



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E
AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

APPLICAZIONE DI SENSORI PER
DEFINIRE LE CARATTERISTICHE
VEGETATIVE DI COLTIVAZIONI
LEGNOSE IN FILARE

TIPO TESI: compilativa

Studente:
MARIA LISA DAPPOZZO

Relatore:
PROF./DOTT. ESTER FOPPA
PEDRETTI

Correlatore:
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Vorrei ringraziare in maniera speciale la mia famiglia
che mi ha sempre sostenuto,credendo in me durante questo percorso.
Un ringraziamento al mio relatore Ester Foppa Pedretti e al mio correlatore Alessio Ilari
per l'immensa pazienza, gli indispensabili consigli e le conoscenze trasmesse durante il
percorso di stesura dell'elaborato.

INDICE

INTRODUZIONE DELLA TESI.....	4
CAPITOLO 1 TECNOLOGIE AFFIDABILI.....	5
1.1 Cosa sono gli ultrasuoni.....	5
1.2 Cosa sono i laser scanner.....	5
1.3 Funzionamento ultrasuoni e laser scanner.....	6
CAPITOLO 2 APPLICAZIONI.....	11
2.1 Applicazione ultrasuoni in ambito agricolo industriale.....	11
2.2 Applicazione laser scanner in ambito ambientale.....	13
CAPITOLO 3 LA DERIVA.....	15
CAPITOLO 4 SENSORI ULTRASUONI APPLICATI SU COLTURE ARBOREE.....	17
4.1 Sistema di controllo elettronico.....	20
4.2 Test in campo.....	22
4.3 Risultati e discussioni.....	24
4.4 conclusioni.....	28
CAPITOLO 5 VARI TIPI DI LASER SCANNER APPLICATI A COLTURE ARBOREE...30	
5.1 Laser scanner terrestri mobili applicati a colture arboree.....	30
5.2 Sistema di scansione portatile per valutare la deposizione del prodotto nebulizzato.....	34
5.3 sistema con sensori elettronici per valutare la deposizione di prodotto nebulizzato.....	36
5.4 Confronto di diversi modelli di deposito utilizzando LIDAR.....	37
CONCLUSIONI.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	42
SITOGRAFIA.....	43

INTRODUZIONE

Nei sistemi di coltivazione convenzionali gli insetti, le erbe infestanti e malattie fungine sono principalmente controllati utilizzando antiparassitari che vengono applicati alle colture soprattutto in forma liquida, utilizzando diversi tipi di irroratrici che producono famiglie di piccole o piccolissime gocce, di dimensioni variabili in funzione delle macchine e della loro regolazione. Durante l'applicazione sono inevitabili le perdite, che si verificano anche quando il prodotto miscelato ad acqua si deposita sul bersaglio, le goccioline possono essere disperse a causa sia della loro volatilità, sia del ruscellamento. Con gli atomizzatori, le goccioline vengono trasportate sul bersaglio da una combinazione di velocità iniziale generata dall'energia cinetica data dalla pressione di erogazione e dalle forze gravitazionali. Nei frutteti, gli atomizzatori passando nell'interfilare riescono a distribuire la miscela sulla vegetazione sia in superficie che in profondità nel volume della chioma, utilizzando il flusso d'aria per trasportare le goccioline verso la destinazione. Per ogni tipo di liquido nebulizzato, lo scopo è quello di colpire il bersaglio e ottenere una copertura tale da determinare l'efficacia ottimale dell'antiparassitario applicato. A seconda del bersaglio, che nella maggior parte dei casi è rappresentato dalla vegetazione, o dai frutti, una certa quantità di prodotto distribuito viene considerato inevitabilmente perso. La miscela che raggiunge il terreno è normalmente considerata una perdita oltre ad essere anche una potenziale fonte di contaminazione di acque superficiali e sotterranee. Alle perdite a terra si aggiungono anche le perdite per deriva, causate soprattutto da un'eccessiva riduzione della dimensione delle gocce. Del resto in una nube di miscela nebulizzata la dimensione delle gocce è variabile e una percentuale di queste, più o meno impostate a seconda delle regolazioni della macchina, può essere classificata come piccole o piccolissime. Quindi, in qualsiasi distribuzione c'è sempre una quota di miscela che si perde per deriva. Altra fonte di dispersione è costituita dalla mancata corrispondenza tra caratteristiche della vegetazione (presenza o assenza di vegetazione, densità) e caratteristiche della miscela nebulizzata (quantità, energia cinetica del flusso d'aria). Questo avviene spesso perché la struttura e densità fogliare delle piante non vengono prese in considerazione durante le applicazioni di questi prodotti per la protezione delle colture. L'effetto di questi prodotti sull'ambiente crea grande preoccupazione in tutto il mondo. Alcuni paesi europei hanno regolamentato la riduzione dell'uso totale di antiparassitari; Migliorare il processo di applicazione dei prodotti antiparassitari sembra essere il miglior approccio per ottenere questa riduzione senza ridurre l'efficacia del controllo dei parassiti. Questo può essere realizzato attuando la distribuzione solo quando i parassiti raggiungono una soglia critica per la coltura e applicando il prodotto uniformemente su tutta la chioma. Il presente lavoro di tesi è consistito in un approfondimento dei sistemi che permettono di identificare la forma della pianta con l'obiettivo di distribuire in tempo reale la miscela di fitofarmaco o per generare dei modelli strutturali geo-riferiti delle chiome, al fine di favorire la corretta deposizione di antiparassitari.

Capitolo 1

TECNOLOGIE AFFIDABILI

In questa rassegna si propone una sintesi delle principali tecniche utilizzate per misurare i principali parametri di chioma nelle colture arboree.

1.1 cosa sono gli ultrasuoni

Gli ultrasuoni sono delle onde meccaniche sonore. A differenza dei fenomeni acustici propriamente detti, le frequenze che caratterizzano gli ultrasuoni sono superiori a quelle mediamente udibili da un orecchio umano. La frequenza convenzionale utilizzata per discriminare onde soniche da onde ultrasoniche è fissata a 20 KHz. Del resto lo stesso termine ultrasuono chiaramente indica ciò che è al di là del suono, identificando con il suono solo il fenomeno fisico udibile. Come ogni altro tipo di fenomeno ondulatorio, gli ultrasuoni sono soggetti a fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione. Possono essere definiti mediante parametri quali: frequenza, lunghezza d'onda, velocità di propagazione, intensità, attenuazione (dovuta all'impedenza acustica del mezzo attraversato). (<https://it.wikipedia.org/wiki/Ultrasuoni>)

1.2 cosa sono i laser scanner

A differenza degli ultrasuoni i laser scanner sono sensori che consentono il rilevamento di modelli bidimensionali e tridimensionali di oggetti a scale e risoluzioni differenti. Da un punto di vista applicativo il laser è un'apparecchiatura che trasforma energia da una forma primaria (energia elettrica, termica, chimica, ottica, nucleare) in un fascio monocromatico e coerente di radiazioni elettromagnetiche di intensità elevata: la luce laser. Essendo un fascio monocromatico è composta da una sola frequenza di luce, non come la luce di una torcia che pur sembrando bianca, è composta da molte frequenze di luce appartenenti allo spettro visibile all'occhio umano. Il termine L.A.S.E.R. è infatti l'acronimo di Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Naturalmente una radiazione luminosa può avere una lunghezza d'onda differente. Nel caso del laser la radiazione può essere ultravioletta (lunghezza d'onda tra i 200 e i 400 nm) visibile o infrarossa. Possiamo quindi dire che il laser scanner è uno strumento che ci consente di misurare ad altissima velocità la posizione di centinaia di migliaia di punti i quali definiscono la superficie degli oggetti circostanti. Il risultato dell'acquisizione è un insieme di punti molto denso comunemente chiamato "nuvola di punti". Possiamo definire i laser scanner come sistemi di misura diretta, i quali permettono di ottenere misurazioni correlate ad una precisione strumentale definita da un certificato di calibrazione. (https://it.wikipedia.org/wiki/Laser_scanner)

1.3 funzionamento ultrasuoni e laser scanner

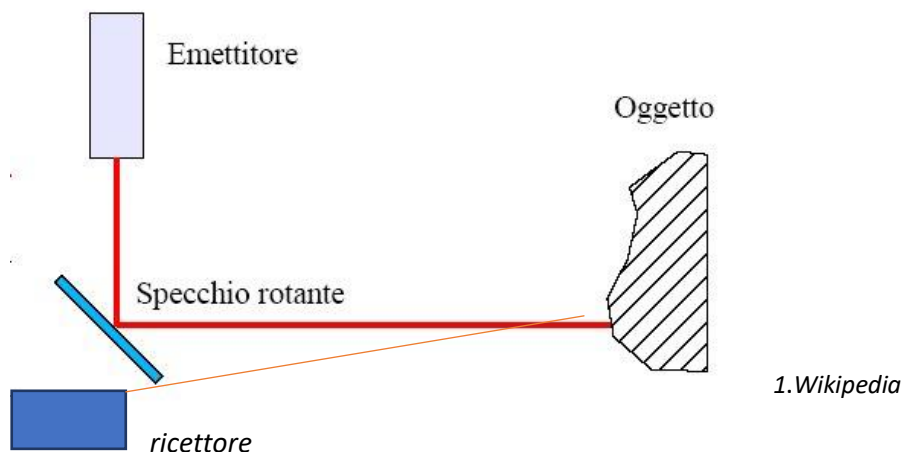
Il funzionamento di questi due strumenti è estremamente diverso. Come abbiamo visto gli ultrasuoni sono onde meccaniche sonore che generalmente si diffondono nei materiali, compresi i tessuti biologici. Per meglio immaginare la propagazione di un'onda sonora basta pensare alla modalità con cui un'onda si propaga nell'acqua: gettando un sasso in uno stagno le onde saranno visibili come cerchi che si allargano a partire dal punto in cui il sasso tocca l'acqua. La velocità di propagazione degli ultrasuoni dipende dalla densità del mezzo attraversato: sono più lenti nell'aria o nei gas, più veloci nei solidi. Come per altri tipi di onde che viaggiano in un mezzo, anche per gli ultrasuoni si verifica una diminuzione dell'intensità durante il loro spostamento attraverso l'oggetto colpito (<https://www.issalute.it/index.php/la-salute-dalla-a-alla-z-menu/u/ultrasuoni>). Gli ultrasuoni possono essere utilizzati durante processi di estrazione (vino e olio) sfruttando il loro effetto meccanico, dovuto all'onda d'urto che permette una oscillazione di pressione tra valori molto alti e molto bassi. Questo genera un fenomeno chiamato stress tensionale che consente quindi una migliore estrazione di componenti minori (<https://sciencecue.it/ultra-dop-olive-oil-e-ultrasuoni/10373/>). Un'altra applicazione degli ultrasuoni prevede l'utilizzo di sensori inseriti sulla barra porta ugelli, i quali sono in grado di aumentare la precisione di un'irroratrice, eliminando le sovrapposizioni e consente di misurare la distanza dal suolo e questa informazione permette a un sistema di controllo di effettuare regolazioni tempestive dell'altezza, in modo da consentire alla barra di seguire automaticamente il profilo del terreno. Inoltre, forniscono quindi una stima della distanza fra il sensore e la coltura, ottenendo così un aumento della precisione dell'irroratrice, per la distribuzione di prodotti chimici eliminando le sovrapposizioni. Un altro tipo di applicazione riguardante gli ultrasuoni è applicato su colture in parete, ad esempio nella viticoltura. Si hanno sensori a ultrasuoni identici a quelli per le barre irroratrici ma con portata diversa, che misurano la distanza rispetto a un oggetto bersaglio, attraverso il tempo di volo del segnale emesso dai sensori e riflesso dalla parete fogliare. Il rilievo può essere svolto da uno o più sensori a diverse altezze da terra (scelte in funzione dello sviluppo verticale della parete fogliare) in modo tale da poter calcolare, ricostruendo la sequenza delle misure stesse, il volume della chioma del filare. Il funzionamento del laser scanner è più complesso rispetto a quello degli ultrasuoni ed è correlato alla presenza di distanziometri laser, oggi sempre più precisi e affidabili. Questi distanziometri possono misurare la posizione di punti a elevata velocità e la loro unione ad un insieme di apparati meccanici di alta precisione ha reso possibile la realizzazione di sensori laser scanner. La meccanica dello strumento permette di variare la direzione di acquisizione, mentre il distanziometro laser acquisisce una distanza lungo la direzione stessa. Il risultato dell'acquisizione è un insieme di punti sparsi nello spazio in modo più o meno regolare, la sopraccitata "nuvola di punti". I sistemi di scansione laser sono composti da due parti:

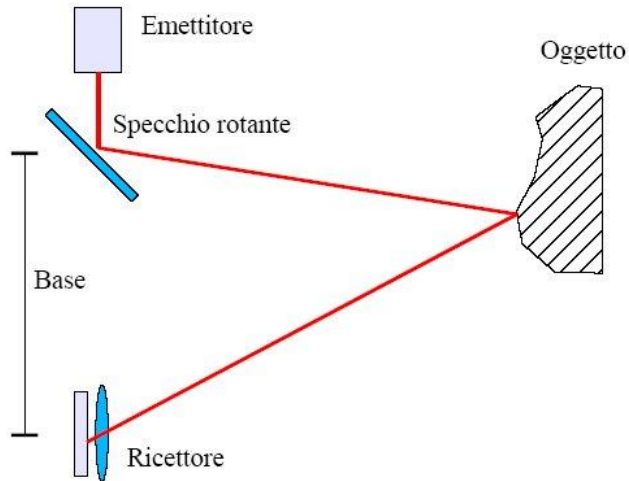
l'emettitore di luce che emette il segnale che colpisce l'oggetto e il ricevitore. Lo scanner laser modella la forma dell'oggetto calcolando la distanza di ogni punto dello stesso oggetto e crea così la nuvola di punti o mesh. I laser scanner oggi presenti sul mercato sono molti e differenti nel principio di acquisizione, nella precisione, della portata e nella velocità di acquisizione(https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Funzionamento). I laser scanner consentono di effettuare la mappatura del LAI (Leaf Area Index) delle colture arboree. Il LAI è legato al vigore delle piante e allo sviluppo fogliare ed è un parametro importante per molte pratiche agricole, è quindi interessante monitorarlo in maniera ripetibile.

È importante quindi conoscere la loro classificazione per comprenderne il funzionamento. I laser scanner vengono classificati in base al loro principio di acquisizione in:

- Laser scanner distanziometrici (figura 1)
- Laser scanner triangolari (figura 2)

La cui differenza è rappresentata dalla distanza tra lo specchio rotante e il ricevitore. Nei laser distanziometrici non vi è elevata distanza tra i due, il ricevitore è sotto lo specchio rotante, mentre nel caso dei laser scanner triangolari la distanza tra lo specchio rotante e il ricevitore è maggiore.





g. 2. Wikipedia

Oppure vengono classificati in base al posizionamento del sensore laser:

- Laser statici
- Laser mobili

I laser statici impiegati in linee di controllo meccanico, monitoraggio di movimenti e deformazioni, per il rilevamento di alta precisione, hanno una posizione fissa nel tempo e acquisiscono sempre la stessa scena. Quelli mobili sono i più utilizzati in campo di rilevamento topografico, hanno dimensioni ridotte e vengono posizionati su diversi supporti, permettendo di inquadrare la zona desiderata. I laser scanner mobili sono in grado di acquisire dati in movimento, possono essere integrati a bordo di autoveicoli, veicoli su rotaie, imbarcazioni, elicotteri, droni.

(https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Campi_di_applicazione)

(<https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/20151-laser-scanner/201530-applicazioni.aspx>).

Questi scanner sono molto utili per rilevare grandi aree in tempi brevi, per questo vengono spesso applicati a:

- ✚ city modelling
- ✚ rilievo di strade e gallerie
- ✚ rilievo di cave
- ✚ monitoraggio ambientale
- ✚ rilievo costiero e fluviale
- ✚ agricoltura

Durante lo spostamento questi scanner acquisiscono il dato e lo registrano in tempo reale. Il sistema di stabilizzazione inerziale (IMU) e il posizionamento tramite GPS aiutano lo strumento in questa fase correggendo errori di inclinazione e fornendo coordinate assolute rispettivamente. (<https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/20151-laser-scanner/201530-applicazioni.aspx>). Tra i laser scanner mobili si hanno anche sistemi di scansione in movimento che non fanno uso del GPS ma utilizzano tecnologia SLAM. Per SLAM si intende il processo per cui uno strumento si muove in un ambiente sconosciuto, costruisce la mappa di tale ambiente ed è in grado di localizzarsi all'interno di quella mappa attraverso un sistema di riferimento locale auto-generato. Questa specifica caratteristica è data da un particolare algoritmo che prevede lo spostamento e lo corregge sulla base di un percorso ad anello (partenza e arrivo devono coincidere), l'algoritmo SLAM è potenzialmente applicabile a qualsiasi laser scanner. Infine la classificazione in base alla loro portata:

- Breve portata
- Media portata
- Lunga portata

La portata varia in funzione dell'applicazione, per rilievi topografici, soprattutto per strumenti aviotrasportati, si utilizzano laser scanner con lunghe portate, per rilievi un campo spesso la portata è limitata a poche decine di metri. Prima di avviare la scansione per ottenere la nuvola di punti, occorre impostare i parametri della stessa. Infatti, la velocità e il passo delle rotazioni possono essere impostate dall'operatore, il quale agendo su questi parametri determina la risoluzione della scansione, cioè la densità della griglia di punti rilevati ad una certa distanza, e la qualità del dato acquisito (tipicamente più alta per rotazioni più lente, più bassa per rotazioni più veloci). I due parametri determinano quindi anche la durata della scansione che può durare da circa 30 secondi a decine di minuti per scansioni complete a 360°. Durante l'acquisizione lo strumento archivia, per ciascun punto rilevato, la distanza calcolata e gli angoli orizzontali e/o verticali in base alla posizione del corpo e dello specchio. Oltre a queste informazioni, in alcuni casi, viene acquisito anche il valore di riflettanza della superficie colpita dal laser che sarà tanto

più alta quanto la superficie tenderà al colore bianco. Inoltre, esistono laser scanner 3D che montano una fotocamera digitale integrata che, dopo la fase di acquisizione dei dati geometrici, viene utilizzata attraverso procedure automatiche per l'acquisizione di immagini dello spazio rilevato. Le foto così acquisite saranno poi mosaicate da software di elaborazione dei dati e applicate alle nuvole di punti per arricchirle delle informazioni di colore. Per ottenere il prodotto finale c'è un preliminare trattamento dei dati: vengono effettuate delle operazioni sulla nuvola di punti per la creazione di un modello completo e corretto dell'oggetto. Al termine di questo insieme di operazioni il modello ottenuto è ancora sotto forma di punti sparsi ma privo di errori di acquisizione, espresso in un unico sistema di riferimento scelto a piacere. Le operazioni tipiche del trattamento preliminare comprendono:

1. Ricezione dei punti presegnalizzati all'interno della scansione laser
2. Filtratura della nuvola di punti per eliminare gli errori di acquisizione e del rumore
3. Eliminazione dei punti non contestualmente legati all'oggetto
4. Allineamento automatico dei modelli tridimensionali adiacenti
5. Georeferenziazione delle nuvole di punti in un sistema di riferimento esterno noto
6. Triangolazione laser a modelli indipendenti delle nuvole di punti
7. Colorazione nuvola di punti per mezzo di immagini digitali acquisite durante le operazioni di rilievo

Il risultato che si ottiene da queste operazioni è una nuvola di punti complessa e completa dell'oggetto. I prodotti oggi ottenibili utilizzando la tecnologia laser possono essere di vario tipo. Distinguiamo due famiglie di prodotti

- Prodotti ottenuti utilizzando la sola tecnologia laser (modello tridimensionale a superfici, curve di livello, sezioni ecc..)
- Prodotti ottenuti dall'integrazione della tecnologia laser scanner con le classiche tecniche di fotogrammetria digitale (ortofoto di precisione, immagine solida, modello 3D)

https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Fasi_della_scansione_e_di_elaborazione_dei_dati

Capitolo 2

APPLICAZIONI

2.1 applicazione di ultrasuoni in ambito agro-industriale

In ambito agro industriale gli ultrasuoni trovano applicazioni molto interessanti, come nel caso degli studi approfonditi dal dipartimento di scienze degli alimenti e università degli studi di Udine, in cui l'applicazione degli ultrasuoni è utilizzata in enologia come tecnica innovativa per ottimizzare l'estrazione dei composti fenolici e favorire la lisi del lievito; Le prove svolte su diverse varietà di uva mostrano come, con pochi minuti di trattamento a diverse frequenze, si possa conseguire un miglioramento dell'estrazione delle sostanze polifenoliche e in termini di tempo, una progressiva riduzione fino al 30% della durata della macerazione classica. In termini pratici questo rappresenta un'ottimizzazione della tecnologia di macerazione e, quindi, una migliore gestione della vinificazione delle uve rosse. Inoltre, considerati i brevissimi tempi di trattamento è ipotizzabile un pretrattamento in continuo del pigiato di uve rosse prima del caricamento del vinificatore. Il trattamento sulle fecce di fermentazione provoca la disorganizzazione della cellula di lievito, facilitando la fuoriuscita del particolato cellulare, quindi favorendo la lisi dei lieviti con rapida liberazione di colloidali, polisaccaridi, mannoproteine e possibile riduzione dei tempi di affinamento dei vini sulle fecce fini. (lavoro presentato alla 7° edizione di Enoforum, Arezzo maggio 2011). Oltre al processo di estrazione di polifenoli e aromi, le aziende vinicole utilizzano la sonificazione per diversi processi, quali:

- maturazione e invecchiamento
- aromatizzazione e degasaggio del vino

Le fasi di maturazione e invecchiamento dei vini sono processi che richiedono molto tempo, nei quali avvengono una serie di reazioni complesse e le molecole sono soggette a cambiamenti a seconda delle interazioni che si verificano tra loro. Essendo disponibile nel vino bassa energia per supportare le reazioni che naturalmente si verificano, molte di esse rimangono incomplete. Quando invece il vino è sottoposto a sonificazione (input esterno di energia nel liquido) gli ingredienti sono soggetti a un grado di dispersione nel liquido più uniforme. Dunque, grazie all'applicazione di sonificazione il vino diventa un liquido molto omogeneo. L'omogeneità permette una maggiore interazione tra le molecole e quindi un cambiamento molecolare più completo, che porterà a un miglioramento del gusto e della qualità. L'utilizzo di ultrasuoni è molto utile perché rende la penetrazione del liquido all'interno delle strutture di legno (botti) più profonda. Questo ci permette di ridurre i tempi di aromatizzazione del vino e ottenere un sapore finale più intenso. Gli ultrasuoni essendo in grado di accelerare le varie tempistiche, rappresentano un metodo valido per l'abbattimento di costi importanti, con la garanzia di

ottenere un prodotto finale di elevata qualità. (Ferraretto, P., 2011, Roll, P., 2011, Celotti, E., 2011, Dipartimento di Scienze degli Alimenti-Università degli studi di Udine; 2 Università della Borgog, Rivista internet di viticoltura e enologia, 2011, N 9/3) Gli ultrasuoni vengono anche applicati per ottimizzare l'estrazione dell'olio extravergine di oliva. L'obiettivo durante la fase primaria è quello di creare all'interno del fluido delle bolle di cavitazione grazie agli ultrasuoni. In ambito meccanico questo fenomeno è interpretato negativamente, perché determina stress tensionali che deteriorano meccanicamente l'interno della macchina. Tuttavia, se l'obiettivo è generare la rottura delle pareti cellulari delle strutture le tensioni sono desiderate, quindi inneschiamo artificialmente la cavitazione tramite l'utilizzo di ultrasuoni, trasmettendo delle onde di pressione che si propagano all'interno di un mezzo continuo. Queste onde di pressione determinano delle oscillazioni di pressione tra valori molto bassi e molto alti, quindi è chiaro che, quando la pressione è molto bassa, scendendo al di sotto della tensione di vapore, genera bolle di cavitazione. Ovviamente questo transitorio di pressione è continuo, quindi, quando si rialza la pressione, queste bolle collassano creando l'effetto di stress tensionale. Questo stress agisce sulle membrane delle cellule e quindi determina la rottura delle pareti cellulari, che costituiscono il frantumato delle olive. L'azione dello stress tensionale permette il rilascio di più sostanze, rispetto a quelle normalmente rilasciate da una frangitura tradizionale eseguita con il frangitore. Con l'ultrasuono ci inseriamo a valle della frangitura meccanica e prima della gramolatura, quindi agiamo su una pasta su cui ha già agito il frangitore meccanico, con lo scopo di creare una ulteriore frantumazione più fine, delle pareti cellulari scampate alla frantumazione tradizionale. L'utilizzo dell'ultrasuono è un ulteriore effetto meccanico, perché le onde di pressione agiscono meccanicamente sulla pasta. Questa considerazione è fondamentale perché l'olio extra vergine d'oliva, merceologicamente, può essere classificato come tale solo se l'estrazione avviene attraverso mezzi esclusivamente meccanici. L'ultrasuono aumenta la capacità estrattiva, pur conservando tale classificazione. La capacità estrattiva ha degli effetti benefici sulle così dette "sostanze minori" che sono intrappolate in certe strutture cellulari della drupa. Questa rottura più intensa favorisce la cessione all'olio di strutture minori (minore quantitativo presente nella drupa) ma con importanza maggiore rispetto alle altre sostanze; queste sono le sostanze antiossidanti, le quali hanno effetti benefici sulla salute, ad alto valore nutraceutico. Non sono stati riscontrati effetti negativi riguardanti l'applicazione di ultrasuoni durante questi processi, in quanto sono stati osservati tutti i parametri normalmente monitorati per stabilire se un olio rientra nella categoria di olio extra vergine. Nel 2012 si giunge infatti alla conclusione che l'ultrasuono non danneggia l'olio in alcun modo. Anzi è stato dimostrato che ne attribuisce dei vantaggi:

- maggiore valore nutraceutico
- maggiore presenza di carotenoidi, tocoferoli, polifenoli totali

mentre i valori come numero di perossido e assorbanza rimangono inalterati. Ovviamente deve essere fatto un monitoraggio sulle temperature di processo, perché l'olio di qualità deve essere estratto a bassa temperatura, quindi, l'introduzione di livelli troppo alti di energia potrebbe creare dei picchi di riscaldamento sopra ai 27 C°, soglia oltre la quale non si può più affermare che l'olio sia stato estratto a freddo. Vengono quindi integrate delle tecnologie di controllo della temperatura, affinché si rispettino i limiti di temperatura per ottenere un olio di qualità superiore. In conclusione l'utilizzo di ultrasuoni per la produzione di olio extravergine di oliva ha portato a un miglioramento sostanziale della qualità dell'olio). L'innovazione apportata dal docente Amirante, presso la facoltà di ingegneria del politecnico di Bari, e dal docente Clodoveo, presso la facoltà di agraria del politecnico di Bari, è stata riconosciuta in tutto il mondo: Riconoscimento al congresso internazionale GENP 2016 "GREEN EXTRACTION OF NATURAL PRODUCTS". (Amirante, R.,2018, Clodoveo M.L,2018, Corbo, F.,2018, L'informatore agrario, pagine 39-42,<https://www.uniba.it/docenti/clodoveo-maria-lisa/ultrasuoniinformatoreagrario.pdf>).

2.2 applicazione di laser scanner in ambito ambientale

Le applicazioni che trovano i laser scanner in ambito agricolo sono fondamentali per la gestione dell'ambiente collinare e montano. Infatti, le immagini satellitari ad alta risoluzione possono essere sfruttate per lo sviluppo di servizi innovativi dedicati a fornire informazioni accurate sullo stato delle foreste. Inoltre questi dati telerilevati, combinati con dati di morfologia del terreno permettono di poter sviluppare sistemi di supporto alle decisioni (DSS) dedicati alla gestione sostenibile delle foreste: ad esempio questi strumenti possono aiutare nella pianificazione ottimale delle pratiche di raccolta del legno e riforestazione, oppure per la stima di biomassa epigea totale di ecosistemi forestali (L.S. aerei). I laser scanner sono utilizzati anche per il monitoraggio, modellazione e gestione sostenibile dei processi erosivi nei territori agricoli collinari e montani, inoltre possono essere associati a droni per il monitoraggio e mantenimento di terrazzamenti agricoli o ancora utilizzati insieme a droni nell'agricoltura di precisione. Quest'ultima viene definita come un sistema integrato di informazione e produzione, con l'obiettivo di aumentare la produttività sito specifica, efficienza produttiva, redditività aziendale riducendo al minimo l'impatto ambientale. Il concetto di Precision Farming indica in dettaglio una serie di tecnologie, quali il telerilevamento (satellitare o aereo) il posizionamento satellitare (GPS) e sistemi informativi geografici (GIS) che vengono utilizzati, anche integrati tra loro, per l'acquisizione e elaborazione di dati riguardanti un determinato territorio oggetto di indagine. Il telerilevamento, o remote sensing, si fonda su una serie di parametri relativi alla copertura fogliare in grado di esprimere le risposte vegeto/produttive delle piante e valutare la variabilità del vigneto. Si tratta di un'acquisizione a distanza di immagini ad alta risoluzione in

grado di descrivere la variabilità del vigneto in funzione del diverso comportamento delle superfici e dei corpi ai fenomeni di assorbimento o riflessione della luce nel visibile e nell'infrarosso. È proprio nel telerilevamento che i droni professionali a pilotaggio remoto svolgono la loro importante funzione all'interno dell'agricoltura di precisione, raccogliendo con diversi tipi di sensori su di essi installati, le informazioni georeferenziate che saranno utilizzate per l'elaborazione di mappe di precisione. Nello specifico è possibile combinare con successo una piattaforma senza pilota ad ala rotante con una camera multispettrale a sensori termici per individuare e monitorare le aree di stress idrico di frutteti, vigneti, oliveti. Tutto ciò ci permette di incrementare la capacità di gestione degli interventi da effettuare e rende la gestione più fluida rendendo automatiche le singole operazioni colturali. Attraverso riprese effettuate dall'alto, è possibile costruire, tramite l'utilizzo di appositi sensori professionali delle mappe in grado di evidenziare lo stato di salute della vegetazione, individuare i tipi di terreno, calcolare il vigore vegetativo delle colture, analizzare la qualità dell'irrigazione. Agendo in tempo l'azienda agricola può intervenire per correggere i problemi riscontrati e migliorare la propria produzione, con un miglioramento economico delle performance attuando meno sprechi. Nel campo dell'agricoltura di precisione l'utilizzo di droni risulta di grande utilità, al fine di razionalizzare le pratiche agricole e ridurre l'impatto ambientale (Pirotti, F., 2010, Grigolato, S., 2010, Lingua, E., 2010, Sitzia, T., 2010, Tarolli, P, 2010, Applicazioni laser scanner per l'ambiente forestale, Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF) – Università degli Studi di Padova, pagine 1485-1490).

Capitolo 3

la deriva

La deriva è definita come movimento sottovento, di goccioline del liquido nebulizzato aerotrasportate oltre l'area di applicazione prevista (Felsot et al., 2011; Hilz e Vermeer, 2013). La deriva è divisa in due frazioni: deriva di sedimentazione e deriva aerotrasportata. I versamenti sul raccolto e il terreno, nonché la deriva di sedimentazione sono misurati usando metodi validi e documentati. La deriva aerotrasportata è più difficile da quantificare e i metodi devono essere migliorati. Studi riportano i depositi su colture e suolo nell'area trattata per calcolare i bilanci di massa del prodotto nebulizzato. Tenendo conto dei valori standard della deriva di sedimentazione per il metodo di applicazione utilizzato, la frazione di deriva nell'aria è stata calcolata come la differenza tra la dose applicata e la somma delle dosi recuperate sul raccolto e sul suolo e la deriva sedimentante. Ciò ha determinato valori elevati per la deriva aerotrasportata. L'antiparassitario è generalmente diluito in acqua e viene distribuito in campo utilizzando un atomizzatore che nebulizza il liquido in gocce le quali fuoriescono tramite gli ugelli, usando un flusso d'aria per trasportarle a destinazione. Lo scopo è quello di colpire il bersaglio e ottenere una copertura tale da determinare l'efficacia ottimale dell'antiparassitario applicato. A seconda del bersaglio, che generalmente è rappresentato dalla vegetazione e la sua copertura fogliare o dai frutti, una certa quantità di prodotto nebulizzato viene considerato inevitabilmente perso. La frazione di sedimentazione viene campionata su collettori orizzontali posizionati su livello del suolo a distanze crescenti sottovento sull'area irrorata. La deriva dispersa nell'aria viene campionata su collettori posizionati su alberi a diverse altezze e generalmente posizionate 5 o 10 m (a seconda del tipo di atomizzatore) dall'area di applicazione. La metodologia per rilevare la deriva di sedimentazione è ben validata e abbastanza precisa (Herbst e Molnar, 2002). La deriva aerotrasportata è composta da piccole gocce, difficili da raccogliere e quantificare. L'uso e l'efficienza di raccolta di diversi tipi di raccoglitori attivi e passivi sono stati oggetto di indagine (Herbst e Molnar, 2002; Stallinga et al., 2008) e la possibilità di quantificare la deriva nell'aria è ancora un argomento di discussione (Gil e Sinfort, 2005; Arvidsson et al., 2011; Ellis et al., 2014). Uno dei principali argomenti trattati in letteratura è stata la deriva di sedimentazione, probabilmente perché i sedimenti provocano danni visibili sia all'agricoltura (campi coltivati) sia alle strutture residenziali (giardini) nelle vicinanze dell'area in cui avvengono le distribuzioni. Inoltre, è un rischio diretto per gli organismi in superficie e in acqua e viene quindi ripreso nella procedura di formazione degli operatori che andranno a distribuire gli antiparassitari. Tuttavia, l'impatto della deriva aerea è più diffuso. Studi sul campo condotti di Ganzelmeier et al. (1995) e Rautmann et al. (2001) misurano la deriva sedimentante in condizioni climatiche normali in varie colture. I risultati sono utilizzati in molti paesi europei per la valutazione del rischio per acque

superficiali, piante non bersaglio e artropodi nella regolamentazione di antiparassitari e per determinare la larghezza di zone cuscinetto (Norman, 2001; Streloke e Winkler, 2001; Van Vliet, 2001). Una parte della frazione dispersa nell'aria (misurata a 5 e 10 m di distanza dall'area nebulizzata) andrà a depositarsi come deriva sedimentante ulteriore sottovento nella zona trattata. Tuttavia, durante il trasporto, l'evaporazione riduce la dimensione delle goccioline e le gocce possono evaporare completamente durante il trasporto dall'ugello al bersaglio. Tale evaporazione dipende principalmente dalla temperatura e dall'umidità (Goering et al., 1972; Reichard et al., 1992). Quando l'acqua dentro la goccia è evaporata, la particella di antiparassitario verrà trasportata fuori dalla zona trattata dai movimenti del vento. Per superare alcune di queste difficoltà è stato proposto il concetto di calcolo dei saldi massali del prodotto nebulizzato da parte di Balsari et al. (2005) e da Salyani et al. (2007). La loro idea era di installare una struttura di campionamento che raccogliesse la deriva e i depositi arrivati al suolo. La proporzione della dose applicata, depositata sulla coltura potrebbe essere calcolata come differenza tra la dose applicata e la dose totale raccolta come deriva e deposito sul suolo. Questo metodo, tuttavia dipende da un'efficienza di raccolta nota, dalle condizioni metereologiche, da variabili di applicazione e altri parametri importanti. Gli studi riportati sottolineano la necessità di sviluppare metodi validati e ben documentati per poter calcolare correttamente il bilancio di massa dopo l'applicazione di antiparassitari, compresa la frazione di deriva nell'aria. Per poter quantificare il totale di quest'ultima, si evidenzia la necessità di esaminare se la frazione non contabilizzata è dovuta a problemi di metodologia nella misurazione di depositi su piante e terreno e deriva di sedimentazione o se la frazione aerotrasportata può effettivamente essere significativa come indicano gli studi (Jensen, P.K.,2014, Olesen, M.H.,2014, Spray mass balance in pesticide application: A review, Crop Protection, Volume 61, Pages 23-31)

Capitolo 4

sensori a ultrasuoni applicati su colture arboree

I sensori a ultrasuoni sono stati utilizzati nella produzione delle colture a partire dagli anni 80' allo scopo di misurare il volume della chioma degli alberi e successivamente, controllare l'irrorazione di prodotti fitosanitari per poterne consentire un risparmio. I sensori a ultrasuoni sono robusti e relativamente economici rispetto ad altri tipi di sensori, le loro prestazioni sono influenzate dalle caratteristiche del bersaglio che deve essere individuato. Un prototipo ground sensing a ultrasuoni è stato messo a punto dal dipartimento di ingegneria di Milano con lo scopo di individuare soluzioni per il monitoraggio colturale in vigneto. In vivai e frutteti, l'applicazione di prodotti fogliari è il metodo più efficace per proteggere colture dalle infestazioni di parassiti e prevenire la perdita di rendimento. Questi sensori sono utilizzati su diversi tipi di colture, li troviamo impiegati nella viticoltura di precisione, infatti in quest'ultima lo sviluppo della chioma ha un ruolo fondamentale ai fini della produzione quantitativa e qualitativa. È importante avere a disposizione metodi che permettano di stimare e mappare le caratteristiche della chioma. Infatti, le misure manuali del volume della chioma o di parametri a essa associati sono laboriose e richiedono molto tempo. Un metodo rapido e relativamente poco costoso è rappresentato da un sistema distanziometrico a ultrasuoni. I sensori a ultrasuoni misurano una distanza rispetto a un oggetto bersaglio, attraverso il tempo di volo del segnale emesso dai sensori e riflesso dalla parete fogliare. Il rilievo è simultaneamente svolto a tre diverse altezze da terra (scelte in funzione dello sviluppo verticale e orizzontale del vigneto), in modo tale da poter calcolare, ricostruendo la sequenza delle misure stesse, il volume della chioma del filare. Un prototipo ground sensing a ultrasuoni è stato messo a punto dal dipartimento di ingegneria di Milano con lo scopo di individuare soluzioni per il monitoraggio colturale in vigneto. In vivai e frutteti, l'applicazione di prodotti fogliari è il metodo più efficace per proteggere colture dalle infestazioni di parassiti e prevenire la perdita di rendimento. Tuttavia, i sistemi esistenti e le metodologie di distribuzione spesso provocano una nebulizzazione eccessiva. Contrariamente alle colture di campo, nelle colture da frutteto e vivaio troviamo una grande diversità nella struttura della chioma e densità. È pratica comune che vengano trapiantati alberi di età diverse nello stesso frutteto o vivaio. Inoltre, la spaziatura degli alberi all'interno delle file è spesso variabile. Con l'uso di atomizzatori convenzionali, gran parte del materiale nebulizzato viene sprecato (Zhu et al., 2006) perché gli operatori non sono in grado di regolare manualmente le impostazioni dell'atomizzatore in base alle dimensioni e alla forma della chioma degli alberi bersaglio durante l'applicazione. Di conseguenza, l'eccessivo utilizzo di antiparassitari aumenta i costi di produzione e il potenziale rischio di contaminazione ambientale. Un modo per migliorare l'applicazione di questi prodotti

e l'efficienza, consiste nell'utilizzare le tecnologie dei sensori per identificare gli alberi bersaglio e quindi applicare la quantità precisa di materiale necessario per un adeguato controllo degli insetti e delle malattie fungine. I sensori ad ultrasuoni, grazie alla loro semplicità e al basso costo, sono stati adattati agli atomizzatori convenzionali per rilevare la presenza di alberi e misurare le caratteristiche della loro chioma. L'uso di trasduttori ad ultrasuoni per rilevare il volume del fogliame (Giles et al., 1987, 1988, 1989) ha portato alla creazione di un frutteto commercialmente adatto a un sistema di controllo dell'atomizzatore assistito ad aria (ad es. SmartSpray, Durand-Wayland, LaGrange, Ga.). Anche gli atomizzatori convenzionali sono stati modificati in atomizzatori a velocità variabile utilizzando sensori a ultrasuoni di altri ricercatori (Solanelles et al., 2006; Gil et al., 2007). Jeon et al. (2011) e Jeon e Zhu (2012) hanno sviluppato un sistema sperimentale di irrorazione del braccio verticale con Sensori a ultrasuoni da 20 Hz per nebulizzare alberi in filare nella produzione di vivai. Lo sviluppo tecnologico che ha visto gli ultrasuoni impiegati per la realizzazione di questi sistemi di riconoscimento e controllo della struttura della chioma, ha portato anche alla creazione di un sistema di controllo elettronico per l'applicazione di antiparassitari proporzionale alla larghezza della chioma nelle colture arboree. La regolazione della portata dell'atomizzatore si basava sulla relazione tra la larghezza effettiva dell'albero misurata dai sensori ad ultrasuoni e la larghezza massima dell'albero del frutteto. Il prototipo è stato testato su olivi, peri e meli per valutare le prestazioni del sistema in diverse geometrie delle colture. La distribuzione del deposito nebulizzato è stata misurata rispetto alle applicazioni convenzionali. Sono stati usati traccianti metallici in modo tale da nebulizzare i depositi per ciascun trattamento, così da poterli misurare sugli stessi campioni, riducendo la variabilità del campionamento. il liquido risparmiato è intorno al 70%, 28% e 39% rispetto a un'applicazione convenzionale. sono stati registrati sull'olivo, sui peri e meleti rispettivamente, che hanno evidenziato depositi di liquido nebulizzato più bassi sulla chioma ma un rapporto più alto tra il deposito totale di nebulizzazione e l'uscita del liquido nebulizzato (ovvero una migliore efficienza dell'applicazione). Una riduzione del parametro di larghezza massima dell'albero nell'algoritmo di controllo nel meleto ha ridotto il risparmio di prodotto nebulizzato ma ha provocato un aumento della deposizione, con risparmi di prodotto principalmente nel livello medio della chioma esterna, rispetto alle applicazioni convenzionali assistite ad aria. Le diverse forme e dimensioni presenti nelle colture arboree, anche durante la stessa stagione di crescita, rende necessario un continuo aggiustamento della dose applicata per ottimizzare l'efficienza dell'applicazione. Sono necessari sistemi di controllo in tempo reale sugli atomizzatori per ottenere una distribuzione con deposizione costante sulle chiome e ridurre le perdite. Questi sistemi si basano su diversi tipi di proprietà fisiche, che possono consentire il monitoraggio delle chiome. Ad esempio, è possibile utilizzare l'analisi dello spettro della luce riflessa o sonde laser. Un esempio dell'uso di un sistema di analisi dello spettro per spegnere l'atomizzatore negli spazi vuoti che si trovano nella parte superiore e tra i frutti degli alberi è

presentato da Jaeken et al. (1997). Il prototipo dell'atomizzatore qui presentato si basa sul rilevamento della chioma mediante sensori ad ultrasuoni, è importante quindi fare riferimento ad alcuni aspetti di questa tecnologia. Negli Stati Uniti, le prestazioni di un prototipo di atomizzatore che utilizza sensori a ultrasuoni sono state testate da Giles et al. (1987). Il sistema ha regolato la portata del nebulizzatore in base alle variazioni della dimensione della chioma misurata dai sensori. la barra di nebulizzazione era divisa in tre sezioni per lato e queste sezioni venivano attivate e disattivate in modo indipendente secondo le letture dei sensori a ultrasuoni, posizionate a diverse altezze. Quando è stato utilizzato questo sistema di controllo sono stati riportati risparmi durante l'applicazione ma anche una minore deposizione di prodotto su alcune aree del fogliame. Un altro approccio è stato intrapreso da Balsari e Tamagnone (1998) con un sistema di controllo ad ultrasuoni montato su un atomizzatore ad aria canalizzata. In questo caso il numero di ugelli funzionanti potrebbe essere adattato all'altezza dell'albero, secondo le letture di sensori posizionati a diverse altezze. Molto' et al. (2001) sviluppò un prototipo per disattivare l'atomizzatore negli spazi vuoti tra le chiome di due alberi, con la possibilità di compensare le variazioni del volume della chioma all'inizio e alla fine di ogni albero, per mezzo dell'azione di due elettrovalvole per ogni sezione della barra. I sensori a ultrasuoni sono stati utilizzati anche in tempo reale per la mappatura di agrumeti, aiutando gli utenti a gestirli in sito specifico, utilizzando la tecnologia a rateo variabile per un uso più efficiente degli input (Schumman & Zaman, 2005). La densità della chioma aumenta la differenza tra volume misurato da ultrasuoni e il volume misurato manualmente, mentre non vi è alcun effetto della velocità di lavoro sui risultati misurati (Zaman & Salyani, 2004). la mappatura delle colture è stata effettuata anche mediante il rilevamento della luce e sistemi *Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR)* con l'obiettivo di testare modelli di atomizzatori con diversi volumi di deposizione sui meleti (Walklate et al., 2002) e migliorare la distribuzione della dose di antiparassitari (Walklate et al., 2003). I sistemi di applicazione proporzionale possono modificare il volume di applicazione da zero alla piena applicazione in maniera continua. Rosell et al. (1996) ha sviluppato un prototipo con risposta proporzionale, operante su 3 sezioni della barra porta ugelli comandata da un'elettrovalvola con una relazione nota tra segnale e portata, abbastanza veloce da tenere conto di piccole variazioni nella dimensione della chioma. È stato testato un ulteriore miglioramento del sistema in campo e i primi risultati sono stati presentati da Solanelles et al. (2001) e Escolà et al. (2003). L'obiettivo finale di questo lavoro è stato quello di costruire e migliorare un prototipo di sistema di controllo elettronico basato su sensori ad ultrasuoni per un'applicazione proporzionale alla larghezza della chioma e valutare le sue prestazioni in diverse colture arboree (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, *Biosystems Engineering*, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

4.1 sistema di controllo elettronico

I passaggi seguiti per progettare il nuovo sistema di controllo dovevano prima cercare sensori migliori e aggiornati adatti al controllo degli atomizzatori, quindi occorreva un'elettrovalvola affidabile e proporzionale che avrebbe potuto offrire un miglioramento delle performance rispetto a quella usata da Rosell et al. (1996) e, infine, progettare un'unità di controllo con la possibilità di apportare molte modifiche nel programma di controllo. Rosell et al. (1996) utilizzava un datalogger per i dati raccolti e le operazioni di controllo, quindi apportare qualsiasi modifica al software richiedeva molto tempo. Era anche importante installare un sistema di misurazione sul prototipo per monitorare e registrare la portata e il funzionamento in pressione del liquido a una velocità di misurazione adeguata durante le prove. Come risultato di questo lavoro, il prototipo è stato assemblato con sensori a ultrasuoni (Siemens, Monaco, Germania) con un range di lavoro tra 0,4/3,0 m e proporzionale alle elettrovalvole (Asco Joucomatic, Rueil, Francia) con pressione differenziale massima di 8 bar e massima portata 5 l min^{-1} . Il sistema di controllo era basato sul software LabVIEW 4.0 (National Instruments Corporation, Austin, USA) in esecuzione su un laptop computer. Il computer è stato interfacciato con prototipo tramite moduli remoti NUDAM 6000 (Industrial PC Inc, Indiana, USA) per l'acquisizione dei dati. C'era anche un sistema di misurazione (IrotS.A., Bizkaia, Spagna) collegato a un altro laptop computer per il monitoraggio e la registrazione delle misurazioni di una sonda di pressione (PCB Piezotronics Inc, New York, USA) e un misuratore di portata elettromagnetico (Endress +Hauser, Reinach, Svizzera) con un campo di misurazione di $0\text{--}30 \text{ l min}^{-1}$. Il sistema era alimentato a 12V dc dalla batteria del trattore. La fornitura è stata trasformata in 24 V dc e 220 V ca ove necessario. I diversi componenti e il sistema di controllo erano testati e messi a punto in laboratorio e quando il prototipo del materiale nebulizzato è stato completamente assemblato, è stato testato in campo. Questo processo ha prodotto un sistema di controllo a variazione continua della portata del liquido secondo la larghezza della chioma (volume della vegetazione). L'algoritmo di controllo del sistema era basato sulla creazione di una portata massima del liquido in base al volume scelto per l'applicazione sulle colture. Questa portata massima doveva essere distribuita dove la coltura presentasse il massimo sviluppo della chioma in larghezza e la variazione continua è stata definita da zero (no crop) a questo massimo. La portata in tempo reale di ciascuna elettrovalvola del prototipo dell'atomizzatore è stata calcolata da:

$$q = p \cdot a \cdot v \cdot V_R / 600n \text{ (Eqn1)}$$

dove:

a è la distanza tra le file dell'albero in metri;

v è la velocità in km h⁻¹;

V_R è il tasso di applicazione del volume per il frutteto in l ha⁻¹;

n è il numero di sezioni degli ugelli;

p è il coefficiente di riduzione della portata massima indicata da

$$p = c/C \text{ (Eqn2)}$$

dove:

c è la larghezza effettiva dell'albero in metri;

C è la larghezza massima dell'albero del frutteto in metri. (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

La larghezza dell'albero è stata calcolata dalla distanza tra il sensore e l'esterno della chioma d
in metri.

Il sistema di controllo è stato montato su un sistema pneumatico assistito, dotato di atomizzatore con pompa a pistone, un serbatoio da 200 l, una valvola limitatrice di pressione e un'unità soffiante con ventilatore assiale. Il prototipo era pienamente operativo da un lato. C'erano due sezioni della barra con 3 ugelli, con un'elettrovalvola montata in ciascuna. Due sensori a ultrasuoni sono stati posizionati 80 cm di fronte al piano dell'ugello nella direzione di marcia, a 120 e 200 cm dal suolo. Ogni sensore comandava un'elettrovalvola ma era anche possibile comandarle entrambe con solo il sensore posizionato a 120 cm. Allo stesso tempo una valvola bypass nel collettore dell'atomizzatore ha permesso al prototipo di funzionare come un atomizzatore convenzionale da utilizzare come riferimento nelle prove sul campo. Per evitare una distribuzione a pressioni troppo basse, è stato montato un dispositivo anti goccia su ciascun ugello, con una molla interna impostata su aperto a 1.5bar. Questi dispositivi hanno anche contribuito a abbreviare i tempi di risposta mantenendo i tubi pieni, pronti a spruzzare quando la pressione supera quella impostata con le molle (Saint-Gobain Ceramiques Avancees Desmarquest, Evreux, Francia). (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

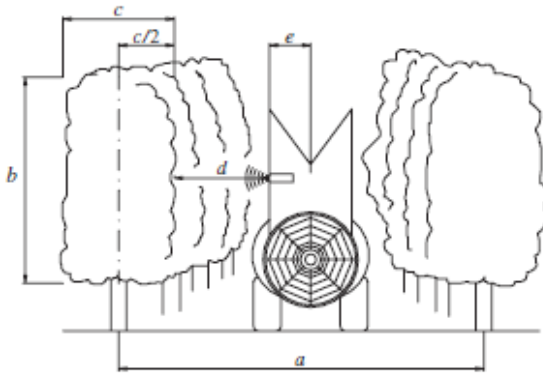


Fig. 3. Calcolo della larghezza della chioma dell'albero (c) dalla distanza fino all'esterno della chioma (d), misurata da sensori ultrasonici: e , distanza dal sensore all'asse dell'irroratrice; b , altezza della chioma; a , spaziatura tra le file degli alberi (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 *An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops*, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

4.2 Test in campo

La prima serie di test è stata pianificata per verificare le prestazioni generali del prototipo assemblato. Sono stati utilizzati due tipi di colture arboree: un oliveto cv. Arbequina e un pereto di pere cv. Conference. Nel primo caso, la distanza tra le file era di 5 m e la distanza tra gli alberi era di 4 m. Pertanto, c'erano degli spazi tra le chiome degli olivi. D'altra parte, le chiome dei peri erano più vicine, con una distanza di 1,5 m tra gli alberi e 4 m tra le file. Gli spazi vuoti erano limitati alla zona superiore della chioma. Le prove sul campo comprendevano applicazioni di prodotti antiparassitari su ogni tipo di coltura, confrontando le prestazioni del sistema di controllo con un'applicazione convenzionale, realizzata con lo stesso prototipo di atomizzatore senza sistema di controllo. Su alberi di olivo sono state testate due possibili situazioni di controllo (un sensore di comando o due sensori di comando). Per i peri è stata testata solo l'opzione con due sensori di comando. Sono stati fatti due passaggi andata e ritorno per una fila di alberi, che quindi è stata trattata su entrambi i lati. Durante l'applicazione, la pressione e la portata del liquido sono state registrate dal sistema di misurazione del prototipo.

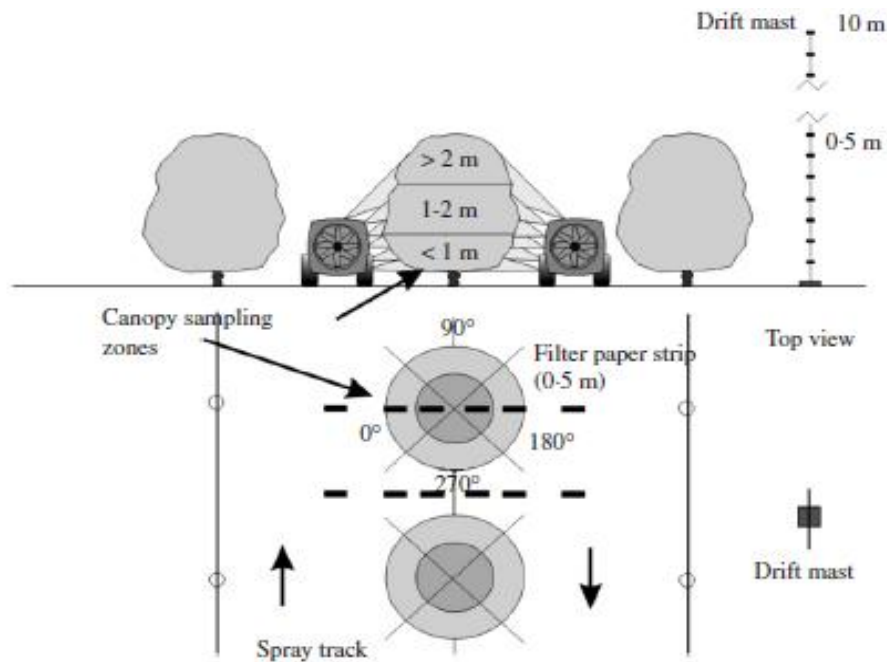


Fig. 4. Strategia di campionamento per una replicazione di un oliveto (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 *An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops*, Biosystems Engineering Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

La Figura 4 mostra la strategia di campionamento nell'oliveto. Si può osservare che i diversi livelli di chioma e l'interno ed esterno di quest'ultima, vengono presi in considerazione per la definizione della chioma stessa nelle zone di campionamento. I test sono stati effettuati in tre repliche base. In entrambe le colture, sono stati misurati i depositi sulle chiome, utilizzando campioni di foglie, prelevati da chiome differenti nelle zone dell'albero selezionato in ogni replica. Negli alberi di pero, ogni campione era costituito da cinque foglie, mentre negli ulivi 15 foglie in ogni campione, a causa della loro taglia più piccola. Sono state misurate le perdite di prodotto nebulizzato sul terreno con strisce di carta da filtro (50 per 3 cm) posizionate a terra sotto la fila trattata. I campioni raccolti sono stati inseriti in sacchetti di plastica e portati in laboratorio.

I chelati metallici di Fe, Zn e Mn (Sarcán Fe, Zn e Mn di Exclusivas Sarabia S.A., Lleida, Spagna), che sono registrati per l'utilizzo nei frutteti, sono stati usati come traccianti. Nuytens et al. (2004) utilizzò dei filtri di carta con traccianti di chelati metallici durante precedenti test realizzati in laboratorio, per confermare l'accuratezza della metodologia, soprattutto in relazione al tracciante recuperato da ogni tipo di campione. La concentrazione di metallo nel liquido applicato era tra 2 e 3 g l⁻¹. Ogni campione è stato poi lavato con acqua distillata nello stesso sacchetto di plastica e la concentrazione di ciascun metallo è stata determinata tramite spettroscopia di assorbimento Travis et al. (1985) e Murray et al. (2000). Una volta noti i risultati di questi primi test, la seconda serie di test svolta in un meleto cv. Golden era prevista per la stagione successiva, con la stessa metodologia di misurazione della distribuzione.

L'obiettivo di questi test era di modificare e migliorare l'algoritmo che collega il liquido nebulizzato in uscita richiesto alle caratteristiche della chioma, riducendo la larghezza massima dell'albero in Eqn (2), che viene utilizzato come parametro di input dal controllo software, in relazione alla larghezza effettiva dell'albero. A tal fine, la larghezza dell'albero in filare era misurata con i sensori a ultrasuoni e registrata dal sistema di acquisizione dati del prototipo a 10Hz e a velocità di avanzamento di 0.8ms^{-1} . Da questi dati, sono stati ottenuti tre valori soglia, in modo che il 50%, il 70% e il 90% del numero di valori misurati fossero inferiori a ciascuna soglia e indicati da C50, C70 e C90.

4.3 risultati e discussioni

La prima serie di test effettuati su olivi, peri e meli prevede il confronto tra applicazione convenzionale e applicazione proporzionale. L'obiettivo è di normalizzare i valori di deposito di liquido nebulizzato, per poter confrontare l'efficienza dell'applicazione convenzionale e le applicazioni proporzionali in ogni coltura. Il risparmio di prodotto misurato nell'applicazione proporzionale in un oliveto è del 68% con un sensore di controllo, 72% con due sensori di controllo a confronto con un trattamento convenzionale. Pertanto, c'era una maggiore riduzione del volume del prodotto applicato quando la barra dell'atomizzatore era divisa in sezioni a 3 ugelli (due sensori di controllo per ciascun lato dell'atomizzatore), dal momento che era possibile tenere conto di una larghezza della chioma inferiore sulla cima degli alberi. L'applicazione a basso volume distribuita in maniera proporzionale potrebbe spiegare una riduzione dell'uniformità del deposito così com'è sottoindicata. Questo potrebbe essere migliorato regolando i parametri di input geometrici dell'unità di controllo (es. larghezza massima dell'albero) come è stato fatto nella seconda serie di test. Nel pereto, il risparmio di prodotto ha rappresentato il 28% del liquido nebulizzato in uscita rispetto all'applicazione convenzionale, la maggior parte nella metà superiore della chioma. I risparmi erano più bassi, ma ancora abbastanza alti da essere considerati un vantaggio, a parità di quantità e l'uniformità del deposito sulla chioma. I depositi misurati sulla chioma erano più elevati nell'applicazione convenzionale sia su olive che su pere. I valori medi misurati erano $2,87\ \mu\text{l cm}^2$ per l'applicazione convenzionale nel frutteto e $1,02\ \mu\text{l cm}^2$ per l'applicazione proporzionale, con due sensori di controllo. Sui peri i corrispondenti valori erano $0,86\ \mu\text{l cm}^2$ e $0,55\ \mu\text{l cm}^2$. Ci si potrebbe aspettare che si depositi la stessa quantità di prodotto in entrambi i tipi di trattamenti, da quando il sistema di controllo è schierato, in quanto non viene effettuata la nebulizzazione quando non c'è vegetazione. Il motivo di un inferiore deposito di materiale nebulizzato può essere dato dal fatto che le gocce non seguono una traiettoria diritta dall'ugello alla chioma, ma si muovono spinte dai vortici turbolenti del getto d'aria.

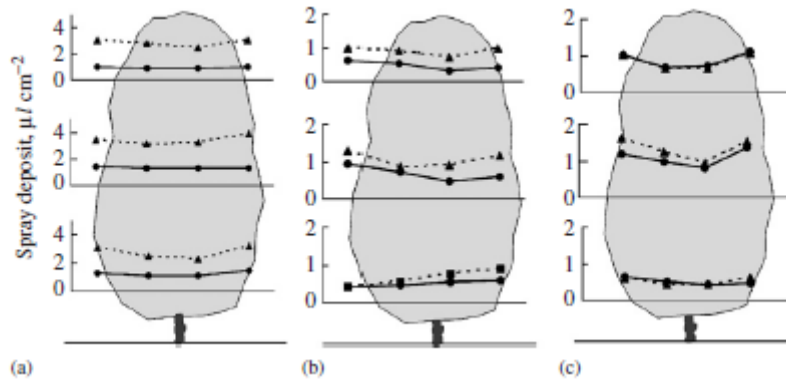


Fig. 5 Deposizione a spruzzo sulle chiome di (a) olivo, (b) pero e (c) melo misurata dopo l'applicazione proporzionale (—●—) e

applicazione convenzionale (---▲---) i valori di deposito spray sono mostrati come la quantità di liquido per unità di area fogliare. (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

Tabella 1
Distribuzione della deposizione spray misurata sull'oliveto

Treatment	Canopy spray deposit		Losses to the soil, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$	Spray drift, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$
	Mean, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$	CV, %		
Conventional	2.37 ^a	28	0.48 ^{a,b}	0.13
P1	2.59 ^b	46	0.41 ^a	0.00
P2	2.99 ^c	46	0.55 ^b	0.00

I valori sono indicati come la quantità di tracciante metallico per unità di superficie fogliare, normalizzata ad un tasso di applicazione di 430 g [metallo] ha⁻¹; i valori in colonne seguite dalla stessa lettera non differiscono in modo significativo (test a intervalli multipli di Duncan, P= 0.05); CV, coefficiente di variazione; P, applicazione proporzionale con (1) un sensore e (2) due sensori. (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

Tabella 2
Distribuzione della deposizione spray misurata sul frutteto di pere

Treatment	Canopy spray deposit		Losses to the soil, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$	Spray drift, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$
	Mean, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$	CV, %		
Conventional	1.26 ^a	50	0.23 ^a	0.36
P2	2.14 ^b	47	0.87 ^b	0.31

I valori sono indicati come la quantità di tracciante metallico per unità di superficie fogliare, normalizzata ad un tasso di applicazione di 1000 g [metallo] ha⁻¹; i valori in colonne seguite dalla stessa lettera non differiscono in modo significativo (test a intervalli multipli di Duncan, P= 0.05); CV, coefficiente di variazione; P2, applicazione proporzionale con due sensori. (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F.,

Tuttavia, nell'oliveto, il tasso volumico apportato durante l'applicazione convenzionale era molto più alto che nell'applicazione proporzionale, così com'era il tasso applicativo del tracciante. Quando i valori dei depositi sono normalizzati allo stesso tasso di applicazione del tracciante (Tabella 1) è evidente che il deposito sulla chioma era più alto con l'applicazione proporzionale. Pertanto, il rapporto tra il deposito di liquido nebulizzato sulla chioma e l'uscita dall'atomizzatore era anche più alto. Ciò è avvenuto grazie a una minore deriva e minori perdite, perché l'atomizzatore viene spento tra gli alberi, ma le perdite a terra non seguono una chiara tendenza. È importante sottolineare che ogni volta che il sensore di controllo è stato attivato c'è stato un aumento di variabilità del liquido nebulizzato depositato sulla chioma. Ancora una volta, a causa della distanza dall'uscita dell'ugello alla chioma dell'albero e la turbolenza nel flusso d'aria, la concentrazione di antiparassitario dentro il flusso d'aria che raggiunge la chioma potrebbe non corrispondere alla larghezza della chioma in un determinato punto. La maggiore variazione del deposito è causata da valori di deposito alti o bassi imprevedibili, in qualsiasi punto della chioma. I valori dei depositi sul pereto seguono un modello simile a quello trovato nell'oliveto: più deposito liquido su foglie quando utilizziamo un'applicazione convenzionale, ma elevati valori di deposito con traccianti, una volta che le misurazioni dei depositi vengono normalizzate per lo stesso tasso di applicazione. Tuttavia, la variazione del deposito sulla chioma era simile in entrambi i trattamenti probabilmente a causa di un flusso di distribuzione più continuo rispetto ai trattamenti attuati sull'oliveto. C'è anche una visibile tendenza verso una riduzione dei depositi, sulla destra della fila di alberi quando viene utilizzato il sistema di controllo. Quando questo lato è stato trattato, i flussi di liquido registrati erano anche più bassi. La deriva era leggermente più alta con l'applicazione convenzionale. D'altra parte, le perdite a terra sono chiaramente aumentate quando si utilizzava l'applicazione proporzionale. C'è la possibilità che le dimensioni medie maggiori delle goccioline prodotte da una distribuzione a bassa pressione, provochino l'erogazione di bassi flussi di liquido, provocando un aumento di perdite a terra. (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 *An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops*, *Biosystems Engineering*, Volume 95, Pages 473-481)

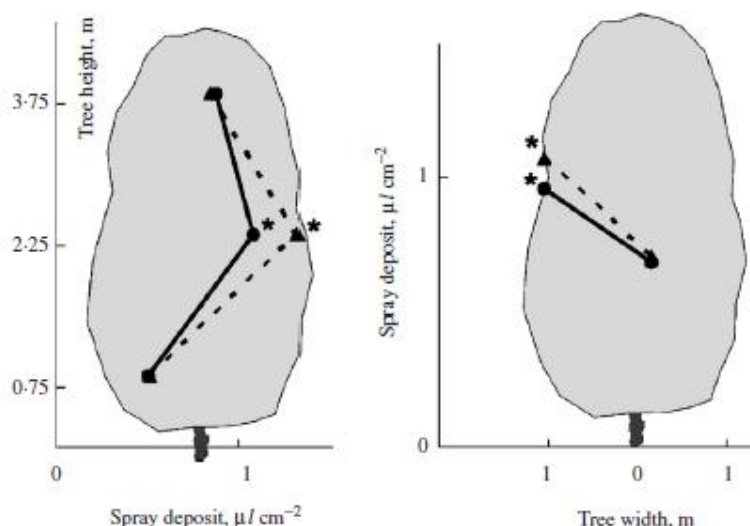


Fig.6

Deposizione spray sulle chiome dei meli con larghezza proporzionale della chioma del 50% del massimo (C50, $\text{---}\blacktriangle\text{---}$) e l'applicazione convenzionale ($\text{---}\blacksquare\text{---}$); i valori di deposito spray sono indicati come la quantità di liquido per unità di area fogliare; (*) valori significativi (Test a intervalli multipli di Duncan, $P=0.05$) (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

Tabella 3

Distribuzione della deposizione spray misurata sul meleto per tre diverse riduzioni della larghezza massima dell'albero

Treatment	Canopy spray deposit		Losses to the soil, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$	Spray drift, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$
	Mean, $\mu\text{g}[\text{metal}] \text{cm}^{-2}$	CV, %		
Conventional	1.78 ^a	53.0	0.47	2.50
C ₅₀	2.68 ^b	45.5	0.75	0.82
C ₇₀	2.05 ^c	45.9	0.61	5.39
C ₉₀	2.19 ^c	45.5	0.87	4.05

I valori sono indicati come quantità di tracciante metallico per unità di superficie fogliare, normalizzata ad un tasso di applicazione di $945 \text{ g}[\text{metal}] \text{ha}^{-1}$; i valori nelle colonne seguite dalla stessa lettera non differiscono in modo significativo (test a intervalli multipli di Duncan, $P= 0.05$); CV, coefficiente di variazione; C, applicazione proporzionale con diversi valori di larghezza massima dell'albero. (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481)

Nella seconda serie di test l'obiettivo era migliorare lo schema di deposito sulla chioma, ottenuto con il sistema di controllo proporzionale. A tal fine il massimo valore di larghezza dell'albero (C), viene utilizzato come parametro di input geometrico, come mostrato in Eqn (2), è stato ridotto in modo che la produzione di liquido nebulizzato del prototipo fosse più alta per la stessa quantità di vegetazione. Tre valori di larghezza massima per gli alberi sono stati testati: C50, C70 e C90. I risparmi di liquido ottenuti da ciascuna installazione erano del 38,8%, 44,4% e 50,7%, quindi maggiore è la riduzione in valore di C, minore è il risparmio. Come è successo

con le applicazioni della prima serie, i depositi liquidi sulle foglie erano sempre più alti con l'applicazione convenzionale (Fig. 5), ma quando sono stati presi in considerazione i risparmi ottenuti con l'applicazione proporzionale (Tabella 3), i depositi di traccianti normalizzati sono risultati più alti con le applicazioni proporzionali. Pertanto, le applicazioni proporzionali mostrano ancora una migliore efficienza. Secondo i risultati dei test, la migliore efficienza si ottiene quando viene utilizzata una riduzione C50, tuttavia questo corrisponde al più basso risparmio di liquidi. La distribuzione del deposito sui diversi livelli degli alberi mostra che i depositi di liquidi sono molto simili per il convenzionale e C50 proporzionale, sebbene il tasso di applicazione del volume utilizzato nell'applicazione proporzionale fosse inferiore a quella dell'applicazione convenzionale. La differenza massima tra i depositi liquidi del proporzionale e le applicazioni convenzionali è stata misurata al livello centrale dei meli e principalmente all'esterno della chioma (Fig. 6). Questa zona della chioma è dove abbiamo il maggiore deposito dopo un'applicazione con un atomizzatore convenzionale assistito ad aria. Quindi, un'applicazione proporzionale può ridurre l'eccessivo deposito in quelle aree della chioma, che di solito sono irrorate. L'aspetto da migliorare riguarda il deposito dell'applicazione proporzionale (Tabella 3), che necessita una distribuzione più uniforme su tutta la chioma, per consentire un miglior dosaggio di antiparassitari. Inoltre, il deposito su una zona specifica con l'applicazione proporzionale è ancora superiore al valore medio del deposito con l'applicazione convenzionale su tutta la chioma (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481).

4.4 conclusioni

La valutazione di un primo sistema di controllo elettronico per un'applicazione di antiparassitari proporzionale alla larghezza della chioma in frutteti di peri e olive ha mostrato un importante risparmio di prodotto (28–72%) rispetto a un'applicazione convenzionale, insieme a una migliore efficienza dell'applicazione e minori perdite di prodotto distribuito. Tuttavia, il deposito medio di prodotto sulla chioma era più basso. Altri problemi di questo primo prototipo erano una tendenza ad aumentare la variabilità dei depositi, specialmente negli oliveti, e più perdite a terra, insieme a una maggiore sensibilità alle condizioni dell'applicazione. Secondo i risultati dei test nei meleti di un secondo sistema di controllo migliorato, era possibile aumentare il deposito di prodotto sulla chioma diminuendo la larghezza massima dell'albero utilizzata come parametro di input in software di controllo, sebbene minore sia la larghezza dell'albero, minore è il risparmio di liquido nebulizzato rispetto all'applicazione convenzionale. Si è visto anche che i depositi inferiori sono stati misurati in quelle zone della chioma che di

solito sono sovra irrorate con un'applicazione convenzionale, vale a dire il livello medio dell'esterno della chioma. È possibile ottenere un ulteriore miglioramento di questo sistema distribuendo secondo il volume misurato della chioma o mediante l'uso di sensori basati su laser, come ad esempio i sistemi Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR), che sono in grado di misurare altri parametri della chioma dell'albero, come densità dell'area fogliare (Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481).

Capitolo 5

vari tipi di laser scanner applicati a colture arboree

5.1 laser scanner terrestri mobili applicati a colture arboree

L'applicazione dei laser scanner sulle colture arboree è molto vasta e differenziata. La mappatura dell'indice dell'area fogliare (Leaf Area Index) utilizzando scanner laser terrestri mobili (MTLS) è importante per la viticoltura. Il LAI è legato al vigore delle piante e allo sviluppo fogliare ed è un parametro importante per molte pratiche agricole. Dal momento che può presentare variabilità spaziale all'interno dei vigneti è molto interessante monitorarlo in maniera ripetibile. Considerando la possibilità di utilizzare sensori in movimento come MTLS all'interno di un appezzamento agricolo sono stati pubblicati diversi studi sull'uso di scanner laser terrestri mobili (MTLS) in viticoltura (Rosell et al. 2009, b; Keightley e Bawden 2010; Llorens et al. 2011; Sanz et al. 2013; Arno´ et al. 2013). In questi studi sono state testate tre diverse sezioni di lunghezza della fila di 0,5, 1 e 2 m. L'analisi dei dati ha dimostrato che i modelli richiesti per stimare il LAI differiscono in modo significativo a seconda della lunghezza della fila acquisita, il modello richiesto per stimare LAI per sezioni brevi (0,5 m) è diverso da quello richiesto per sezioni più lunghe (1 e 2 m). Dei due modelli ottenuti, si consiglia di utilizzare MTLS per scansione delle sezioni di lunghezza delle file di 1 m perché l'uso pratico del sensore sul campo è semplificato senza compromettere i risultati (c'è una piccola variazione nel modello quando la sezione della lunghezza della fila cambia da 1 a 2 m). Inoltre, un numero sufficiente di punti campionati viene ottenuto per supportare una mappa della LAI. Alcuni modelli di regressione lineare, usando come variabile esplicativa l'indice dell'area dell'albero ottenuto dai dati forniti dallo scanner, sono utilizzati per stimare il LAI. Questi studi si sono concentrati sullo sviluppo computazionale di metodi per caratterizzare i vigneti (volume della chioma e area fogliare) utilizzando i dati forniti dagli MTLS. Un esempio di applicazione di successo di tali dispositivi in vigna è la possibilità di stimare l'indice dell'area fogliare (LAI) utilizzando semplici modelli di regressione lineare. Arno´ et al. (2013) ha proposto questa metodologia in cui, dopo aver elaborato i dati forniti dallo scanner si ottiene l'indice di area dell'albero (TAI) e questo indice viene successivamente utilizzato come la variabile esplicativa. Il TAI è stato proposto per la prima volta da Walklate et al. (2002) con l'obiettivo di applicarlo nei meleti ed è stato applicato in viticoltura in seguito. La modalità operativa degli MTLS è ben nota per la coltivazione in filari. Vengono utilizzati gli MTLS lateralmente lungo le file e sono posizionati convenientemente dal lato destro o sinistro della fila per fornire scansioni verticali delle viti. Ogni scansione è il risultato di successive proiezioni del raggio laser secondo una risoluzione di scansione predeterminata (in genere tra $0,25^\circ$ e 1°). L'influenza del lato di scansione è stata discussa in Arno´ et al. (2015); essi hanno concluso che i risultati ottenuti sono

simili indipendentemente dal lato acquisito. Però, ci sono pochissimi studi sulla lunghezza della sezione in filare da scansionare e su come questo fattore influenzi la qualità delle stime del LAI. (Arno´, J.,2013,2015, Escola`, A., 2013,2015, Rosell-Polo, J.R.,2013,2015, Setting the optimal length to be scanned in rows of vines by using mobile terrestrial laser scanners, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151)

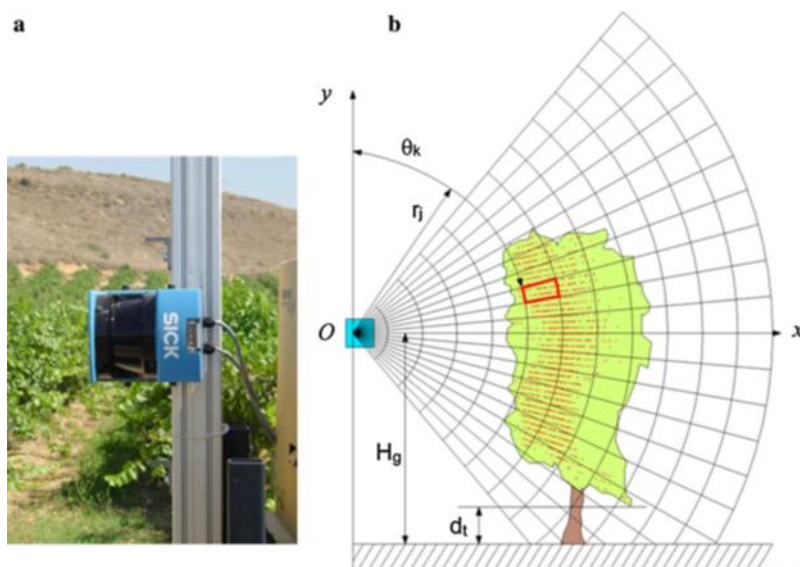


Fig. 7 Scanner laser terrestre mobile utilizzato nello studio (basato su LMS-200, SICK AG, Waldkirch, Germania) e la proiezione b della nuvola di punti su una griglia bidimensionale di celle. Una cella generica (contrassegnata in rosso) è definita da due coordinate, r_j è la distanza dall'MTLS e h_k è l'angolo in senso orario direzione. H_g è l'altezza del sensore da terra e d_t è la distanza di soglia per escludere i punti che non sono dentro il baldacchino (Arno´ et al. 2013, 2015)

Il sensore utilizzato in questo studio è stato il LMS-200 (Fig. 7), che fornisce un sistema bidimensionale di scansione verticale a ventaglio, quando applicata lateralmente da un lato della fila. Mentre lo scanner viene spostato lungo la fila in un sistema montato su trattore, diverse scansioni verticali vengono infine ottenute lungo la lunghezza del filare acquisito. Un punto noto di coordinate assolute è generato quando il raggio laser colpisce la chioma. Le viti possono essere rappresentate in 3D combinando le informazioni ottenute; questa rappresentazione 3D delle viti è nota come nuvola di punti. Tuttavia, il calcolo del TAI richiede un'ulteriore elaborazione di questa nuvola di punti. In particolare, tutte le scansioni nella sezione delle righe scansionate vengono proiettate su un piano verticale e i punti sovrapposti vengono quindi legati usando una griglia di celle polari come mostrato in Fig. 7. Il TAI viene infine calcolato come rapporto tra la densità dell'area fogliare rilevata dallo scanner (che è proporzionale al numero di celle con intercettazioni e punti all'interno di ogni cella) e l'area del terreno. Alcune ipotesi sono considerate nel processo di calcolo, ad esempio come il raggio laser viene trasmesso all'interno della chioma secondo il modello di probabilità di Poisson. Il test sul campo è stato condotto su un terreno di *Vitis vinifera* L. cv. Syrah in Raimat (Lleida, Spagna). Il vigneto si estende su una superficie di 17,74 ettari ed è stato piantato nel 2002 con un sesto di impianto di 3x2 m. L'irrigazione a goccia viene applicata mediante un'essiccazione parziale della radice in vigneti.

Le file sono orientate da nord a sud. Per garantire la piena vegetazione nel vigneto durante il passaggio dello scanner, il test è stato eseguito nella fase di crescita 77 (gli acini cominciano a toccarsi) secondo la scala BBCH (Meier 2001). La metodologia sul campo era simile ai test precedenti (Arno´ et al. 2013, 2015); quindi, cinque sezioni di campionamento di diverso vigore, per cinque file differenti sono state selezionate all'interno della parcella. Ogni sezione di campionamento era lunga 2 m e copriva la distanza tra due viti consecutive (o distanza tra i tronchi). Dopo aver eseguito la scansione delle sezioni di campionamento da entrambi i lati della riga (due scansioni replicate: a destra e sinistra), le viti sono state defogliate manualmente per misurare l'area fogliare e i valori effettivi del LAI. Le sezioni di campionamento sono state defogliate separando le foglie della vegetazione verticale adiacente in strisce di 0,5 m di lunghezza, consentendo la generazione di valori LAI diversi all'interno della stessa sezione di campionamento. In particolare, sono stati ottenuti sette valori di LAI per sezione in base a tre diverse lunghezze della fila (4 valori per strisce di 0,5 m, 2 valori per strisce di 1 m e a unico valore complessivo per la sezione totale di 2 m). Poiché il numero di siti di campionamento (o sezioni di campionamento) corrispondeva a 5, sono stati ottenuti un totale di 20, 10 e 5 valori LAI, corrispondenti alle lunghezze della fila di 0,5, 1 e 2 m, rispettivamente. È stata proposta una regressione variabile fittizia per valutare se la stima dei modelli LAI differisse in base alle lunghezze scansionate (0,5, 1 e 2 m). In effetti, l'obiettivo non è trovare un modello universale per ottenere il LAI nelle file dei vigneti usando una normalizzazione dalla lunghezza della riga (ad es. per metro di riga) ma per confrontare tre diversi modelli, corrispondenti a tre diverse sezioni di campionamento, per offrire agli utenti MTLs la migliore opzione. Il LAI è stato stimato dal TAI utilizzando un modello di regressione lineare. L'approccio era di stimare il LAI del vigneto usando lo scanner laser terrestre mobile da entrambi i lati della fila, come dimostrato in Arno´ et al. (2015). Oltre alla bontà di adattamento (R^2 tra 0,67 e 0,73), una tendenza molto interessante è apparsa in quanto la pendenza della linea di regressione aumenta all'aumentare della lunghezza della scansione della fila. Tuttavia, contrariamente al risultato atteso, il comportamento dell'intercettazione della linea di regressione era esattamente l'opposto di quella mostrata dalla pendenza e il modello per le lunghezze scansionate di 0,5 m era l'unico con un valore di intercettazione negativo. Come mostrato in Fig. 1, la nuvola di punti è stata proiettata su una griglia di celle in un piano ortogonale alla direzione del movimento dello scanner. (Arno´, J., 2013, 2015, Escola`, A., 2013, 2015, Rosell-Polo, J.R., 2013, 2015, Setting the optimal length to be scanned in rows of vines by using mobile terrestrial laser scanners, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151)

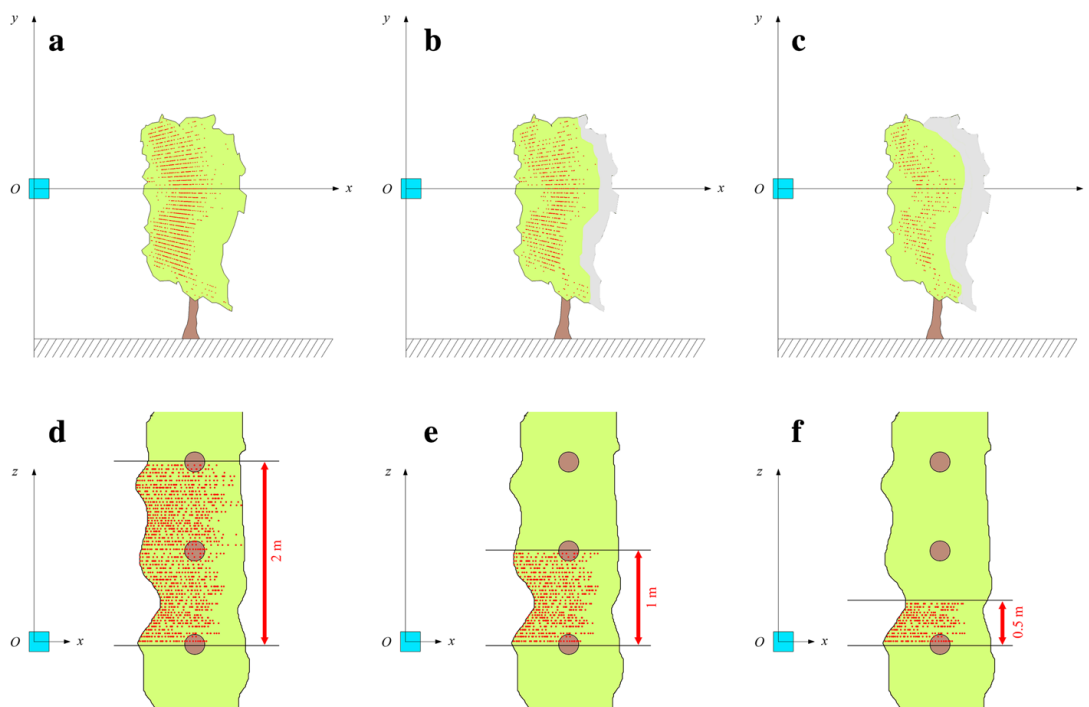


Fig.8 Nuvole di punti proiettate per tre diverse lunghezze scansionate della fila: a 2m, b 1m e c 0,5m. L'area ombreggiata indica la progressiva riduzione dell'area della sezione trasversale della chioma. Scansioni simulate lungo la riga nel piano Oxz (vista a volo d'uccello) sono mostrate per le tre lunghezze scansionate: d 2 m, e 1 m e f 0,5 m. Diminuendo la lunghezza scansionata della fila (2–0,5 m), ci sono meno punti che intercettano e penetrano nella chioma. Di conseguenza, l'area della sezione trasversale occupata da questi punti diminuisce (area vista nel piano Oxy), e quindi l'area della sezione trasversale non intercettata dal raggio laser (area ombreggiata) aumenta. (Arno', J., 2013, 2015, Escola', A., 2013, 2015, Rosell-Polo, J.R., 2013, 2015, *Setting the optimal length to be scanned in rows of vines by using mobile terrestrial laser scanners*, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151)

L'influenza della lunghezza scansionata sui modelli di stima LAI può essere interpretata analizzando la Fig. 8, dove ottenute le nuvole di punti e le loro proiezioni, sono mostrate per tre diversi test corrispondenti a ciascuno delle tre lunghezze valutate. Come previsto, quando è stato ottenuto un numero maggiore di punti la lunghezza della scansione è aumentata perché il sensore ha fornito un numero maggiore di scansioni (la risoluzione di scansione orizzontale è rimasta la stessa) e ciò ha aumentato la probabilità di intercettare la vegetazione. Valori elevati di TAI corrispondono a un gran numero di punti sparsi, intercettati su una vasta area della sezione trasversale. Pertanto, e conformemente alla figura 8, il TAI diminuisce quando la lunghezza della scansione diminuisce a causa del numero ridotto di punti. In tali casi, il coefficiente di regressione dovrebbe essere aumentato per stimare correttamente il LAI. L'ultima domanda è se i modelli sono significativamente diversi. Va notato che i modelli non sono significativamente diversi tranne quello basato su lunghezze scansionate di 0,5 m dove è stata trovata una linea di regressione con una grande pendenza. Ancora una volta, questo risultato sembra ragionevole data la poca differenza tra le aree proiettate corrispondenti a lunghezze di 1 e 2 m (Fig. 8). Questa scoperta focalizzata sull'ottenimento di mappe della LAI nel vigneto può essere importante per ottimizzare l'uso di MTLs in condizioni di campo

(Llorens et al. 2011b). In condizioni di campo, è molto difficile mantenere una lunghezza di scansione costante per tutti i punti di campionamento. Un singolo modello che copre una gamma di lunghezze scansionate da 1 a 2 m è ideale per semplicità e perché il numero di punti di campionamento con i dati acquisiti sarà sufficiente per costruire una mappa di LAI di un vigneto. Inoltre, le sezioni di campionamento lunghe 1 o 2 m non devono necessariamente coincidere con la posizione dei tronchi, poiché i vigneti sono generalmente coltivati a filare in sistemi continui. In conclusione, l'uso di MTLS su lunghezze di 0,5 m non è l'ideale. Un altro problema che richiede ulteriori analisi è l'intercettazione della linea di regressione. Idealmente, un'intercetta negativa dovrebbe adattarsi meglio al modello nel caso di utilizzo di MTLS in viti senza foglie ($LAI = 0$) in quanto esiste la possibilità che il raggio laser impatti sulla struttura in legno. Tuttavia, questo effetto può probabilmente essere diverso per le viti senza foglie che hanno strutture legnose differenti (Arno' et al. 2013). L'intercettazione ha raggiunto un valore positivo ma è rimasta vicina allo zero in entrambi i modelli. D'altra parte, è interessante notare che il TAI sottovaluta i valori effettivi di LAI di quasi il 10% in un caso e di poco più del 50% nell'altro caso, come è accaduto in studi simili per le stesse lunghezze (Arno' et al. 2013). Questo sottolinea l'importanza di utilizzare coefficienti di regressione adeguati per prevenire deviazioni che potrebbero assumere importanza se la lunghezza della scansione della fila viene ridotta. Inoltre sono necessari studi per affinare i modelli considerando l'effetto della cultivar o del sistema di allevamento sull'intercettazione e la pendenza delle linee di regressione ottenute per lunghezze di 1–2 m (Arno', J.,2013,2015, Escola`, A., 2013,2015, Rosell-Polo, J.R.,2013,2015, Setting the optimal length to be scanned in rows of vines by using mobile terrestrial laser scanners, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151).

5.2 sistema di scansione portatile per valutare la deposizione di prodotto nebulizzato

Prevenire le applicazioni eccessive o insufficienti di prodotti antiparassitari sugli obiettivi previsti richiede un sistema per misurare rapidamente la copertura del liquido nebulizzato e fornire informazioni di feedback sulla qualità di quest'ultimo. È stato sviluppato un sistema di riconoscimento di deposizione dall'integrazione di uno scanner portatile per biglietti da visita, un computer portatile e un programma chiamato "DepositScan" (Fig. 8). Quest'ultimo in particolare quantifica le distribuzioni dei depositi di antiparassitari su qualsiasi raccoglitore di carta che potrebbe mostrare differenze visive tra i depositi e lo sfondo. La carta sensibile all'acqua, la carta sensibile all'olio o la carta kromekote possono essere utilizzate come raccoglitori. Il software DepositScan è composto da una serie di plug-in personalizzati utilizzati da un programma di elaborazione delle immagini (ImageJ) per produrre una serie di misure adatte a descrivere la distribuzione del deposito. Il programma funziona con uno scanner

portatile per biglietti da visita, che scansiona i depositi di prodotto sui raccoglitori. Dopo aver scansionato i raccoglitori, le singole dimensioni delle gocce, le loro distribuzioni, il numero totale di goccioline, la densità delle goccioline, la quantità di depositi e la percentuale di copertura del liquido nebulizzato sono visualizzati sullo schermo del computer e salvati in un foglio di calcolo. DepositScan ignora i punti(spots) inferiori a 23,9 mm quando viene utilizzata una risoluzione di 2400 dpi. Il sistema di scansione portatile offre una soluzione conveniente per la valutazione in loco della qualità di distribuzione in varie condizioni di lavoro. Un sistema di riconoscimento di deposizione è stato sviluppato dall'integrazione di uno scanner portatile per biglietti da visita, un computer portatile e un programma chiamato "DepositScan" (Fig. 8). DepositScan in particolare quantifica le distribuzioni dei depositi di antiparassitari su qualsiasi raccoglitore di carta che potrebbe mostrare differenze visive tra i depositi e lo sfondo. La carta sensibile all'acqua, la carta sensibile all'olio o la carta kromekote possono essere utilizzate come raccoglitori. ImageJ è un programma di elaborazione delle immagini basato su Java utilizzato per acquisizione e analisi di immagini. È stato sviluppato dal National Institutes of Health ed è ora liberamente disponibile al pubblico (Collins, 2007). ImageJ può essere utilizzato per misurare un'area e contare il numero di punti nelle aree definite dall'utente o nell'intera immagine. La forma delle aree selezionate potrebbe essere rettangolare, ellittica o irregolare. Il programma supporta qualsiasi numero di immagini contemporaneamente ed è limitato solo dalla memoria ad accesso casuale disponibile. la velocità di elaborazione delle immagini di ImageJ è di 40 milioni di pixel / s. Inoltre, vengono utilizzati un twain driver(scanner), un protocollo software standard e l'applicazione di interfacce programmate, per comunicare tra il programma ImageJ e lo scanner selezionato. L'equazione utilizzata per convertire l'area del punto nel reale diametro della goccia (d, m) è:

$$d = 0.95 \sqrt{A} \text{ ds } 0.910$$

Dove:

$$ds = 4^\circ / p_{\text{greco}}$$

A è l'area spot (m²) acquisita da ImageJ. (Zhu, H.,2011, Salyani, M.,2011, Fox, R.D.,2011, A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution, Computers and electronics in agriculture, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151)

L'area dello spot è stata calcolata dal numero di pixel dell'immagine spot diviso per risoluzione di scansione. In questo programma, la risoluzione di scansione era scelta fino a 2400 punti per pollice (dpi) o 10,58 m per lunghezza pixel. L'equazione finale per calcolare il diametro effettivo della goccia è:

$$d = 1.06 \sqrt{A} \cdot 0.455 \text{ (Zhu, H.,2011, Salyani, M.,2011, Fox, R.D.,2011, A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution, Computers and electronics in agriculture, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151)}$$

L'uso di DepositScan potrebbe migliorare l'accuratezza delle applicazioni di antiparassitari. Tuttavia, a causa delle limitazioni dei pixel, l'accuratezza di DepositScan diminuisce insieme alla diminuzione delle dimensioni dello spot. Questa limitazione si applicherebbe anche a qualsiasi altro programma d'immagine utilizzando il riconoscimento dei pixel. Il programma non riesce a distinguere tra i depositi sovrapposti su carta sensibile all'acqua o altri collettori. La sua capacità era limitata anche quando la copertura degli spot sui collettori era troppo densa. (Zhu, H.,2011, Salyani, M.,2011, Fox, R.D.,2011, A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution, Computers and electronics in agriculture, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151)

5.3 sistema di rilevamento con sensori elettronici per valutare la deposizione di prodotto nebulizzato

Sono stati sviluppati una schiera di sensori elettronici basati sulla resistenza e un sistema di acquisizione dati per misurare la deposizione di materiale nebulizzato in uscita dagli ugelli idraulici. Il sistema conteneva un microprocessore incorporato per monitorare la tensione di uscita corrispondente alla deposizione ogni secondo. Inoltre, è stato utilizzato un modulo wireless per trasmettere i valori di tensione a un laptop remoto. I test sono stati condotti in due fasi per valutare le prestazioni della schiera di sensori in un tentativo per quantificare la deposizione di prodotto. I test iniziali hanno utilizzato il posizionamento manuale delle gocce sulla superficie del sensore per determinare gli effetti della temperatura e delle dimensioni delle gocce sull'uscita di tensione. Test secondari hanno utilizzato una camera di nebulizzazione per far passare gli ugelli a diverse velocità sopra la superficie del sensore per determinare se la fuoriuscita variava in base alle diverse velocità di applicazione o alla classificazione delle gocce. I risultati da questa analisi preliminare hanno indicato che le goccioline manuali da 5 e 10 μL hanno prodotto risultati significativamente diversi dai valori dei sensori mentre la temperatura non ha influenzato in modo coerente l'uscita. Nel test della camera di nebulizzazione i risultati indicano che è possibile determinare tassi di applicazione e dimensioni delle gocce diversi utilizzando la schiera di sensori. L'obiettivo di questo studio era condurre una valutazione preliminare sulle prestazioni wireless, di una schiera di sensori elettronici per il loro potenziale di sostituzione dei metodi tradizionali basati su Water Safety Plans (WSP) per la valutazione dello spettro delle gocce e i tassi di applicazione degli ugelli. Due nuovi aspetti di questo sistema sono stati, l'integrazione di multiple ampiezze di traccia, lo spazio sulla superficie del sensore e l'uso di un modulo wireless per il trasferimento dei dati. Gli obiettivi di questo studio erano: (1) testare il wireless per monitorare l'uscita del sensore; (2) determinare se

le prestazioni della matrice di sensori erano coerenti rispetto all'orientamento delle goccioline sul sensore, temperatura e dimensioni delle gocce; e (3) valutare l'output in uscita dai sensori per diversi tassi di applicazione e classificazione degli spettri delle gocce a pressioni costanti degli ugelli. Le gocce misurate sono state posizionate sulla superficie dell'array del sensore per valutare qualsiasi effetto derivante dalla dimensione, dalla temperatura o all'orientamento delle gocce sulla superficie del sensore. Analisi statistiche hanno stabilito che l'orientamento delle goccioline non ha avuto alcun effetto sull'output del sensore. La temperatura delle gocce ha effetti contrastanti; in un caso un aumento della temperatura ha comportato tensioni di uscita più elevate. Si è concluso che in condizioni di campo, il monitoraggio della temperatura del sensore può essere importante; però, in un ambiente di laboratorio, la temperatura delle goccioline potrebbe essere potenzialmente controllata. C'è stato un significativo aumento della tensione di uscita da tutti i sensori quando le goccioline misurate aumentano di dimensioni da 5 uL a 10 uL. Ulteriori test in una camera di nebulizzazione hanno fornito risultati preliminari sull'output dalle diverse configurazioni del sensore. Le tensioni di uscita delle diverse dimensioni del sensore indicano variazioni nei tassi di applicazione e delle dimensioni delle gocce, che possono essere osservate utilizzando più configurazioni del sensore. Sono necessari ulteriori test per separare gli effetti del tasso di applicazione rispetto alla dimensione della goccia da ugelli idraulici agricoli (Kesterson, M.A.,2015, Luck, J.D.,2015, Sama, M.P.,2015, Development and preliminary evaluation of a spray deposition sensing system for improving pesticide applications, Sensor, volume 15, pagine 31965–31972)

5.4 confronto di diversi modelli di deposito utilizzando LIDAR

Sono stati confrontati dei modelli di deposizione del volume di distribuzione, sviluppati per consentire la regolazione di antiparassitari da un atomizzatore a ventola assiale per adattarsi a diversi meleti. La revisione è stata limitata ai modelli empirici del deposito fogliare D formulati come $D = Q / UL$, dove L è una scala di lunghezza che descrive l'effetto di scala della struttura della coltura e Q / U è il rapporto tra la portata volumetrica dell'irrorazione e la velocità dell'irroratrice che definisce il tasso di applicazione del volume in base alla lunghezza della fila unitaria. La performance comparativa di diversi i modelli è stata valutata utilizzando misurazioni in campo del deposito sulle foglie sui meli con diverse combinazioni di portainnesto, densità di impianto, età e stadio di crescita. Un sistema LIDAR è stato montato sul trattore ed è stato utilizzato per registrare i dettagli strutturali del frutteto. È stato dimostrato che l'uso di altri modelli, basati su diversi parametri di scala geometrica della struttura del frutteto, forniscono una migliore correlazione con le misurazioni. Di questi modelli, una buona correlazione è stata ottenuta utilizzando una scala di lunghezza proporzionale al rapporto tra il volume degli alberi e la superficie totale del terreno e questo ha rappresentato il 43% della

variazione nelle misurazioni. L'uso dei parametri della struttura del frutteto, basati sulle stime dell'area coltivata derivate da una distribuzione di Poisson locale della trasmissione della luce, ha dato ulteriori miglioramenti. Di questi modelli, la migliore correlazione era ottenuta con una scala di lunghezza proporzionale alla densità della superficie arborea e questa ha rappresentato il 78% della variazione nelle misurazioni. La densità dell'area arborea è il miglior parametro strutturale da utilizzare per l'espressione della dose di antiparassitari durante le pratiche di irrorazione. Il calcolo di questo parametro si basa sulla disponibilità di misurazioni LIDAR. In alternativa, un semplice metodo per mettere in relazione questi parametri potrebbe essere facilmente costruito come un pittogramma, che relaziona la densità dell'area dell'albero alla dose di prodotto antiparassitario associata alle immagini degli alberi del frutteto, in modo da indicare all'operatore la dose ottimale. Questa ricerca identifica ulteriormente la necessità, per questo tipo di informazioni strutturali sulle colture, di migliorare la standardizzazione della dose raccomandata sulle etichette dei prodotti fitosanitari. Le etichette dei prodotti per la protezione delle colture generalmente offrono insufficienti consigli su come effettuare la regolazione appropriata del tasso di applicazione di antiparassitari per soddisfare diversi tipi di colture da frutteto trattate con atomizzatori a flusso assiale. Ad esempio, molte etichette presumono che il volume di deposito medio sulla coltura sia proporzionale al volume applicato per unità di superficie. quindi, il seguente modello di volume di deposito D a gruppi di scala generalizzato è proposto per un ulteriore utilizzo:

$$D = Q/UL$$

Dove:

L è la scala di lunghezza della deposizione che descrive l'effetto di scala dei diversi parametri della struttura delle colture

Q / U è il rapporto del flusso volumetrico del liquido nebulizzato alla velocità dell'atomizzatore.

(Walklate, P.J.,2002, Cross, J.V.,2002, Richardson, G.M.,2002, Murray, R.A.,2002, Baker, E.D.,2002, Comparison of different spray volume deposition model using lidar measurements of apple orchards, Biosystem engineering, volume 82, pagine 253–267). Questa espressione è esatta quando gli effetti del trasporto del prodotto, redistribuzione e perdite sono tutti rappresentati da un'adeguata selezione della scala di lunghezza di deposizione. In pratica, la generale relazione tra la scala di lunghezza di deposizione e i parametri più fondamentali che descrivono la geometria della coltura e le condizioni di flusso dell'irroratrice non è conosciuta a priori senza ricorrere a misurazioni estensive in campo. Per un laser posizionato su un atomizzatore, in funzione entro i limiti delle buone pratiche (ovvero dove le perdite sono piccole e trascurano gli effetti della redistribuzione verticale), si può presumere che la scala di lunghezza della deposizione è proporzionale alla larghezza del braccio. Lo stesso modello è comunemente

adattato per frutteti, assumendo che la scala di lunghezza di deposizione appropriata L_w è proporzionale a un multiplo intero della larghezza della riga dell'albero W :

$$L_w = bwmW$$

Dove:

bw è un coefficiente empirico

m è la riga moltiplicatore

quindi il volume medio di deposito D_w sulla coltura è $D_w = bw \times Q / UmW$ UL

(Walklate, P.J.,2002, Cross, J.V.,2002, Richardson, G.M.,2002, Murray, R.A.,2002, Baker, E.D.,2002, Comparison of different spray volume deposition model using lidar measurements of apple orchards, Biosystem engineering, volume 82, pagine 253–267)

Tuttavia, questo modello è piuttosto irrealistico per molte situazioni di irrorazione del frutteto in cui le perdite di prodotto nebulizzato e gli effetti della redistribuzione combinata nei piani verticali e orizzontali non possono essere trascurati. Inoltre, questo modello non tiene conto del cambiamento temporale della struttura della coltura durante la stagione di crescita. I modelli di deposizione da cui possono essere derivati altri metodi pratici di regolazione degli antiparassitari possono essere riformulati per stabilire la scala della lunghezza di deposizione in Eqn. (1) in funzione di altri parametri strutturali della coltura. Il "volume dei filari" (Buyers et al., 1971, 1984, Sutton & Unrath, 1984, 1988; Heine et al., 1997) e "area di prodotti" (Koch, 1993; Koch & eisser, 1994, 1995) sono esempi di tipici parametri geometrici. Altri approcci di modellazione hanno proposto l'uso di misurazioni dell'area fogliare per migliorare la correlazione tra depositi dati da diversi tipi di attrezzature di distribuzione e diverse strutture colturali: nebulizzazione con ventilatore assiale di vigneti (Pergher & Gubiani, 1995), irrorazione dell'aerea su cotone e melone (Franz et al., 1998) e la nebulizzazione su orzo primaverile (Jagers et al., 1998). Inoltre, gli approcci di questi modelli possono essere riformulati per dare diverse relazioni tra scala di lunghezza di deposizione e la struttura della coltura. Negli ultimi 10 anni, la misurazione della struttura delle colture è stata semplificata dallo sviluppo di una gamma di tecniche di campionamento ottico non invasivo (Lang & Yueqin, 1986; Wangler et al., 1993; Fassnacht et al., 1994; Meir et al., 2000). In particolare, lo sviluppo di un sistema Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) montato sul trattore (Wangler et al., 1993) ha reso possibile effettuare registrazioni molto veloci e dettagliate della struttura delle colture, adatta per il trattamento computazionale dei dati e calcolare le caratteristiche di intercettazione delle colture (Walklate et al., 2000). Questo sistema utilizza un metodo di misurazione del tempo di volo dell'impulso con aperture separate (side-by-side) per un trasmettitore a diodo laser a infrarossi e un ricevitore di luce a diodo abbinato. Le scansioni continue della coltura con il fascio luminoso sono possibili grazie a questo sistema utilizzando uno specchio rotante. La sensibilità e la risoluzione del sistema sono adatte per misurare le

strutture tipiche delle principali colture da frutto nel Regno Unito, ma è meno adatto a colture con dimensioni dello spazio molto più piccole (ad esempio alberi di agrumi ad alta densità e cereali) senza migliorare il profilo del fascio di trasmettitore / ricevitore. La densità dell'area arborea è quindi il miglior parametro singolo da utilizzare come base per l'espressione della dose di antiparassitari per le pratiche di irrorazione dei meleti rappresentate da queste misure. Tuttavia, il calcolo di questo parametro si basa sulla disponibilità di misurazioni LIDAR. Un metodo semplice per stimare questo parametro potrebbe essere facilmente costruito come un pittogramma che mostra la relazione tra densità dell'area arborea e immagini delle file di alberi del frutteto ricostruite da misurazioni LIDAR. Questa ricerca identifica ulteriormente la necessità, per misurazioni della densità dell'area alberata come parte del processo di regolamentazione, di migliorare la standardizzazione delle strutture colturali che rappresentano le dosi raccomandate sulle etichette dei fitosanitari (Walklate, P.J.,2002, Cross, J.V.,2002, Richardson, G.M.,2002, Murray, R.A.,2002, Baker, E.D.,2002, Comparison of different spray volume deposition model using lidar measurements of apple orchards, Biosystem engineering, volume 82, pagine 253–267).

CONCLUSIONI

Sulla base della mia ricerca bibliografica, che ha analizzato l'utilizzo di sensori a ultrasuoni e laser scanner per definire le caratteristiche della struttura e volume della chioma di vegetazione in parete, è emerso che entrambe queste tecnologie sono adatte e affidabili per numerose applicazioni. I sensori a ultrasuoni, grazie alla loro semplicità e basso costo, sono adatti agli atomizzatori convenzionali per rilevare la presenza di alberi e misurare le caratteristiche della loro chioma. Tuttavia, questi sensori tendono ad essere meno precisi e dettagliati, perché il fascio che emettono tende a divergere formando un cono. Questa elevata divergenza li rende poco raffinati rispetto ai sensori laser scanner, infatti vanno a definire solamente il profilo della vegetazione al contrario della scansione laser che è molto più dettagliata e va a calcolare la distanza di ogni punto dello stesso oggetto rilevato. Questi ultimi infatti emettono un fascio monocromatico che è soggetto a una minore divergenza, rendendoli molto più precisi e dettagliati. È importante sottolineare che nel caso dei laser scanner, l'elevata precisione richiede poi un lavoro di scrematura a causa del numero elevato di punti che vengono scansionati, la scansione quindi deve essere semplificata e lavorata per poter individuare l'area o l'oggetto bersaglio di interesse. I laser scanner tuttora tendono ad essere più sensibili ad alcuni fattori come ad esempio la luce, la sensibilità alla luce fa sì che lo scanner produca diverse ombre nell'output quando la stessa configurazione sperimentale viene utilizzata con diverse condizioni di illuminazione. Pertanto, una scansione attuata con la luce giornaliera risulterà differente rispetto a una eseguita durante la notte. Inoltre, i laser scanner hanno costi più elevati rispetto a quelli dei sensori a ultrasuoni. Con lo studio da me approfondito è emerso che i sensori a ultrasuoni potrebbero essere sostituiti da scansioni laser, in quanto permettono di definire solamente il profilo della chioma. È quindi necessario, sottolineare la superiorità tecnologica dei sensori laser scanner, che grazie alla loro elevata precisione, rappresentano un grande potenziale nello sviluppo di sistemi di irrorazione per frutteti e vivai. Inoltre, un aspetto interessante di questi sensori che è ancora oggetto di ricerca, è la definizione dell'assorbanza della vegetazione. Conoscere questo aspetto potrebbe ulteriormente migliorare il processo di distribuzione e gestione dei prodotti antiparassitari.

BIBLIOGRAFIA

- Ferraretto, P., 2011, Roll, P.,2011, Celotti, E., 2011, Dipartimento di Scienze degli Alimenti-Università degli studi di Udine; 2 Università della Borgog, Rivista internet di viticoltura e enologia,2011, N 9/3
- Amirante, R.,2018, Clodoveo M.L.,2018, Corbo, F.,2018, L'informatore agrario, pagine 39-42
- Pirotti, F., 2010, Grigolato, S., 2010, Lingua, E., 2010, Sitzia, T.,2010, Tarolli, P, 2010, Applicazioni laser scanner per l'ambiente forestale, Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF) – Università degli Studi di Padova, pagine 1485-1490
- Jensen, P.K.,2014, Olesen, M.H.,2014, Spray mass balance in pesticide application: A review, Crop Protection, Volume 61, Pages 23-31
- Solanelles, F., 2006, Escolà, A., 2006, Planas, S., 2006, Rosell, J.S., 2006, Camp, F., 2006, Gràcia, F., 2006 An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops, Biosystems Engineering, Volume 95, Issue 4, Pages 473-481
- Arno´, J.,2013,2015, Escola`, A., 2013,2015, Rosell-Polo, J.R.,2013,2015, Setting the optimal length to be scanned in rows of vines by using mobile terrestrial laser scanners, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151
- Zhu, H.,2011, Salyani, M.,2011, Fox, R.D.,2011, A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution, Computers and eletronics in agriculture, Precision Agric, Springer Science+Business Media, volume 18, pagine 145–151
- Kesterson, M.A.,2015, Luck, J.D.,2015, Sama, M.P.,2015, Development and preliminary evaluation of a spray deposition sensing system for improving pesticide applications, Sensor, volume 15, pagine 31965–31972
- Walklate, P.J.,2002, Cross, J.V.,2002, Richardson, G.M.,2002, Murray, R.A.,2002, Baker, E.D.,2002, Comparison of different spray volume deposition model using lidar measurements of apple orchards, Biosystem engineering, volume 82, pagine 253–267
- (Chen, Y., 2012, Zhu, H., 2012, Ozkan, H.E, 2012, DEVELOPMENT OF A VARIABLE-RATE SPRAYER WITH LASER SCANNING SENSOR TO SYNCHRONIZE SPRAY OUTPUTS TO TREE STRUCTURES, the Power & Machinery Division of ASABE, Vol. 55(3): 773-781).

SITOGRAFIA

- <https://it.wikipedia.org/wiki/Ultrasuoni>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Laser_scanner
- <https://www.issalute.it/index.php/la-salute-dalla-a-alla-z-menu/u/ultrasuoni>
- <https://sciencecue.it/ultra-dop-olive-oil-e-ultrasuoni/10373/>
- https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Funzionamento
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Campi di applicazione](https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Campi_di_applicazione)
- <https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/20151-laser-scanner/201530-applicazioni.aspx>
- <https://www.microgeo.it/it/prodotti-e-soluzioni/20151-laser-scanner/201530-applicazioni.aspx>
- [https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Fasi della scansione e di elaborazione dei dati](https://it.wikipedia.org/wiki/Scanner_Laser_3D#Fasi_della_scansione_e_di_elaborazione_dei_dati)
- www.infowine.com
- <https://www.uniba.it/docenti/clodoveo-maria-lisa/ultrasuoniinformatoreagrario.pdf>
- http://fisicaondemusica.unimore.it/Infrasuoni_e_ultrasuoni_applicazioni.html#:~:text=Gli%20ultrasuoni%20vengono%20anche%20utilizzati,da%20superfici%20come%20quelle%20dentarie