaprirli poi alla ripresa della vegetazione.

L'analisi di elaborazione delle cartine è un sistema di acquisizione dati complesso; questo ha portato ad avere degli errori nell'esportazione dati di due blocchi e ci ha costretto a ridurre la numerosità delle osservazioni e di conseguenza la rappresentatività del test statistico.

Per le future analisi sarebbe opportuno utilizzare un programma più performante.

Inoltre, vista la scarsa differenza tra il blocco 1 dei trattamenti LV e L, dovuta alla bassa velocità di partenza del cantiere, nelle prossime rilevazioni è auspicabile l'inserimento di uno spazio di rispetto, in modo tale che le prime cartine vengano investite dal prodotto quando la velocità di avanzamento della macchina è a regime, permettendo così di avere una migliore uniformità di distribuzione sulle stesse.

In conclusione, il sistema LiDAR oggetto di sperimentazione è uno strumento con buone potenzialità che per essere commercializzato in via definitiva richiede dei miglioramenti e degli ulteriori test.

## RINGRAZIAMENTI

Il primo grazie va alla mia famiglia, a Babbo e Mamma per avermi dato la possibilità di frequentare l'università supportandomi economicamente e sopportandomi durante questi tre anni. Grazie a Ilaria, Arianna e Damiano che mi hanno ascoltato e sostenuto soprattutto in prossimità degli esami e durante la stesura della tesi.

Grazie a chi, purtroppo, non c'è più ma è sempre vicino, perché mi avete trasmesso questa grande passione per la natura, gli animali e soprattutto per i trattori che se non era per voi, chissà cosa sarei andato a fare.

Grazie alla Professoressa Ester Foppa Pedretti, che con le sue lezioni mi ha fatto appassionare ancor di più alla meccanica e a comprendere l'importanza della tecnologia per l'agricoltura, fino ad arrivare a sviluppare il progetto tesi. Devo ringraziare anche il Professor Alessio Ilari e la dottoranda Luana Centorame che con la loro disponibilità e cura, mi hanno guidato e seguito dandomi materiali, informazioni e spunti durante lo sviluppo della tesi.

Grazie a Elia e Maria Sole per aver condiviso questi tre anni pieni di viaggi in macchina, giornate di studio in videochiamata, esami online, appunti in prestito, sfoghi, **ansie**, gioie e **divertimenti**.

Grazie a "Quessaddri" per avermi fatto svagare e divertire dopo intere giornate passate a studiare. Grazie per avermi stimolato e incoraggiato a non mollare nei momenti in cui non ne andava una giusta.

Grazie a Debora e Alessandra che in questi mesi mi hanno dato un grande aiuto, sempre disponibili nell'ascoltarmi e con una frase sempre pronta al momento giusto.

Un ringraziamento va a parenti e amici che sono sempre presenti anche se a volte non ci sentiamo per molto.

Un grazie a chi se ne è andato e a chi è arrivato, per aver lasciato un segno non indifferente che mi ha aiutato a crescere fino a diventare quello che sono.

## BIBLIOGRAFIA

- Assoenologi, 2020. Viaggio nei vitigni resistenti. *L'enologo*, Issue 1, p. 63.
- Backer, G. & Ruhling, W., 1991. Pflanzenschutz in Raumkulturen-Verringerung der Luft-und Bodenbelastung durch Mittelrecycling [Pest control in spatial crops-Reduction of air and soil contamination using recycling techniques]. *Landtechnik*, Issue 3, pp. 119-122.
- Cortiella, R. et al., 2011. Innovative LIDAR 3D Dynamic Measurement System to estimate Fruit-tree Leaf Area. *Sensors*, 11(6), pp. 5769-5791.
- Doruchowski, G. & Holownicki, R., 2000. Environmentally friendly spray techniques for tree crops. *Crop protection*, 19(8-10), pp. 617-622.
- Escolà, A. et al., 2017. Mobile terrestrial laser scanner applications in Precision Fruticulture/Horticulture and tools to extract information from canopy point clouds. *Precision agric*, Volume 18, pp. 111-132.
- <https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-agrofarmaci-difesa/virtuose-e-intelligenti-le-irroratrici-del-futuro/>
- Matese, A., Di Gennaro, S., Nardi, D. & Potena, C., 2016. Piattaforme a controllo remoto e robotiche per il monitoraggio e la gestione delle colture. In: R. Casa, a cura di *Agricoltura di precisione*. Milano: Edagricole - New Business Media, pp. 109-128.
- Pergher, G. et al., 2013. Assessment of spray deposition and recycling rate in the vineyard from a new type of air-assisted tunnel sprayer. *Crop Protection*, Volume 45, pp. 6-14.

RELAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO E AL CONSIGLIO

Valutazione del regolamento (CE) n. 1107/2009 relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari e del regolamento (CE) n. 396/2005 concernente i livelli massimi di residui di antiparassitari

Siegfried, W. & Raisigl, U., 1991. First experiences with the Joco-Recycling machine in vineyards. *Swiss magazine for fruit and viticulture*, Issue 127, pp. 154-160.

Siegfried, W. & Hollinger, E., 1996. *Application technology in fruit growing and viticulture*, Wädenswil, Switzerland: Report, Swiss Federal Research Station.

Tiffi Magi, 2020-2021. VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ DI DISTRIBUZIONE DI UN ATOMIZZATORE INNOVATIVO. Performance evaluation of an innovative sprayer.

Tsoulias, N., Paraforos, D., Fountas, S. & Zude-Sasse, M., 2019. Estimating canopy parameters based on the stem position in apple trees using a 2D LiDAR. *Agronomy*, 9(11), p. 740.