



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

STUDIO PRELIMINARE PER MIGLIORARE LA DISTRIBUZIONE DI AGROFARMACI IN VIGNETO

(PRELIMINARY STUDY TO IMPROVE THE
DISTRIBUTION OF AGROPHARMACEUTICAL
PRODUCTS IN THE VINEYARD)

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
LEONARDO TOBIA

Relatore:
PROF. ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:
DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

ELENCO DELLE TABELLE.....	3
ELENCO DELLE FIGURE	4
INTRODUZIONE.....	5
Capitolo 1 : AMBITI DI IMPATTO DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE.....	10
1.1 Aspetti economici	10
1.2 Aspetti ambientali	11
1.3 Benefici umani	13
1.4 Qualità degli alimenti, sicurezza alimentare e tracciabilità.....	13
Capitolo 2 : AP E DISTRIBUZIONE DI FITOFARMACI	15
2.1 Caratteristiche delle macchine e ottimizzazione dei trattamenti.....	19
2.2 Problematiche ambientali e soluzioni operative nel campo dei trattamenti antiparassitari.....	21
2.3 Sensoristica e controllo della deriva	23
Capitolo 3 : MATERIALI E METODI.....	32
3.1 Cantiere studiato	32
3.2 Rilievi di campo.....	33
3.2.1 Schema di rilievo su pianta.....	36
3.3 Analisi dei rilievi di campo.....	39
3.3.1 Preparazione del sistema di acquisizione dati.....	40
3.3.2 Acquisizione ed analisi dei dati	40
3.3.3 Analisi statistica.....	42
Capitolo 4 : RISULTATI	44
Capitolo 5 : DISCUSSIONI	57
CONCLUSIONI	60
ALLEGATI.....	63
ALLEGATO 1: Macchine per trattamenti fitosanitari di colture arboree ed erbacee.....	63

ALLEGATO 2: Descrizione del software QGIS	87
BIBLIOGRAFIA	90

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 4-1: Risultati dei rilievi, elaborati in funzione di numero di poligoni formati, percentuale di copertura e numero di impatti per unità di superficie.....	44
Tabella 4-2: Risultati dei rilievi, elaborati in funzione di numero di poligoni formati, percentuale di copertura e numero di impatti per unità di superficie.....	45
Tabella 4-3: Rappresentazione grafica della percentuale di distribuzione nelle diverse piante campione in esame, codificate in funzione dei filari (1 e 2) e dell'ordine di sequenza delle piante (da 1 a 4). I colori corrispondono ad intervalli di copertura: da 0-25%	45
Tabella 4-4: Analisi T Student	51
Tabella 4-5: Risultati test Anova	56

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 3-1: Cantiere utilizzato: atomizzatore Turbmatic della SAE e trattore Rex 100 della Landini	33
Figura 3-2: Immagine satellitare dell'appezzamento oggetto della prova	34
Figura 3-3: Panoramica dei filari e sviluppo della chioma di alcune viti del vigneto scelti per la prova.....	34
Figura 3-4: Dettaglio dello sviluppo della chioma di alcune piante, peraltro rappresentative, del vigneto	35
Figura 3-5: Riferimento spaziale dei filari scelti per la prova	35
Figura 3-6: Schema adottato per posizionare le diverse cartine nella chioma delle piante di vite (proiezione verticale)	37
Figura 3-7: Dettaglio della cartina posizionata in uno dei punti vuoti.....	38
Figura 3-8: Cartina assicurata alla superficie fogliare con una graffetta	39
Figura 4-1: Distribuzione della miscela (copertura) intercettata su 3 differenti piani orizzontali.....	48
Figura 4-2: Grafico relativo alla frequenza degli impatti (n°/cm^2).....	49
Figura 4-3: Correlazione tra copertura (%) e impatti (n°/cm^2)	50

INTRODUZIONE

Le fasi dello sviluppo della civiltà umana sono profondamente legate all'agricoltura, che fu una delle prime tappe evolutive dell'uomo e che ebbe profondo impatto dal punto di vista sociale ed economico. Infatti, l'uomo visse per migliaia di anni in modo nomade, spostandosi secondo le stagioni, procurandosi cibo grazie a caccia, pesca ed alla raccolta di frutti e piante selvatiche. Fu solamente non prima di 10.000 anni fa che, nel Vicino Oriente, con la scoperta dell'agricoltura e dell'allevamento animale, l'uomo si stabilizzò creando comunità più ampie e stabili.

Oggi, l'agricoltura si trova al crocevia costituito dalle sfide che attendono la nostra società (Cioloș Dacian, 2012). Le sfide che bisognerà affrontare in particolar modo sono la sfida alimentare, la sfida ambientale e la sfida territoriale che coinvolgono non solo il settore agricolo, ma anche quello politico, economico e sociale.

Per affrontare tali sfide nel campo della produzione agricola, le imprese possono aderire alla produzione integrata definita come “sistema di produzione agroalimentare che utilizza tutti i mezzi produttivi e di difesa delle produzioni agricole dalle avversità, volti a ridurre al minimo l'uso delle sostanze chimiche di sintesi e a razionalizzare la fertilizzazione, nel rispetto dei principi ecologici, economici e tossicologici” (Legge n. 4, 3 Febbraio 2011, articolo 2).

A questo proposito e ancor più in dettaglio è la tematica riguardante l'agricoltura sostenibile che mette in evidenza un tipo di gestione che si pone principalmente l'ambizioso ma inevitabile obiettivo di soddisfare le esigenze economiche (di alimenti per i consumatori e di reddito per gli agricoltori) senza compromettere il patrimonio ambiente appartenente a tutti e risorsa per le future generazioni

L'articolo 1 della Direttiva 128/09, a cui la legge si riferisce, recita: “La presente direttiva istituisce un quadro per realizzare un uso sostenibile dei pesticidi riducendone i rischi e gli impatti sulla salute umana e sull'ambiente e promuovendo l'uso della difesa integrata e di approcci o tecniche alternativi, quali le alternative non chimiche ai pesticidi”.

Il concetto di agricoltura sostenibile è molto ampio e complesso. Può essere visto dal punto di vista ambientale, intendendo un'agricoltura rispettosa delle risorse naturali quali acqua, fertilità del suolo, biodiversità, e che non utilizzi sostanze chimiche inquinanti.

Si può parlare di agricoltura sostenibile dal punto di vista sociale, cioè la capacità dell'intera produzione agroalimentare mondiale di far fronte alla domanda globale, non solo dei paesi industrializzati, ma anche di quelli in via di sviluppo (considerando che nel corso degli ultimi 100 anni la popolazione mondiale è aumentata e soprattutto che le aree più densamente popolate sono quelle improduttive dal punto di vista agricolo e la restante parte ridotta in superficie deve far fronte alla domanda di beni primari mondiale).

Nei paesi industrializzati ciò che è di maggiore interesse è il concetto di food safety. La sicurezza alimentare sta diventando sempre più un importante problema di salute pubblica poiché vengono segnalati sempre più casi associati al consumo di alimenti non sicuri (Norazmir et al., 2012); (Osei-Tutu & Anto, 2016); (Torgerson et al., 2015); (CHI, 2013). La sicurezza alimentare è definita dal Codex Alimentarius come la garanzia che il cibo non causerà danni al consumatore quando viene preparato, servito e consumato secondo l'uso previsto (Codex, 2003). Nell'ultimo decennio la consapevolezza dell'importanza della sicurezza alimentare è aumentata a causa dell'aumento delle malattie di origine alimentare e del relativo reportage mediatico (Osei-tutu, 2018). Il consumo di alimenti non sicuri colpisce 48 milioni di americani (1 su 6) che si ammalano, 128.000 vengono ricoverati in ospedale e 3.000 muoiono ogni anno (CDC, 2011). Secondo l'OMS, 1 persona su 10 nel mondo si ammala per aver mangiato cibo contaminato e 420.000 muoiono ogni anno. Questo spiega ogni anno la perdita di 33 milioni di anni di vita in buona salute (DALY). I bambini di età inferiore ai 5 anni rappresentano il 40% del carico di malattie di origine alimentare, con 125.000 morti ogni anno (Assemblea & Della, 2017). Obiettivo della Food Safety è quello di assicurare alimenti “sani”, “completi” e “sicuri”, ovvero assicurare un'alimentazione che sia la migliore possibile sul piano nutrizionale e sul piano della “qualità”, che presentino i minimi rischi per la salute, ovvero l'assenza di contaminazioni e difetti di ogni tipo, che possono provocare danni alla salute ed aumentare il rischio di malattie (sicurezza alimentare microbiologica, nutrizionale). In particolar modo, conoscenze inadeguate in materia di sicurezza alimentare tra i consumatori, in particolare i bambini, aumentano il rischio di riscontrare problemi di salute legati alla sicurezza alimentare, principalmente malattie di origine alimentare (Kang, Kim, Kim, & Ha, 2010). L'implementazione di programmi educativi in materia di sicurezza alimentare e igiene nelle scuole è la chiave per migliorare le conoscenze sulla sicurezza alimentare dei bambini nelle scuole (Shen, Hu, & Sun, 2015)

(Torgerson et al., 2015) (Zhou, Mayes, Broadbelt, Nolte, & Shanks, 2015) e quindi potrebbe tradursi in migliori pratiche di igiene alimentare nella popolazione (Takanashi K, Chonan Y, Quyen DT, Khan NC, Poudel KC, 2009).

La Food Security si riferisce, invece, ad un aspetto di approvvigionamento e autosufficienza alimentare della società o delle comunità nazionali, che la invocano, ed ha quindi l'obiettivo di assicurare alla popolazione un'alimentazione adeguata al sostentamento "biologico", per fornire adeguate calorie e componenti nutrizionali essenziali.

Nel caso specifico nei paesi industrializzati, la food safety viene perseguita attraverso l'ottimizzazione dei processi produttivi e di trasformazione. Nel caso della produzione agricola, in particolare, l'obiettivo viene perseguito con l'uso di combustibili alternativi per la autotrazione (quali energia elettrica, metano, gas, veicoli ibridi), di dispositivi per la riduzione della distribuzione di input colturali, cercando di lasciare invariata la produzione. Direttamente correlato alla distribuzione dei fitofarmaci e dei fertilizzanti, dal punto di vista sociale c'è anche il problema connesso alla tossicità dei fitofarmaci e del rischio nitrati all'interno delle acque potabili i quali scaturiscono dai processi di deriva e di lisciviazione. Per questi ultimi concetti l'uso di dispositivi in agricoltura di precisione mira a ridurre gli effetti negativi prevedendo così problemi alla salute umana.

Si può intendere l'agricoltura sostenibile dal punto di vista economico, cioè vantaggiosa per l'agricoltore favorendo un reddito equo, la tutela della salute dell'operatore e il miglioramento della qualità della vita degli agricoltori e dell'intera società. Introducendo dispositivi che migliorano la produttività in campo è possibile ridurre l'uso di risorse primarie abbassando quindi i costi di produzione e aumentando così il potenziale guadagno per l'agricoltore a fronte di spese per l'acquisto e il loro utilizzo che con il tempo sono sempre più ridotti.

Come ultimo aspetto l'agricoltura può essere considerata sostenibile dal punto di vista ambientale quando soddisfa le esigenze di preservare le risorse biotiche e abiotiche del sistema agricolo in senso lato. Dal punto di vista pratico un'agricoltura che emette minori sostanze con effetti nocivi su atmosfera, biosfera, idrosfera risulta più sostenibile di un'agricoltura più impattante, a parità di produzione. L'agricoltura di precisione anche in questo caso mira a ridurre tanto i quantitativi distribuiti quanto ad aumentare l'efficienza di distribuzione e di uso degli input per prevenire tali rischi.

L'agricoltura sostenibile, quindi, persegue i seguenti obiettivi: il reddito equo dell'agricoltore, la tutela della salute dell'operatore agricolo e del consumatore, la

conservazione nel tempo della fertilità del suolo, la conservazione nel tempo delle risorse ambientali. L'agricoltura sostenibile consiste nell'utilizzo di tecniche agricole in grado di rispettare l'ambiente, la biodiversità e la naturale capacità di assorbimento dei rifiuti della terra.

Nella concezione attuale della sostenibilità i capitali sopra descritti non sono sostituibili (strong sustainability). Le tre "sfere" della sostenibilità sono quindi legate da rapporti gerarchici di subordinazione e non più di complementarità (weak sustainability)

Nella strong sustainability il capitale ambientale presenta priorità rispetto a quello sociale ed economico, ciò significa che il soddisfacimento della sostenibilità ambientale ha priorità su tutte le altre azioni. Tale definizione trova giustificazione nel fatto che, oltrepassata una determinata soglia di sfruttamento delle risorse naturali, risulta impossibile per i capitali economici e sociali ricostituire i livelli preesistenti.

Tra le possibilità che un agricoltore ha per far fronte a questi obiettivi si annoverano le tecniche di agricoltura di precisione (AP).

L'AP è nata negli Stati Uniti d'America agli inizi degli anni novanta e il nome deriva dall'inglese Precision Agriculture o Precision Farming o Site Specific Farming Management. La sua nascita ed evoluzione è stata favorita e sostenuta proprio dalle potenzialità derivanti dalla diffusa applicazione delle nuove soluzioni tecniche al settore primario. Questa pratica consiste nell'applicazione di tecnologie, principi e strategie per una gestione spaziale e temporale della variabilità associata agli aspetti della produzione agricola, in relazione alle reali necessità dell'appezzamento (Pierce F Nowak P, 1999).

Essa può quindi essere intesa come una forma di agricoltura progredita, volta all'impiego di tecniche e tecnologie mirate all'applicazione variabile degli input colturali all'interno dei terreni, sulla base dell'effettiva esigenza della coltura e delle proprietà chimico-fisiche e biologiche del suolo, al fine di perseguire dei vantaggi di ordine agronomico, mediante l'accrescimento della performance della coltura attraverso la razionalizzazione degli input e la riduzione dei costi colturali ed ambientali (Godwin, Richards, Wood, Welsh, & Knight, 2003).

L'applicazione delle strategie proprie all'Agricoltura di Precisione può essere considerata come un'opportunità a disposizione degli agricoltori per ottenere benefici economici dall'ottimizzazione degli input e per ridurre la pressione esercitata dai sistemi agricoli sull'ambiente (Vrindts E., Reyniers M., Darius P., De Baerdemaeker J., Gilot M., Sadaoui Y., Frankinet M., 2003) (J.L, 2004), pur essendoci delle oggettive difficoltà che ne possono rallentare lo sviluppo e la diffusione. In particolare, rispetto alle forme manageriali

improntate all'esecuzione di interventi colturali uniformi all'interno degli appezzamenti, la gestione delle pratiche colturali condotte con tecniche di agricoltura di precisione si può accompagnare a numerosi benefici, che possono essere schematizzati in vantaggi di natura economica, dovuta ad una razionalizzazione nell'utilizzo dei diversi fattori colturali, e vantaggi di natura ambientale, connessi con la riduzione dell'impatto negativo esercitato sulle risorse naturali dalle pratiche colturali costituenti il processo di produzione messo in atto dall'azienda agricola.

Capitolo 1: AMBITI DI IMPATTO DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

1.1 Aspetti economici

In linea generale, i benefici di natura economica che si possono conseguire dall'attuazione delle strategie messe a punto nell'ambito dell'Agricoltura di Precisione derivano da una generale ottimizzazione degli interventi agronomici ed una razionalizzazione delle pratiche colturali, più che da una riduzione nell'impiego di un singolo fattore colturale, pur essendo questo un aspetto di non trascurabile entità per alcune specifiche pratiche colturali (Godwin & Miller, 2003); (Lindgreen & Lindgreen, 2004), o dal risparmio conseguito in una specifica pratica agronomica (Bullock & Bullock, 2000). Di conseguenza è difficile giungere ad una monetizzazione di tali risparmi. Sull'entità di quest'ultimi esiste inoltre una certa discrepanza tra le sperimentazioni condotte, a causa sia delle differenze strutturali che si possono avere tra zone (es. differenze in termini di prezzo di fattori produttivi) sia dell'eventuale mancanza di convenienza riscontrabile per un singolo fattore colturale per il quale si è adottato il dosaggio variabile rispetto ad altri per i quali invece tali strategie possono risultare convenienti (Swinton, 1997). In generale si possono perciò riscontrare delle differenze in termini economici sia tra quanti non giustificano la convenienza all'introduzione in azienda, sia tra quanti sono invece arrivati a quantificare un reale beneficio monetario ritraibile nelle condizioni sperimentali di riferimento a seguito del reperimento dei dati sulla variabilità presente in campo e del loro utilizzo ai fini dell'esecuzione di interventi ad intensità variabile. A tal proposito rivestono comunque un ruolo fondamentale i seguenti aspetti: l'intensità con la quale la variabilità del fenomeno in questione si manifesta all'interno dell'appezzamento, essendo la stessa convenienza economica soggetta a variabilità spaziale e temporale ((Watkins K.B., 1998);(B., 1999); (Bongiovanni & Lowenberg-Deboer, 2004); la propensione al rischio dell'imprenditore agricolo (Marra, Pannell, & Abadi Ghadim, 2003), per il quale possono essere individuate un'attitudine o una repulsione al rischio derivante dall'investimento di risorse richiesto per l'implementazione di un sistema gestionale basato sui principi dell'Agricoltura di Precisione; l'effettiva difficoltà nella determinazione accurata della convenienza economica. Ciò è

vero, soprattutto nel breve periodo, in quanto la sostenibilità economica richiede un'approfondita analisi dei benefici che si possono trarre e degli investimenti che si devono sostenere rispetto ad una gestione uniforme dell'appezzamento, che risultano a loro volta variabili e di intensità differente nelle diverse aree omogenee definite, oltre che essere legati ad aspetti che generalmente non sono tenuti in considerazione in fase decisionale, come accade per la gestione dei dati (Snyder, Harrison, & Shenal, 1998). Questi richiedono non solo un costo di acquisizione ma anche di gestione ed utilizzo, al pari di un qualsiasi fattore produttivo (Mazzetto F., 1999) (Werner A., 2003). Nel complesso, i casi in cui si è dimostrata la convenienza per l'adozione delle metodiche proprie all'AP riguardano soprattutto la concimazione a dosaggio variabile, in quanto la possibilità di contenere l'impiego di fertilizzante è da subito risultata di immediato interesse presso gli operatori del settore, sia a fini gestionali che ambientali, per il quale il beneficio economico è risultato variabile in funzione non solo della superficie aziendale ma anche della complessità e del livello tecnologico del sistema adottato (Basten, 1999), oltre che del livello di preparazione tecnica degli operatori, per la quale la formazione rappresenta un costo, seppur non particolarmente incisivo, per l'azienda ma riveste un'importanza fondamentale ai fini dell'implementazione del sistema nel suo complesso.

1.2 Aspetti ambientali

Per quanto riguarda gli aspetti ambientali, l'adozione di pratiche sostenibili per il processo di produzione attuato dall'azienda agricola è oggi uno degli aspetti più importanti per il miglioramento dell'efficienza in agricoltura e la soluzione di alcune problematiche ambientali (Bakhsh, Colvin, Jaynes, Kanwar, & Tim, 2000). A tal proposito, l'adozione di sistemi in grado di consentire l'esecuzione degli interventi colturali ad intensità variabile può rappresentare un'opportunità interessante, soprattutto per le operazioni con esternalità negative sulle risorse naturali, quali possono essere appunto le lavorazioni del terreno, la distribuzione di fitofarmaci nella difesa alla coltura e l'impiego di concimi minerali azotati di sintesi. Nel caso delle lavorazioni, infatti, è noto che l'eccessiva intensità con la quale vengono eseguiti gli interventi colturali può portare ad una mineralizzazione della sostanza organica del terreno e quindi ad una perdita della fertilità, mentre la stessa inversione degli strati, si accompagna ad una riduzione dei residui in superficie, con conseguente incremento del rischio che si verificano fenomeni erosivi, sia di origine eolica, come spesso accade in fase di preparazione del letto di semina, che di natura idrica (Laflen, Baker, Hartwig, Buchele, & Johnson, 1978);(Dickey, E.C., Shelton, D.P., Jasa, P.J., Petterson, 1985) (Ginting

D., Moncrief J.F, Gupta S.C., and Evans S.D., 1998). Per quanto riguarda invece l'impiego di fertilizzanti di sintesi, è ormai riconosciuta l'importanza delle perdite di nutrienti in falda, quali fosfati e nitrati, se accompagnate a delle pratiche colturali non opportune messe in atto durante il ciclo colturale, con conseguente contaminazione delle acque di falda e superficiali; ciò assume anche un risvolto economico poiché comporta un ingiustificato aggravio dei costi dovuto alla perdita di elementi nutritivi distribuiti in campo che avrebbero dovuto soddisfare le esigenze nutrizionali della coltura (Godwin et al., 2003). Quindi, la possibilità di modulare gli interventi colturali sulla base delle esigenze effettivamente riscontrate in campo rappresenta una prospettiva interessante per l'azienda, soprattutto se interpretata come un'opportunità per integrare le soluzioni tecnologiche offerte dal mercato con le tecniche conservative ormai consolidate e che, nel caso specifico della lavorazione del terreno, si propongono il mantenimento della distribuzione degli strati, la conservazione dei residui in superficie ed in generale si basano sulla necessità di arrecare al suolo il minore disturbo possibile, al fine di non danneggiarne la fertilità.

Nel caso della difesa alla coltura, numerose sono le soluzioni allo studio per poter consentire una riduzione non solo dei quantitativi di prodotto impiegato ma anche delle perdite di prodotto distribuito a causa del mancato raggiungimento del bersaglio da trattare (effetto deriva) (Balsari P., 2004), anche se tali soluzioni si accompagnano a complicazioni di carattere costruttivo non trascurabile.

Sulla base di quanto esposto, non mancano in bibliografia gli esempi a favore dell'adozione delle tecniche facenti capo all'agricoltura di precisione, che, nel caso della distribuzione di concimi minerali, evidenziano un miglioramento dell'efficacia dell'intervento agronomico a seguito della possibilità di ridurre le quantità di fertilizzante impiegate (P.C.H, 2003); (Harmel, Kenimer, Searcy, & Torbert, 2004)) e della diminuzione delle perdite di azoto (Larson W., J. Lamb, B. Khakural, 1997); (Ferguson R.B., Hergert G.W., 1998); (Rejesus & Hornbaker, 1999); (Thrikawala, Weersink, Kachanoski, & Fox, 1999). L'entità dei miglioramenti conseguibili è comunque variabile, a seconda delle condizioni iniziali, tra le quali rivestono un ruolo di notevole importanza sia il tipo di terreno che le modalità di distribuzione (J, 1998); (Wang D., Prato T., Qiu Z., 2003), oltre all'interazione tra tali fattori e la capacità di assorbimento della coltura (Roberts R., 2001). Questi benefici, sia nel caso delle lavorazioni del terreno che nel caso della distribuzione di fertilizzanti, sono inoltre difficilmente quantificabili con le tecniche d'analisi classica in quanto, se risultano essere variabili le condizioni in campo alle quali si cerca di rispondere in maniera differenziata, è altrettanto dimostrato che gli effetti derivanti da interventi ad

intensità variabile risultano differenti all'interno dell'appezzamento, sia in termini spaziali che temporali (Basso B, Sartori L., 2003). Di conseguenza, il riscontro ambientale può essere tanto più positivo quanto maggiore è la capacità non solo di monitorare gli effetti di un trattamento ad intensità variabile, ma di approfondire la conoscenza sui molteplici legami relazionali che si instaurano tra i numerosi fattori coinvolti, sia per quel che riguarda la coltura che per quanto concerne il terreno. Comunque, la maggioranza degli studiosi dell'argomento si trova d'accordo nell'evidenziare la convenienza economica della sua applicazione per le aziende agricole, la sostenibilità ambientale per la società civile, la garanzia di qualità e sanità dei prodotti e la tracciabilità per i consumatori.

1.3 Benefici umani

Questa forma di agricoltura, richiedendo abilità nell'uso di tecnologie oltre a doti organizzative e decisionali, valorizza le conoscenze e gli insegnamenti ricevuti, qualifica le capacità e l'intelligenza dell'agricoltore gratificandolo nella sua professione che verrà considerata allo stesso grado di dignità di altre. Inoltre, potrà essere un buon sistema perché le giovani generazioni non abbandonino le campagne. I sistemi di navigazione semi-automatica sollevano dal compito di mantenere la traiettoria corretta durante le operazioni, per cui riduce la fatica e lo stress a fine giornata, rallenta il verificarsi della noia e quindi più a lungo dura la fase di attenzione. Una maggiore attenzione limita le occasioni di incidenti, che in Italia nel 2005 sono stati 120 (incidenti mortali), con 50.000 persone infortunate.

1.4 Qualità degli alimenti, sicurezza alimentare e tracciabilità

La coltivazione secondo livelli di qualità si addice alle colture di elevato valore come la vite, il cotone, il kiwi e le banane (M.J., 1999), ma può essere perseguita anche su colture estensive con la finalità di incrementare il valore del prodotto e quindi aumentare il reddito dell'imprenditore agricolo. La determinazione della qualità non sempre è semplice soprattutto perché raramente può essere identificata attraverso limitati indicatori ad esempio, proteina per i cereali e per le foraggere). In viticoltura, ad esempio, la qualità è funzione di differenti caratteristiche la cui gerarchia di importanza può differire con le varietà e con l'uso finale del prodotto (James Taylor, 2002). In AP, l'approccio alla qualità si concretizza in due modi. Il primo riguarda la possibilità di testare la qualità direttamente al momento della raccolta o attraverso il telerilevamento con l'obiettivo di selezionare il prodotto in classi che verranno presumibilmente remunerate in modo diverso. Ad esempio, sensori precisi e

affidabili si stanno installando sulle vendemmiatrici per valutare le caratteristiche qualitative delle uve (Tisseyre & Taylor, 2006) e sulle mietitrebbiatrici (Morari et al., 2013) per valutare proteine, amido e grassi nelle granelle. Il secondo modo riguarda invece la possibilità di mappare la qualità per mettere a punto tecniche di coltivazione variabili per ottimizzare le caratteristiche qualitative desiderate.

Un esempio di come l'agricoltura di precisione può essere utilizzata nella sicurezza alimentare è la riduzione del livello di aflatossine nel prodotto raccolto (Rains S., Chen Y., 2002). Come è noto, in condizioni di stress i microrganismi fungini che producono aflatossine sono più attivi e quindi è prevedibile che con il telerilevamento si possa porre rimedio alle situazioni di stress o al limite segregare le zone più a rischio in modo tale da ridurre le contaminazioni tra granella sana e infettata. Inoltre, veloci metodi per rilevare le aflatossine sono attualmente allo studio da utilizzare o prima della raccolta attraverso biosensori e nasi elettronici, oppure con sensori NIRS sulle mietitrebbie durante la raccolta.

La produzione di derrate alimentari sostenibili e di elevato standard qualitativo a poco servirebbe se tutto il processo non fosse esaurientemente documentato a beneficio del consumatore che chiede sempre maggiori informazioni sul prodotto che acquista. È possibile tracciare il prodotto attraverso le tecnologie menzionate precedentemente. L'AP può infatti essere interpretata come strumento attuativo per strategie di tracciabilità attraverso i sistemi informativi a bordo del trattore e sistemi gestionali aziendali informatici in grado di acquisire e registrare dati in tempo reale, fino a controllare tutte le fasi del processo di produzione dalla fase di campo o di stalla alla movimentazione dei prodotti.

Capitolo 2: AP E DISTRIBUZIONE DI FITOFARMACI

L'agricoltura di precisione, come già detto, trova diverse applicazioni, tra cui una delle più importanti è sicuramente quella relativa alla distribuzione dei fitofarmaci.

Una generica macchina che esegue un buon trattamento fitosanitario deve garantire che lo stesso sia: efficace contro gli organismi che si vogliono eliminare, il che significa distribuire omogeneamente dosi di prodotto proporzionate su tutta la superficie del terreno o su tutta la superficie fogliare con un'adeguata tempestività: innocuo per la coltura, innocuo per l'operatore, i suoi vicini e l'ambiente

Per ottenere ciò le attrezzature utilizzate debbono essere: adatte alla coltura da proteggere, alla dose da distribuire e al tipo di prodotto da applicare; ben regolate; sottoposte a corretta manutenzione. Il loro corretto impiego presuppone tuttavia che: venga effettuata una corretta sorveglianza delle coltivazioni; venga determinato perfettamente il tipo di organismo da combattere; siano conosciuti gli stadi colturali favorevoli per il trattamento; vengano utilizzati prodotti adeguati; si operi in condizioni climatiche favorevoli.

La distribuzione dei prodotti fitosanitari è una delle operazioni colturali con il maggior rischio di creare inquinamento ambientale, oltre ad essere quelle economicamente più onerose. Con le normali tecniche di distribuzione, fino ad oltre il 70% del prodotto chimico distribuito può non raggiungere il bersaglio, con conseguenti notevoli danni ambientali ed economici (Balsari, P., Tamagnone, 2007). Una distribuzione di precisione del fitofarmaco, come ad esempio quella a dose variabile, consente di ottimizzare la quantità di prodotto che deve raggiungere il bersaglio in funzione delle differenti condizioni operative (presenza o meno ed entità dell'antagonista della coltura principale da combattere o controllare), può garantire una maggiore efficacia del trattamento e determina una sensibile riduzione dei quantitativi impiegati, rendendo particolarmente attrattiva tale soluzione tecnico-operativa a seguito della sua aumentata sostenibilità. Con la distribuzione mirata, il prodotto fitosanitario viene distribuito in modo tale da interessare prevalentemente il bersaglio dell'irrorazione, superando il concetto di distribuzione completa su tutto l'appezzamento, applicando il prodotto solo dove questo risulta effettivamente utile.

Un'altra necessità operativa, sempre finalizzata alla riduzione degli sprechi, è quella di evitare di irrorare aree che sono già state interessate dall'irrorazione, o di irrorare aree in cui non è presente la coltura, ad esempio quando si opera nelle capezzagne, lungo i bordi del campo o nelle operazioni di completamento del trattamento all'interno dell'appezzamento.

Il passaggio dal sistema "tradizionale" di distribuzione degli agrofarmaci alla tecnica dell'irrorazione di precisione deve, tuttavia, essere oggetto di un'attenta valutazione a livello aziendale.

Sono state sviluppate tecniche di nebulizzazione ecologicamente sicure per ridurre l'uso di prodotti fitosanitari e per applicarli solo quando e dove necessario con ridotte perdite per l'ambiente (Doruchowski & Holownicki, 2000).

Per raggiungere questi obiettivi sostanzialmente o si riduce l'effetto deriva o si recupera la miscela che non arriva a target.

Per deriva intendiamo il movimento di goccioline di miscela agrofarmaci e acqua che, attraverso spostamenti d'aria anche lievi vengono deviate dall'area di applicazione del bersaglio, in genere durante o immediatamente dopo l'applicazione. Il fenomeno è spesso invisibile e, sebbene inevitabile, può essere ridotta al minimo. La deriva aumenta con la velocità del vento e l'altezza dal suolo degli ugelli quando vengono rilasciate le gocce. Aumenta, inoltre, con la riduzione delle gocce di miscela. Idealmente, sono desiderabili gocce uniformi tra 500 micron e 1 mm (1000 micron) di diametro. Gocce di queste dimensioni riducono al minimo ma non eliminano la deriva, soprattutto se il trattamento viene eseguito quando la velocità del vento è superiore a 8 km/h. Non è raro, specialmente in ambienti aridi, dove si verifica l'evaporazione dell'acqua entro 60-90 metri dal punto di somministrazione, che solo l'erbicida e i solventi organici associati rimangano alla deriva (Robert L. Zimdahl, 2018)

La volatilizzazione è il movimento più probabile di pesticidi nell'atmosfera dopo l'irrorazione sul campo. Si riferisce alla pressione di vapore dei pesticidi e alla sua tendenza a volatilizzarsi da soluzioni acquose diluite. L'effetto di volatilizzazione è direttamente proporzionale alla temperatura e aumenta a temperature più elevate (Victoria Ochoa, 2018)

La deriva dalle goccioline dei prodotti fitosanitari ha un impatto negativo sugli ecosistemi acquatici e sull'ambiente, compresi i danni agli organismi non bersaglio. In particolare, la deriva di alcuni insetticidi può avere effetti dannosi su artropodi utili come gli acari predatori. Secondo una recente direttiva dell'UE, la riduzione della deriva degli spray è necessaria per un uso sostenibile dei pesticidi, ma senza però portare alla riduzione dell'efficacia contro i parassiti (Fornasiero et al., 2017).

Nei sistemi arborei, la deriva degli spray antiparassitari è un percorso di inquinamento potenziale ed è considerato un grave rischio per l'ambiente. Molti studi mostrano che la deriva rappresenta un rischio per le acque superficiali (Boesten, Köpp, Adriaanse, Brock, & Forbes, 2007); (Dabrowski, Bollen, & Schulz, 2005); (Verro, Finizio, Otto, & Vighi, 2009) e vi è una crescente preoccupazione per la potenziale esposizione di pesticidi alle proprietà confinanti, agli astanti e ai passanti, in particolare in paesaggi rurali frammentati in cui le aziende agricole sono circondate da abitazioni residenziali, come spesso accade nell'Europa meridionale (Otto, Loddo, Baldoin, & Zanin, 2015). La deriva dei pesticidi può danneggiare inoltre gli artropodi utili (Druart et al., 2011);(Otto et al., 2013).

Poiché la deriva è strettamente correlata alla dimensione delle goccioline di miscela (Miller, P.H.C., Tuck, 2005); (J a Taylor, 2004);(Stainier, Destain, Schiffers, & Lebeau, 2006), la raccomandazione più comune per ridurre tale fenomeno è quella di utilizzare goccioline più grossolane con una frazione più piccola di goccioline fini, principalmente usando ugelli ad induzione d'aria o additivi antideriva a base di olio ((Koch, H., Knewitz, H., Fleischer, 2001);(Koch, 2003); (Zande, 2007); (Wenneker, Heijne, & Van de Zande, 2005).

A fronte di quanto detto quindi, è stato necessario nel corso degli anni migliorare i macchinari utilizzati per i trattamenti per ridurre questo fenomeno.

Il primo riferimento ad attrezzature per l'irrorazione risale alla seconda metà del 1800; si trattava di pompe manuali a stantuffo che venivano utilizzate per alimentare erogatori a cono regolabile, non molto diversi da quelli ancora oggi in commercio.

All'inizio del secolo scorso, per l'irrorazione delle viti allevate ad alberello di taglia ridotta, in Francia furono sviluppate irroratrici dotate di 2 serbatoi in pressione in acciaio della capienza complessiva di 70 litri collegati a una barra di distribuzione che permetteva l'irrorazione dall'alto dei filari fra i quali veniva fatto passare il cavallo al quale veniva applicata tale attrezzatura.

Nello stesso periodo, in Germania, per l'irrorazione delle colture arboree venivano utilizzate delle irroratrici carrellate dotate di serbatoio in legno della capienza di 100-150 l e di una pompa azionata da un motore endotermico che permetteva di irrorare la vegetazione per mezzo di lance.

All'inizio degli anni '30 viene sperimentata per la prima volta in California sulla vite la polverizzazione pneumatica, grazie alla quale i liquidi subiscono un processo di atomizzazione molto spinto sotto l'azione di un getto d'aria violento che provvede anche a trasportarli poi sulle superfici da trattare. Questo consente l'impiego di miscele concentrate con una riduzione della perdita a terra, un considerevole risparmio di sostanze

antiparassitarie e un potenziamento della loro efficacia. Negli anni '40 nelle piantagioni di agrumi statunitensi vennero impiegate delle macchine che, operando a elevata pressione, polverizzavano finemente il liquido e trasportavano le gocce verso il bersaglio per mezzo del flusso d'aria generato da un ventilatore assiale. Si trattava dei primi irroratori ad aero-convezione, attrezzature destinate ad avere una larga diffusione in tutti i frutteti e successivamente, con i necessari adeguamenti, nei vigneti. Erano macchine trainate da trattori di media potenza dotate di un serbatoio di elevata capienza, per lo più in legno, e di un motore endotermico che provvedeva all'azionamento della pompa e del ventilatore.

In Italia la prima macchina ad aero-convezione viene importata nel 1951 dalla ditta Ansaloni. L'entusiasmo dei costruttori per questa nuova irroratrice portò alla realizzazione di modelli particolarmente interessanti per la qualità e la ricercatezza delle soluzioni tecnologiche, derivanti per lo più da un accurata interpretazione degli studi aerodinamici, che raggiungono proprio in quegli anni il loro maggiore sviluppo. Altro passo decisivo è stato lo sviluppo del getto mirato: con il getto libero a grande erogazione circa il 30% del liquido ricade sul suolo. Le perdite si possono eliminare applicando il sistema delle irrorazioni localizzate, dove il liquido viene convogliato mediante tubi o canne di prolunga, fino a raggiungere le zone da trattare. Negli anni '70 vennero introdotti i sistemi di regolazione con distribuzione proporzionale all'avanzamento (DPA) che, soprattutto nei vigneti in pendenza realizzati a cavalcapoggio, consentono di garantire la distribuzione del volume di miscela fitoiatrica desiderata, indipendentemente dalla velocità di avanzamento della macchina irroratrice. Furono anche introdotte le ghiera a baionetta per il fissaggio rapido degli ugelli, soluzione costruttiva che ha agevolato la manutenzione ordinaria delle attrezzature, e i supporti multipli che, permettendo la presenza di più ugelli sulla barra, consentono un veloce adattamento dell'irroratrice alle differenti condizioni operative. Di quegli anni è anche l'introduzione degli antigoccia.

Questi ultimi possono essere: a molla, a membrana e pneumatici – che annullarono i problemi legati alle perdite a terra per effetto dello svuotamento delle tubazioni. Sempre negli anni '70 cominciano a diffondersi anche in Italia le apparecchiature a basso volume che costituiscono un importante soluzione innovativa nelle tecniche di applicazione dei fitofarmaci. Tale scelta operativa viene per lo più abbinata all'uso di macchine ad aeroconvezione con polverizzazione pneumatica, ottenuta direttamente con l'impiego di un ventilatore centrifugo ad alta pressione, il cui getto assolve entrambe le funzioni di polverizzazione e trasporto. Sotto l'aspetto economico, la possibilità di concentrare da 4-10, fino a 20 volte la miscela consente di ridurre notevolmente i tempi di intervento. In sintesi, il

concetto evolutivo di questi ultimi venti anni è quello di irrorare più efficacemente il bersaglio attraverso la selezione della dimensione delle gocce e della densità ottimale per ottenere la massima ritenzione e copertura. Ciò viene oggi attuato anche grazie all'introduzione dell'elettronica sulle macchine irroratrici. Nel corso degli anni ci sono state delle evoluzioni per quanto concerne diverse caratteristiche delle macchine. Di seguito se ne riportano le principali, sulle quali si è focalizzata maggiormente l'attenzione dell'intero settore agricolo.

2.1 Caratteristiche delle macchine e ottimizzazione dei trattamenti

La corretta scelta del volume di distribuzione fu teorizzata agli inizi degli anni '80 da studiosi francesi con considerazioni che si basano sulla conoscenza delle dimensioni medie delle gocce prodotte dagli ugelli, del rapporto tra superficie del terreno e superficie fogliare della vegetazione (LAI), della tensione superficiale tra liquido irrorato e superficie da bagnare. Da tali considerazioni fu evidenziato che, contrariamente alla realtà operativa che considerava ottimali volumi di miscela superiori a 600 litri/ ha, volumi di distribuzione dell'ordine dei 250-300 l/ha erano più che sufficienti in condizioni normali di sviluppo della coltura. Tali considerazioni, tuttavia, non tenevano conto, se non in modo marginale, della modalità di azione del principio attivo impiegato e dell'effetto sulla tensione superficiale dei coadiuvanti e dei bagnanti in particolare. Utilizzando un prodotto ad azione sistemica – che può essere traslocato all'interno dei tessuti vegetali – e un idoneo bagnante – in grado di ridurre la tensione superficiale tra liquido irrorato e la cuticola della vegetazione da irrorare – è possibile ridurre considerevolmente i volumi di distribuzione senza ridurre l'efficacia del trattamento. L'effetto del bagnante può essere superiore a quello dell'aumento del livello di polverizzazione, che incrementa inevitabilmente i rischi di deriva e di evaporazione del prodotto. I volumi di distribuzione si sono considerevolmente ridotti raggiungendo i 150-200 l/ha, tenendo conto delle specifiche esigenze e della modalità di azione del prodotto usato. Va, tuttavia, ricordato che operando con volumi ridotti e con una maggiore concentrazione del prodotto commerciale nella miscela viene a essere ridotta la portata del sistema di distribuzione e questo rende necessaria una accurata scelta dell'ugello e del sistema di filtrazione.

L'incremento della capacità del serbatoio principale della macchina irroratrice è stata una delle esigenze più sentite dagli operatori per incrementare la produttività del lavoro e quindi la tempestività di intervento. Si è passati dai 100-150 l di capacità del serbatoio degli anni '50 agli attuali 600-800 l nel caso delle attrezzature portate e 2000 l nel caso di quelle

trainate. Si tratta di evoluzioni costruttive non prive di effetti collaterali: per le attrezzature trainate ciò ha reso necessario l'impiego di correttori di sterzata (con braccio idraulico e snodato, al fine di consentire una sufficiente manovrabilità del mezzo nei vigneti caratterizzati da interfile e dimensioni delle capezzagne ridotte.

Per quanto riguarda i materiali, si è assistito a un progressivo abbandono dell'acciaio a vantaggio del polietilene e della fibra di vetro, caratterizzati da una buona resistenza all'usura e all'aggressione dei formulati commerciali, oltre che da una migliore lavorabilità. Con questi materiali è stato possibile dare al contenitore la forma più idonea, sagomandolo in modo da sfruttare al meglio i volumi a disposizione sulla macchina.

L'aumento delle dimensioni e della complessità delle forme ha tuttavia determinato la necessità di disporre di sistemi di agitazione adeguati alle esigenze di mantenere costante la concentrazione del prodotto nella miscela da distribuire.

La portata della pompa è progressivamente aumentata. Le pompe più utilizzate oggi sono quelle a pistone-membrana, meno costose di quelle a pistoncini che fino a un decennio fa si riteneva fossero destinate a prendere il sopravvento. Tale ipotesi di mercato era legata alla rapida usura delle membrane dovuta all'effetto di alcuni solventi utilizzati come coformulanti di prodotti fitoiatrici, che sono stati in questi ultimi anni progressivamente abbandonati anche per ragioni di carattere ambientale.

I primi ugelli erano a turbolenza con piastrina in ottone e rompi-flusso in ottone, essi producevano un getto a cono vuoto e sono stati per anni la base del sistema di polverizzazione del liquido da irrorare. Successivamente sono stati sviluppati ugelli a fessura, in grado di produrre un getto a forma di ventaglio e a specchio. Anche il loro materiale di costruzione ha subito una notevole evoluzione.

Gli ugelli vengono oggi per lo più realizzati con materiali resistenti all'usura quali l'acciaio e la ceramica, che permettono, rispetto all'ottone, una maggiore durata nel tempo del sistema di polverizzazione.

Dalla fine degli anni '80 del secolo scorso, gli ugelli vengono prodotti con una colorazione che facilita l'individuazione della portata che sono in grado di fornire alla pressione di riferimento di 3 bar secondo una standardizzazione riconosciuta a livello mondiale (ISO 5082).

L'elettronica e i computer hanno indubbiamente svolto un ruolo determinante nello sviluppo delle macchine irroratrici in questo ultimo ventennio. La possibilità di poter disporre di strumentazioni elettroniche tecnologicamente sempre più avanzate e affidabili, oltre che di costo contenuto, ha sollecitato i ricercatori e i tecnici a sviluppare specifici

sensori, sistemi di controllo e software per il settore agricolo. A partire dagli inizi degli anni '90 soprattutto in America e nel Nord Europa, l'applicazione dell'elettronica è diventata un elemento di base per le tecnologie alla base dell'AP.

Diverse sono le soluzioni tecniche applicate alle macchine irroratrici, con la finalità di migliorare la distribuzione degli antiparassitari alla vite e che prevedono l'impiego dell'elettronica. Fra queste vanno ricordati i sistemi realizzati, con il finanziamento del ENAMA, dalla sezione di meccanica del DEIAFA dell'Università di Torino. Essi risultano in grado o di adeguare la distribuzione alle caratteristiche dimensionali e vegetative del vigneto o di regolare l'erogazione in funzione della pendenza del terreno o della presenza o meno e della dimensione della pianta da trattare.

Grazie all'impiego di tali sistemi è possibile ridurre dal 10 al 45%, in funzione della dimensione delle piante, del loro sviluppo vegetativo e del sesto d'impianto, la quantità di prodotto chimico distribuita senza modificare l'efficacia dell'intervento fitoiatrico.

2.2 Problematiche ambientali e soluzioni operative nel campo dei trattamenti antiparassitari

L'applicazione delle miscele fitoiatriche viene oggi sempre più vista come parte di una filiera di operazioni composte da differenti fasi per ciascuna delle quali occorre seguire scrupolosamente tutti gli accorgimenti necessari per ottimizzare l'efficacia dei trattamenti, minimizzarne l'impatto ambientale e salvaguardare la salute dell'operatore.

Per soddisfare queste esigenze, occorre che gli agricoltori siano in grado di adottare le scelte operative più idonee per le specifiche situazioni colturali e che conoscano in modo approfondito i criteri di regolazione delle macchine irroratrici. La riduzione delle perdite di prodotto è un obiettivo da perseguire principalmente attraverso una corretta taratura dell'irroratrice. Ulteriori vantaggi possono essere ottenuti impiegando attrezzature innovative, equipaggiate con dispositivi in grado di limitare le perdite di prodotto, in particolare di quelle legate alla deriva, e concepite nell'ottica di un maggiore rispetto ambientale nel corso dei trattamenti fitoiatrici.

Dal punto di vista ambientale, come già ricordato, è estremamente importante contenere le perdite di prodotto che, inevitabilmente, si registrano distribuendo i prodotti fitosanitari sulle colture.

Diversi studi, infatti, hanno evidenziato come, nel corso dei trattamenti fitoiatrici alle colture arboree, una parte considerevole della miscela erogata dalla macchina irroratrice

vada dispersa al di fuori del bersaglio (a terra, al di fuori dell'appezzamento trattato per effetto della deriva), specialmente nelle prime fasi dello sviluppo vegetativo della coltura.

Le perdite di prodotto rappresentano un costo aggiuntivo per l'agricoltore, oltre che una fonte di inquinamento dell'ambiente, pertanto ridurle significa ottenere dei benefici di carattere sia economico che ambientale.

Tra i fattori che influenzano l'entità delle perdite di miscela fitoiatrica in fase di distribuzione sono da ricordare le condizioni ambientali in cui si opera, in particolare velocità del vento, temperatura e umidità relativa, l'entità dello sviluppo della vegetazione e, soprattutto, le scelte operative adottate dall'agricoltore per effettuare i trattamenti. I criteri con i quali vengono regolate le macchine, infatti, incidono in maniera determinante sulla percentuale di prodotto dispersa al di fuori del bersaglio. La loro regolazione deve essere effettuata tenendo conto delle caratteristiche della vegetazione e del meccanismo d'azione del fitofarmaco: quelli che agiscono per contatto, infatti, richiedono l'impiego di gocce più fini rispetto a quelli sistemici, in grado di traslocare nella pianta.

L'esigenza di coprire il bersaglio utilizzando gocce fini, tuttavia, non si deve tradurre nella scelta di parametri operativi inadeguati, quali pressioni di esercizio troppo elevate o dimensioni dell'orifizio degli ugelli troppo piccole. Le gocce troppo fini, infatti, sono più soggette al fenomeno della deriva ed evaporano rapidamente (talvolta ancora prima di raggiungere il bersaglio).

Un altro parametro da tenere in considerazione è il volume di distribuzione che si intende applicare; occorre sceglierlo in funzione dell'epoca di intervento e del tipo di coltura, ma in termini generali è consigliabile operare con volumi ridotti, sufficienti a garantire la copertura del bersaglio e l'efficacia del fitofarmaco. Impiegando volumi d'acqua elevati, invece, si aumenta il rischio di ruscellamento della miscela applicata sul bersaglio, e di conseguenza, risulta maggiore l'incidenza delle perdite a terra.

Da alcuni anni, sono entrate in vigore nell'Unione Europea misure legislative che regolano i criteri con i quali devono essere condotti i trattamenti fitoiatrici al fine di ridurre i rischi di inquinamento ambientale dovuti al fenomeno della deriva, ossia della dispersione di parte della miscela applicata al di fuori dell'area trattata.

In particolare, tali norme prevedono il mantenimento di fasce di rispetto, in corrispondenza dei margini del campo, che hanno la funzione di salvaguardare le aree adiacenti dagli effetti negativi legati alla deriva del prodotto fitoiatrico. L'ampiezza delle zone di rispetto, generalmente compresa fra 1 e 10 m, è definita in funzione del tipo di attrezzatura impiegato per la distribuzione del fitofarmaco, della dose di prodotto utilizzata,

delle caratteristiche delle aree adiacenti (altre coltivazioni sensibili al fitofarmaco distribuito, corsi d'acqua superficiali, aree abitate).

Gli agricoltori che utilizzano macchine irroratrici dotate di dispositivi per il contenimento della deriva sono autorizzati a ridurre l'ampiezza delle zone di rispetto, quindi a trattare una superficie maggiore e ciò, in alcune condizioni, rappresenta una differenza, anche in termini economici, non trascurabile.

In particolare, fra i sistemi in grado di limitare gli effetti della deriva si ricordano gli ugelli antideriva che, producendo gocce mediamente più grandi rispetto agli ugelli tradizionali a parità di pressione di esercizio e di portata, fanno sì che il getto erogato sia meno sensibile alle sollecitazioni delle correnti d'aria.

Le irroratrici per il vigneto possono essere anche dotate di sistemi per il recupero del prodotto che oltrepassa la vegetazione, o ancora di sensori in grado di rilevare la presenza e l'intensità del vento atmosferico e in funzione dell'entità di quest'ultimi, regolare opportunamente la macchina irroratrice (attivazione degli ugelli antideriva, regolazione della velocità e della direzione dell'aria erogata dal ventilatore).

Il problema della deriva si sta evidenziando anche a livello normativo. Sono, infatti, in fase di redazione delle norme che consentiranno di classificare le macchine irroratrici in funzione della loro capacità o meno di contenere la deriva.

Nella pratica ciò si tradurrà nella necessità di dover rispettare buffer zones di differenti entità in funzione della classificazione delle macchine irroratrici.

Oltre a questi ugelli, per ridurre il fenomeno della deriva, sono state messe a punto delle irroratrici equipaggiate con sistemi per la chiusura del flusso d'aria su ciascun lato della macchina. Queste hanno come vantaggio quello di modulare il flusso d'aria evitando la dispersione del prodotto erogato al di fuori dell'area trattata durante la distribuzione sui filari di bordo.

Un'altra soluzione adottata per ridurre la deriva è stata quella di equipaggiare le macchine con sistemi di compensazione della pressione di esercizio nelle sezioni di barra (ritorni calibrati).

2.3 Sensoristica e controllo della deriva

Ci sono anche sistemi che permettono trattamenti localizzati (di precisione) attraverso l'ausilio di sensori, tra cui i sensori ad ultrasuoni che riescono a riconoscere la presenza del bersaglio e che sono associati ad ugelli con controllo elettrico. Questi sensori permettono, nel

migliore dei casi, un risparmio del prodotto compreso tra il 10% e il 45%, con una riduzione della deriva potenziale fino al 70%.

Questi sensori riescono a rilevare la presenza e le dimensioni della vegetazione da trattare e hanno il vantaggio di poter avvicinare il punto di erogazione al bersaglio e di adattare l'erogazione allo stesso attraverso l'orientamento del getto.

Per garantire il buon funzionamento di questi sensori, è necessario installarli sul lato del serbatoio, in modo che non abbiano interferenze. È necessario, inoltre, scegliere sensori con raggio e forza del segnale adeguati, in quanto la corteccia degli alberi non è un buon riflettore per i sensori ad ultrasuoni.

Nel luogo di installazione, è opportuno tenere in considerazione i limiti del cono sonoro e ridurli del 20%, per evitare gli effetti degli spruzzi degli atomizzatori o nebulizzatori a breve distanza.

I sensori ad ultrasuoni rilevano i singoli alberi e bloccano, temporaneamente, il processo di nebulizzazione tra un albero e l'altro. In questo modo, si abbattano i costi e si ottimizza il tempo perché non sarà più necessario riempire frequentemente il serbatoio.

I sensori a ultrasuoni e ottici possono essere utilizzati con macchine che producono un flusso d'aria più o meno orizzontale, come gli ugelli a ventaglio a flusso incrociato o gli ugelli pneumatici a getto d'aria diretto. In questo caso, il segnale proveniente dai sensori, insieme ai dati sulla velocità di avanzamento delle macchine e la distanza costante tra i sensori e gli ugelli, vengono utilizzati in un algoritmo ottimizzato per aprire e chiudere gli ugelli individuali in base alla presenza o all'assenza rilevate del raccolto (Doruchowski & Holownicki, 2000).

Le prestazioni di un prototipo di macchine elettroniche sono state inizialmente testate da Giles et al. (1987,1988). Il sistema si basava su trasduttori di portata ad ultrasuoni ed era montato su una macchina pneumatica. I trasduttori ad ultrasuoni hanno misurato la distanza dal fogliame della struttura dell'albero e le loro prestazioni non sono state influenzate dalla velocità del suono. Le applicazioni successive si sono concentrate sull'interruzione dell'erogazione di spray in assenza di vegetazione. Diverse tecnologie per il rilevamento della vegetazione (Jaeken, P., Doruchowski, G., Holownicki, 1997) hanno utilizzato un sistema di analisi dello spettro per attivare e disattivare i singoli ugelli. Anche (Balsari, P., Tamagnone, 2007) hanno intrapreso un approccio simile con un sistema di controllo ad ultrasuoni montato su una macchina pneumatica, segnalando alcune difficoltà nell'identificare piccoli spazi nella vegetazione a causa dell'ampio campo visivo dei sensori.

La potenziale applicazione dei sensori a ultrasuoni include la gestione dei frutteti basata sulla rapida quantificazione del volume degli alberi e, secondo (Zamahn & Salyani, 2004) le informazioni potrebbero anche essere utilizzate nell'applicazione a tasso variabile di prodotti agrochimici (Gil, Escolà, Rosell, Planas, & Val, 2007).

(Moltó, Martín, & Gutiérrez, 2001) hanno sviluppato un prototipo in grado di interrompere l'erogazione negli spazi tra la vegetazione e di adattarsi anche alla variazione del volume della chioma all'inizio e alla fine di ogni albero permettendo di distribuire due diverse portate a seconda del volume della vegetazione.

Il primo approccio alla proporzionalità continua è stato sviluppato da (Rosell, J.R., Nogue´s, A., Planas, 1996) che hanno sviluppato un prototipo con una risposta proporzionale operante su una sezione con braccio a tre ugelli (come primo tentativo di testare la fattibilità di una tale tecnologia). In seguito a questo lavoro, nel 2001 un nebulizzatore è stato dotato di sensori e elettrovalvole per ottenere una distribuzione proporzionale come descritto in (Solanelles, F., Planas, S., Escolà, A., Rosell, 2002).

L'applicazione selettiva con individuazione precisa del sistema target deve garantire uniformità di applicazione e un ampio risparmio sul liquido distribuito senza influenzare l'efficacia biologica. Questa ipotesi è stata confermata da che non hanno ottenuto differenze significative tra la tecnica con sensore e l'applicazione convenzionale nel controllo di psille di pere (*Cacopsylla pyri*) e acari di foglie e gemme (*Aculus schechtendali*).

Informazioni dettagliate sulle caratteristiche della struttura della pianta sono necessarie per un'adeguata gestione dell'albero e di vigneti, non solo per quanto riguarda l'applicazione di pesticidi, ma anche per la gestione delle risorse idriche, la concimazione, schemi o alternative di potatura, tutti aspetti importanti per raggiungere l'obiettivo principale di un'alta resa e produzione sicura. Le caratteristiche geometriche della chioma dell'albero sono direttamente correlate alla crescita dell'albero e produttività, queste informazioni sono state utilizzate da diversi autori per prevedere la resa, applicazione di fertilizzanti nelle colture di agrumi, consumo di acqua o biomassa (Llorens, Gil, Llop, & Escolà, 2011).

La struttura delle piante di alberi o viti varia enormemente a seconda della fase vegetativa, del sistema di allevamento, varietà e densità delle piante, e tutti questi cambiamenti influenzano il rapporto tra la potenza dell'irroratore e il deposito ottenuto sulla coltura target. Applicazioni di pesticidi senza alcuna considerazione della struttura vegetativa delle colture sono in contraddizione con il principio generale secondo cui l'applicazione fogliare dovrebbe risultare in depositi simili, indipendentemente dalla dimensione del raccolto o dalla densità della chioma. Questo obiettivo porterà ad un notevole aumento di

efficacia ed efficienza durante il processo, riducendo la quantità totale di agrofarmaci richiesti, in linea con le recenti tendenze dell'UE ed evitando i problemi più gravi connessi a contaminazione ambientale.

Le caratteristiche della struttura vegetativa possono essere misurate manualmente. In questo caso semplici valori di coltura come l'altezza e la larghezza del raccolto sono facilmente misurabili e da questi valori può essere stimato il volume della struttura vegetativa ottenuta. Questo parametro è stato ampiamente utilizzato da diversi autori ma queste misurazioni manuali assumono una struttura del raccolto omogenea su tutto il campo. Ad esempio, la superficie fogliare totale e l'indice di area fogliare (LAI) comporta un metodo che risulta distruttivo, richiede tempo ed è molto oneroso. Consiste nella defogliazione totale di un'area di coltura campione, i campioni vengono poi misurati (ogni singola superficie fogliare) in laboratorio. Una volta ottenuti i valori vengono estesi a tutta l'area della struttura vegetativa senza tenere in conto qualsiasi variabilità interfilare (Llorens et al., 2011).

Le misurazioni elettroniche della struttura vegetativa nelle coltivazioni arboree non sono nuove. Le pubblicazioni di Giles et al. descrivono l'uso dei sensori ad ultrasuoni per misurare la struttura vegetativa di pescheti e meleti e le informazioni raccolte servivano per migliorare il processo di applicazione degli agrofarmaci.

Il sistema di misurazione era basato su tre differenti sensori ad ultrasuoni piazzati a diverse altezze e montato su un atomizzatore pneumatici.

I sensori a ultrasuoni trasmettono onde sonore ad alta frequenza verso un oggetto e rilevano l'eco riflessa. La distanza tra il sensore e l'oggetto viene quindi calcolata misurando la differenza di tempo tra la trasmissione e la ricezione delle onde.

Misure di distanza di diversi sensori montati verticalmente sono stati usati per calcolare il volume della chioma in frutteti, agrumeti e vigneti.

Tuttavia, a causa della relativa divergenza grandangolare delle onde ultrasoniche, il campo di visione diventa più grande all'aumentare della distanza tra il sensore e la struttura vegetativa (bersaglio), riducendo l'accuratezza delle misure e aumentando la possibile interferenza nella ricezione del segnale di due sensori consecutivi (Llorens et al., 2011).

La caratterizzazione elettronica della struttura vegetativa consente l'implementazione di tecniche con applicazioni variabili in frutteti e vigneti, secondo le quali le dosi di applicazione dei pesticidi sono modificati in base alle caratteristiche della vegetazione rilevate dai sensori a ultrasuoni (Doruchowski, G.; Balsari, n.d.).

In tutti questi casi, il volume della struttura vegetativa è stato stimato ipotizzando una larghezza media delle colture per ogni singola sezione di coltura secondo l'altezza del

posizionamento del sensore sull'atomizzatore. Tuttavia, questa procedura limita e introduce un errore nella stima del volume totale, assumendo una larghezza di coltura costante per ogni singola area di coltura.

L'uso di sensori a ultrasuoni consente di ottenere informazioni interessanti sulla larghezza delle colture e la loro variabilità lungo la fila, ma i limiti generati a causa della gamma di attuazione del sensore e dell'aumento dell'ampiezza dell'onda a seconda della posizione ne ostacola diffusione e appetibilità. Le misurazioni della larghezza del punto devono essere estrapolate in una zona della struttura vegetativa definita, con qualche rischio di errore nello scalare il dato all'intera superficie. Tali misurazioni risultano pertanto molto influenzate dall'ambiente e dall'operatore e non permettono di avere un risultato molto preciso sulla determinazione della struttura vegetativa.

Per cercare di ovviare a questa problematica relativa ai sensori ad ultrasuoni, si sta cercando di applicare sensori basati sulla tecnologia laser, tra cui una delle più utilizzate è il LIDAR. Prima di procedere alla descrizione del LIDAR, occorre descrivere cosa sia la tecnologia laser.

La tecnologia LIDAR è una tecnica di telerilevamento basata sulla misurazione del tempo che l'impulso laser impiega per trasferirsi dal sensore ad un bersaglio e ha il vantaggio che il raggio può essere molto sottile e diverge molto poco. Negli ultimi anni LIDAR è stato utilizzato per la caratterizzazione della struttura vegetativa negli alberi da frutto.

Il fenomeno fisico sul quale si basa il funzionamento del laser è stato per la prima volta teorizzato da Albert Einstein nel 1917 che attraverso la teoria quantistica della radiazione ipotizzò la possibilità di un equilibrio tra materia e radiazioni e quindi la possibilità di una emissione stimolata. La teoria consiste nell'emissione di radiazione elettromagnetica da parte di un atomo o una sostanza che si trova ad uno stato eccitato ed è quindi forzato a cedere parte di tale energia ad una radiazione incidente. Dal punto di vista matematico la formula che lega la frequenza della radiazione incidente all'emissione è data dalla legge di Plank modificata [1].

$$v = (E_2 - E_1) / h \quad [1]$$

Dove v è la frequenza della radiazione; E_2 è l'energia quantica al livello eccitato; E_1 è l'energia al livello quantico inferiore e h è la costante di Plank. La differenza di energia tra i due livelli quantici è l'energia ceduta, sotto forma di radiazione elettromagnetica, al sistema. Dal punto di vista teorico in un composto in equilibrio saranno presenti tante "specie" o

composti al livello quantico superiore quante al livello inferiore, in questo caso il fenomeno di emissione è controbilanciato dal fenomeno di assorbimento. L'aumento netto di emissione stimolata (incremento di intensità) si avrà soltanto quando le specie predominanti sono quelle al livello quantico superiore e quindi l'incremento di frequenza dell'emissione è netto e non controbilanciato dall'assorbimento. Questa ultima condizione è detta di inversione di popolazione ed è l'esatto opposto di una condizione di equilibrio termodinamico, nel quale a predominare sono le specie con livelli quantici inferiori (legge esponenziale di Boltzmann).

Un materiale con inversione di popolazione è detto materiale attivo ed è quindi l'amplificatore (o pompa) nella teoria dell'emissione stimolata. La teoria di Einstein rimase inapplicata fino alla fine degli anni 40 e l'inizio degli anni 50 del 20° secolo quando Willis E. Lamb e R.C. Retherford effettuarono la prima emissione stimolata e A. Kastler propose un sistema ottico di pompaggio applicato poi pochi anni dopo dallo stesso Kastler.

Coevo a questa prima applicazione di pompaggio ottico, Townes nel 1954 mise a punto il primo amplificatore basato sull'emissione stimolata. Egli ottenne l'inversione di popolazione nell'ammoniaca NH_3 raffreddata nell'azoto liquido a 78K, separando fisicamente gli atomi in uno stato energetico superiore adatto ed immettendoli in una cavità risonante, dove amplificavano il segnale esterno che fungeva da innesco per il processo di emissione stimolata. Il segnale amplificato aveva una frequenza di 24GHz e quindi apparteneva alla regione delle microonde. Per questo amplificatore Townes coniò il nome MASER, acronimo di Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation e cioè amplificazione di microonde mediante emissione stimolata di radiazione.

Non è un caso che i primi esperimenti riusciti di inversione di popolazione furono realizzati per le microonde: infatti la probabilità dell'emissione spontanea, che se troppo alta rende difficile il popolamento dei livelli superiori, varia con il cubo della frequenza, risultando pressoché nulla per le onde radio. Inoltre la lunghezza d'onda delle microonde, dell'ordine del centimetro, rende facile la costruzione di cavità aventi le frequenze di risonanza ben definite.

Il suo funzionamento si basa sulla emissione per stimolazione per cui i fotoni emessi hanno le medesime caratteristiche dei fotoni incidenti in direzione e frequenza e viaggiano in fase coi fotoni stimolatori, ovvero, come onde elettromagnetiche, non c'è sfasamento tra le onde che stimolano l'emissione e le onde emesse. Intorno al 1920 Einstein scoprì che irradiando gli atomi eccitati con fotoni di energia ΔE l'emissione di fotoni viene stimolata.

I MASER furono e sono tuttora utilizzati come amplificatori preliminari in strumenti atti a ricevere segnali estremamente deboli. Le principali applicazioni MASER sono legate al campo della radioastronomia e alla ricezione radar

Il LASER è stato inventato, a livello teorico, nel 1958 da uno scienziato americano, Charles H. Townes e realizzato, per la prima volta da due americani, T. H. Maiman e A. Javan, e dai russi N.G. Basov e A.M. Prochorov, negli anni '60.

Il LASER è un dispositivo in grado di emettere radiazioni luminose di tipo coerente, cioè con tutti i raggi in fase, e monocromatico, cioè composte da un solo colore e quindi da una sola frequenza. Il raggio LASER ha anche la caratteristica di essere fortemente concentrato al punto da potersi considerare perfettamente rettilineo. Il suo diametro è dell'ordine del millesimo di millimetro.

I primi LASER sperimentali, utilizzavano come materia prima un rubino, cioè una pietra preziosa di colore rosso intenso, posto fra due specchi paralleli e circondato da un tubo di vetro contenente gas che veniva sottoposto a scariche luminose di tipo impulsivo. Da un punto di vista chimico il rubino è costituito da sesquiossido di alluminio contenente atomi di cromo che gli conferiscono un colore rosso intenso

I lampi luminosi di luce policromatica e incoerente, prodotti dalla lampada flash che circonda il rubino, eccitano gli atomi di cromo che spostano i loro elettroni dell'ultima orbita in posizione ancora più esterna.

In condizioni normali, questi elettroni decadono nell'orbita più bassa in istanti successivi del tutto casuali e quindi imprevedibili, restituendo l'energia ricevuta, sotto forma di fotoni tutti con la stessa energia luminosa e quindi dello stesso colore, ma diretti però, in ogni direzione. Questo è un tipo di emissione fotonica naturale

Il LASER è in grado di produrre un'emissione stimolata a seguito della sua struttura di specchi paralleli, di cui uno perfettamente riflettente, ed uno semiriflettente, detta di tipo FABRY – PEROT dal nome degli scienziati che li hanno inventato.

Questo sistema trova applicazione in diversi campi, ma non nel nostro ambito di applicazione, ovvero l'agricoltura.

Per renderlo utilizzabile in ambito agronomico e inserirlo quindi dentro il concetto di AP, è necessario accoppiarlo ad un altro dispositivo, che è sostanzialmente un ricevitore.

Questo dispositivo riceve la radiazione riflessa dagli oggetti e tramite il tempo intercorso tra l'emissione e la ricezione stabilisce la distanza e identifica anche la posizione di quel punto, se è presente sull'intero dispositivo una piattaforma inerziale caratterizzata da: GPS; inclinometro, giroscopio; che permettono un monitoraggio della dinamica di un mezzo in

movimento, il quale può essere utilizzato dal computer o centralina di bordo per attuare eventuali correttivi.

Il dispositivo LASER con il suo ricevitore è un dispositivo a sé stante, che prende il nome di LIDAR.

Quindi un sistema LIDAR è composto sostanzialmente dalle seguenti componenti: LASER, scanner e ottica, ricevitore ed elettronica, sistemi di localizzazione e navigazione. La velocità con cui l'immagine è creata è determinata anche dalla velocità della scansione meccanica del fascio laser. Ci sono molti modi di costruire uno scanner ottico: specchi piani oscillanti, specchi poligonali, specchi rotanti, scanner poligonali o una combinazione di questi. La scelta delle ottiche influenza la risoluzione angolare e la distanza minima e massima a cui il lidar è efficace. Il segnale di ritorno è raccolto con uno specchio forato o con un divisore di fascio.

Il LIDAR quindi permette di identificare una distanza, un angolo dal punto di immissione, quindi una posizione sul piano tridimensionale, perché abbiamo la posizione lungo lo spostamento, l'inclinazione e la distanza.

Queste tre componenti ci permettono di definire la struttura dell'oggetto o degli oggetti che si stanno indagando. Un semplice LASER questa individuazione non la può fare perché quest'ultimo emette solo radiazione.

Il lidar per queste sue caratteristiche trova applicazione in ambito agronomico perché ci può definire una struttura, la posizione di un punto.

Ci sono state diverse applicazioni scientifiche in ambito agronomico.

Tumbo et al. (2002) hanno usato uno scanner laser posizionato su un'asta verticale per misurare il volume della struttura vegetativa di agrumi e ha ottenuto un buon risultato in termini di stima dei volumi della struttura vegetativa, specialmente in un appezzamento dove ci sono numerose zone con fallanze.

Questa applicazione sta riscuotendo successo, tanto è vero che Rossel et al. hanno concluso che un sistema LIDAR è in grado di misurare le caratteristiche geometriche delle piante con una precisione sufficiente per la maggior parte delle applicazioni agricole.

Il sistema LIDAR, oltre ad essere utilizzato in applicazioni agricole, trova applicazione anche in altri settori come la rappresentazione di strade, edifici e zone costiere da veicolo o imbarcazione. In questo ambito è necessario associare il LIDAR ad uno strumento di navigazione, utilizzando un sistema inerziale e un sistema Gps. Può monitorare, inoltre, le distribuzioni e i cambiamenti del particolato atmosferico su grandi aree in tempo reale, mentre gli strumenti di monitoraggio dei punti possono misurare solo le concentrazioni locali

(A.Y.S. Cheng, A. Viseu, F.K.C. Leong, C.S. Chan, K.S. Tam, 2005);(J. Kar, M.A. Vaughan, Z. Liu, A.H. Omar, C.R. Trepte, J. Tackett, T.D. Fairlie, 2015); (L. Cavellin, S. Weichenthal, R. Tack, M. Ragettli, A. Smargiassi, 2016); (J. Xian, D. Sun, W. Xu, C. Tian, Q. Tan, Y. Han, 2019); (Y. Wang, M.E. Pawlowski, S. Cheng, J.G. Dwight, R.I. Stoian, J. Lu, D. Alexander, 2019).

A fronte di quanto argomentato, il lavoro di tesi si inserisce in un progetto più ampio che sta valutando l'applicazione di una metodologia LIDAR per ottimizzare la distribuzione di fitofarmaci. Obiettivo della tesi è di misurare l'efficacia dei diversi dispositivi di regolazione del flusso di prodotti fitosanitari, e per questo motivo si è cercato di rendere quanto più standardizzabili e ripetibili le diverse fasi del processo di elaborazione dati.

Capitolo 3: MATERIALI E METODI

Lo studio ha messo a punto un sistema veloce e replicabile per procedere alla verifica della qualità di lavoro di macchine per la distribuzione di antiparassitari.

L'obiettivo specifico è la verifica delle caratteristiche di lavoro di un cantiere che effettua trattamenti. Nel caso esaminato, la macchina è dotata di un sensore per il controllo del funzionamento della barra in funzione della presenza o assenza di vegetazione mediante un sonar. Il sistema progettato è stato testato per verificare la qualità del lavoro con e senza l'attivazione del sensore.

3.1 Cantiere studiato

Per la prova è stata utilizzato un atomizzatore trainato monoasse, senza ruote sterzanti, con frammentazione meccanica e trasporto pneumatico. Prodotta dalla ditta Sae, modello Defender Turbmatic 91 DP/1500, la macchina è costituita da: un serbatoio in vetroresina dalla capacità di 1500 litri, ventilatore assiale ad aspirazione anteriore con diametro di 910 mm, ugelli a cono a circuito centralizzato disposti su barra verticale con flusso d'aria tangenziale. La macchina è in grado di coprire una larghezza interfilare compresa tra i 3 e i 6 metri e un'altezza di distribuzione massima compresa tra i 5 e i 6 metri.

Inoltre, l'atomizzatore è dotato di due sensori ad ultrasuoni SICK UM30, muniti di display a led, un'uscita di emissione diritta, una risoluzione maggiore o uguale a 0,18 mm, con accuratezza all'incirca dell'1% e tempo di inizializzazione inferiore ai 300 ms (Foto 3-1). Il trattore abbinato è un Landini Rex 100.



Figura 3-1: Cantiere utilizzato: atomizzatore Turbomatic della SAE e trattore Rex 100 della Landini

3.2 Rilievi di campo

La prova è stata effettuata in data 1 agosto 2019 in un vigneto di proprietà della cantina Mattei, ubicata in località Montecarotto (coordinate GPS: 43.544944, 13.059919) (Foto 3-2). Il vigneto è stato volutamente scelto perché presentasse fallanze lungo i diversi filari ed uno sviluppo della chioma molto irregolare (Foto 3-3 e 3-4). Tale scelta è stata attuata perché utile a verificare la capacità del sistema di captazione e di analisi di cogliere le caratteristiche qualitative del funzionamento della macchina. Nel caso specifico si è voluto verificare se i diversi dispositivi di regolazione del flusso di distribuzione del prodotto fitosanitario funzionassero correttamente, interrompendo l'erogazione nei punti vuoti lungo il filare e non solo al termine del filare stesso. Non è stata utilizzato alcun prodotto fitosanitario, ma si è simulato il trattamento utilizzando soltanto acqua. Il trattamento è stato effettuato ad una velocità di circa 8 km/h, utilizzando i parametri e le modalità di utilizzo dell'azienda Mattei.



Figura 3-2: Immagine satellitare dell'appezzamento oggetto della prova



Figura 3-3: Panoramica dei filari e sviluppo della chioma di alcune viti del vigneto scelti per la prova



Figura 3-4: Dettaglio dello sviluppo della chioma di alcune piante, peraltro rappresentative, del vigneto

Sono stati considerati come aree di saggio due filari del vigneto: il filare 1 è stato sottoposto a distribuzione effettuata inattivando il sonar (controllo); il filare 2 è stato trattato utilizzando il dispositivo ad ultrasuoni (Figura 3-5).

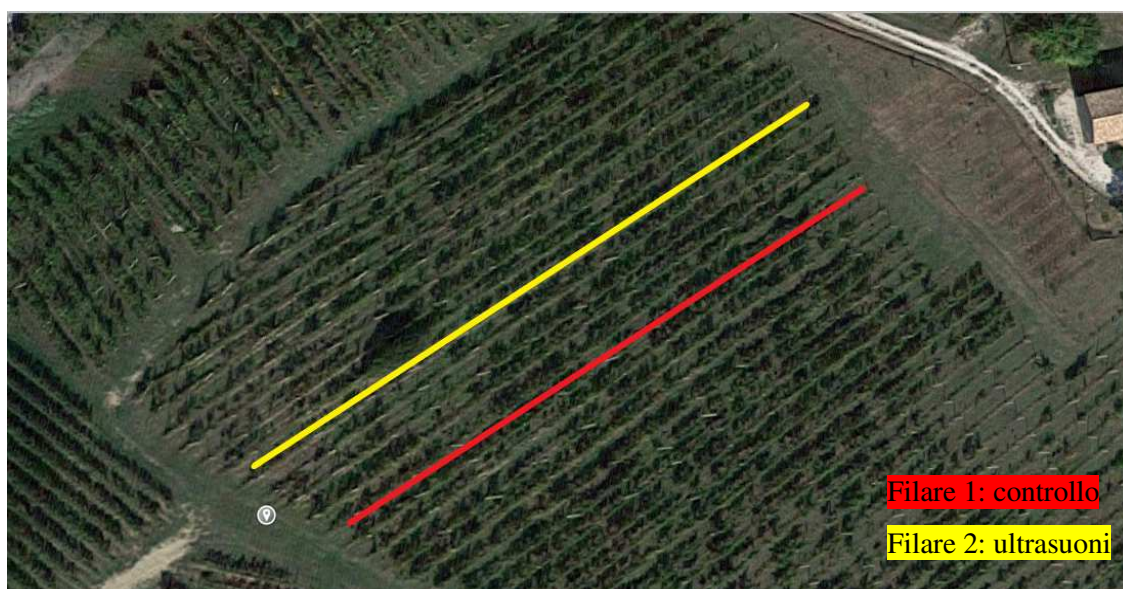


Figura 3-5: Riferimento spaziale dei filari scelti per la prova

I due filari sono stati scelti opportunamente spazati per prevenire influenze per effetto di deriva. Inoltre, si è scelto di trattare prima il filare sottovento e dopo un congruo tempo di asciugatura delle cartine, il filare sopravvento (previa rimozione delle cartine dal primo filare).

Lungo i filari, sono state individuate 4 diverse piante (che fossero le più rappresentative possibile del vigneto e il più spaziate possibile) e sulle stesse sono state collocate 10 cartine idrosensibili.

Le strisce di carta idrosensibile (la ditta produttrice in questo caso era Syngenta) si colorano all'impatto di ogni singola goccia di soluzione irrorata permettendo di verificare direttamente il livello e la qualità della bagnatura nelle zone della vegetazione dove sono posizionate. Forniscono una stima immediata della copertura, della qualità delle gocce e dell'uniformità del trattamento. La dimensione standard di tali cartine è di 2,6 cm x 7,6 cm (19,76 cm²)

Queste cartine sono state posizionate secondo uno schema, che tenesse in considerazione sia la parte esterna della vegetazione che la parte interna, in modo da poter valutare la capacità dell'atomizzatore di riuscire ad aprire la vegetazione e conseguentemente valutare l'efficacia nel trattamento.

3.2.1 *Schema di rilievo su pianta*

In particolar modo, le posizioni scelte per collocare le 10 cartine hanno considerato due piani verticali della vegetazione: uno esterno ed uno interno. Sullo strato esterno è stata adottata una disposizione delle cartine a X identificando così: esterno basso destro, esterno centrale, esterno basso sinistro, esterno alto destro, esterno alto sinistro. Per il piano interno la disposizione segue invece uno schema a croce per evitare sovrapposizioni con le cartine dello strato precedente: interno destro, interno sinistro, interno basso, interno alto e infine interno centrale (Figura 3-6). Si include a scopo esplicativo una tabella con i codici utilizzati per l'identificazione. Le diverse collocazioni delle cartine avevano la finalità di essere quanto più rappresentative della chioma del vigneto oggetto della prova e ciascuna cartina è stata nominata secondo un preciso codice, riportato sul retro. Questo per avere un'informazione immediata e prontamente disponibile per evitare di creare confusione.

Oltre a queste cartine, ne sono state posizionate altre 6, 3 per filare, in 3 punti vuoti per (un totale di 9 cartine) a cui è stato attribuito il codice V (nello specifico V1 per il trattamento manuale, V2 per il trattamento ad ultrasuoni) in modo da poter verificare se i dispositivi interrompessero il flusso di prodotto in corrispondenza di questi vuoti o meno. Per poterle posizionare lungo il filare, abbiamo utilizzato del comune filo di rame (Figura 3-7).

Legenda: Codici utilizzati per l'identificazione

ESTERNO	INTERNO
EC: esterno centrale	IC: interno centrale
EBS: esterno basso sinistro	ID: interno destro
EBD: esterno basso destro	IS: interno sinistro
EAD: esterno alto destro	IA: interno alto
EAS: esterno alto sinistro	IB: interno basso

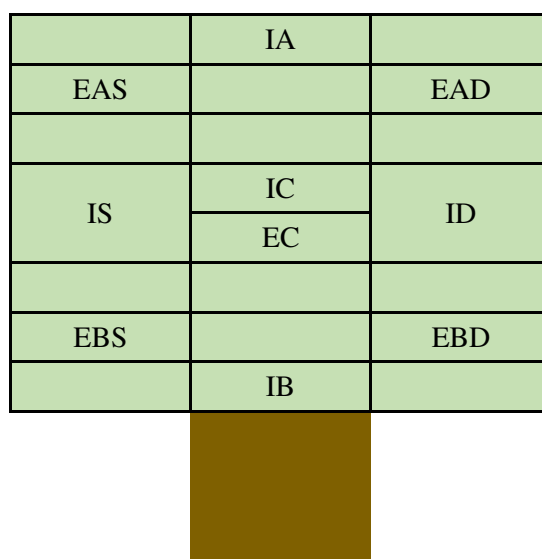


Figura 3-6: Schema adottato per posizionare le diverse cartine nella chioma delle piante di vite (proiezione verticale)



Figura 3-7: Dettaglio della cartina posizionata in uno dei punti vuoti

Le cartine sono state posizionate sulle foglie nelle posizioni stabilite attraverso delle semplici graffette (Figura 3-8), avendo poi l'accortezza, una volta effettuato il trattamento, di rimuoverle facendo in modo di togliere eventuali pezzi di foglia rimasti attaccati alle graffette, che avrebbero potuto alterare la colorazione delle cartine una volta messe nelle apposite buste (per effetto di evaporazione dell'acqua).



Figura 3-8: Cartina assicurata alla superficie fogliare con una graffetta

Ciascuna busta riportava il codice della porzione di filare interessata e all'interno sono state collocate le 10 cartine di riferimento, in modo tale da non confonderle con le altre.

Il trattamento è stato effettuato ad una velocità di circa 8 km/h, utilizzando i parametri e le modalità di utilizzo dell'azienda Mattei.

Le cartine sono state rimosse dopo circa 5 minuti dal termine del trattamento, in modo da avere la sicurezza che si asciugassero per bene.

Una volta prese tutte le cartine, sono state portate in laboratorio per poter elaborare i dati.

3.3 Analisi dei rilievi di campo

Per l'acquisizione e l'analisi delle immagini esistono alcune applicazioni utilizzate in pieno campo che permettono di avere un responso veloce relativo alle caratteristiche qualitative della distribuzione e della struttura delle piante (vitiCanopy). Tuttavia, con tali applicazioni, è difficile ottenere delle immagini scvre dall'influenza delle condizioni ambientali, prima fra tutte la luminosità.

Per tale ragione, si è preferito acquisire e processare le immagini ottenute mediante una procedura da eseguire "off-line" e progettata per la sperimentazione in oggetto. Le fasi della

procedura sono: acquisizione digitale delle immagini impressionate sulle cartine; analisi dei dati mediante software di elaborazione immagini; analisi statistica.

3.3.1 *Preparazione del sistema di acquisizione dati*

Tale fase del lavoro è volta all'acquisizione digitale delle immagini e il lavoro è consistito nell'eliminare la variabilità legata alla discrezionalità delle scelte operative e alle condizioni ambientali. La standardizzazione della fase è stata ottenuta riducendo la distorsione e fornendo un'intensità luminosa costante in tutte le direzioni.

Il primo requisito è stato ottenuto costruendo un supporto per bloccare la fotocamera ad un'altezza costante di 5 cm rispetto al piano di lavoro, dove, in corrispondenza dell'apertura per la fotocamera, è stato fissato un foglio con una griglia che riporta i margini della struttura di supporto della fotocamera e della cartina idrosensibile (dimensioni 2,6 cm x 7,6 cm). Per ridurre l'influenza del fattore luce, sono state collocate sopra la struttura due lampade, che garantiscono una luminosità costante in termini di intensità e di inclinazione, eliminando eventuali ombre.

3.3.2 *Acquisizione ed analisi dei dati*

Il post processamento delle immagini, acquisite in formato jpg, ha previsto una serie di trasformazioni di formato. Ciò si è reso necessario perché, benché il formato jpg sia il più diffuso standard di compressione delle immagini fotografiche, ha il difetto di essere un'immagine raster e, quindi, a risoluzione definita.

Prima trasformazione è stata la conversione dei files jpg nei formati eps e pdf mediante il software online Vector Magic. Il formato eps è un formato vettoriale ed è un file di testo, scritto nel linguaggio PostScript creato da Adobe, che codifica l'immagine e ne consente la riproduzione perfetta della stessa anche in scala o deformandone le dimensioni. Il formato eps è uno dei più stabili e difficilmente può essere modificato dopo la sua trasformazione.

Successivamente, oltre al file eps¹, per ciascuna cartina, il software Vector Magic ha prodotto un file pdf che è stato utilizzato come alternativa al formato jpg per ridurre la pesantezza del file stesso.

¹ Il file EPS invece, come già detto, è un formato vettoriale e con un vettore, a differenza di un'immagine raster, è possibile modificare rapidamente testo, forme, colori e altri elementi. Poiché i vettori si basano su punti e piani, piuttosto che pixel, è possibile ridimensionarli senza perdere risoluzione.

Per rendere i file vettoriali utilizzabili dal software scelto per il post processamento, cioè QGIS, il formato eps è stato convertito con un software on line open access in file di formato dxf, lo standard più utilizzato per lo scambio di dati tra i diversi programmi di disegno e di grafica vettoriale. Inizialmente nato per AutoCAD, è divenuto rapidamente uno standard, adottato in modo universale nel campo della grafica tecnica.

I file convertiti sono stati caricati su QGIS. La scelta di adottare questo programma è stata dettata dal fatto che è gratuito e che sia ampiamente supportato da una grandissima comunità di operatori che contribuiscono all'implementazione del programma stesso e alla risoluzione di eventuali problemi di utilizzo, rendendo tale strumento di facile applicazione.

Il file dxf può essere letto anche da QGIS perché riesce a leggere file di origine CAD ma non riesce a modificarli. In generale il formato identifica un file di tipo lineare, quindi QGIS legge l'informazione come se fosse una polilinea.

Per renderlo modificabile dal software, si è ricorso all'uso del plugin GRASS, al cui interno sono inclusi degli algoritmi per la trasformazione di file raster e vettoriali. Dopo aver importato ciascun file dxf dentro GRASS, si è ricorso agli strumenti di trasformazione vettoriali, trasformando il vettore lineare in vettore linea chiusa.

GRASS, in pratica, ha delimitato le aree che prima il sistema non riconosceva come delimitate.

Una volta creati tutti i file leggibili e modificabili dal software, si è intervenuti eliminando tutte le geometrie superflue, che derivavano da una visualizzazione delle ombre sulle cartine.

I file, una volta puliti dalle geometrie superflue, hanno subito un'ulteriore modificazione nella codifica dell'informazione contenuta, assumendo il formato shp per permettere il supporto degli strumenti di calcolo vettoriale.

Tale strumento è stato applicato tramite l'uso di un algoritmo di QGIS, presente sulla barra degli strumenti (strumento di trasformazione in poligoni). Così facendo si è trasformato ciascun file a linea chiusa in file vettoriale di tipo poligonale ed è stato possibile ricavare i dati di interesse, in particolare, il numero di poligoni presenti all'interno di ciascuna cartina, l'area e il perimetro.

Ottenuti gli shp file si è reso necessario definire dei riferimenti spaziali per ciascuna immagine, necessario per trasformare l'informazione assoluta data da QGIS in un'informazione relativa, adimensionale, slegata dalla dimensione spaziale imposta dal software (nato per l'analisi di spazi geografici e non di superfici limitate come le cartine idrosensibili) ma riferibile alla superficie reale della cartina.

Per perseguire questo scopo, sono stati utilizzati i file pdf, successivamente georeferenziati² utilizzando come riferimento i file dxf. La georeferenziazione è stata effettuata utilizzando un plugin gratuito scaricabile da QGIS. Per la georeferenziazione è stata utilizzata un'espressione di manipolazione del tipo polinomiale 1³, che necessita di almeno 4 punti, spaziosi il più possibile per permettere una trasformazione accurata, che sono stati fissati utilizzando come maschera il file dxf. La trasformazione polinomiale di primo grado (affine) permette di conservare la collinearità dei punti, e consente solamente di scalare, traslare e ruotare l'immagine. Quindi il polinomiale 1 era il tipo di trasformazione più indicato per il nostro scopo.

Oltre a questo, per tutti i file è stato impostato lo stesso sistema di riferimento, al fine di rendere confrontabile tutti i risultati.

Per verificare la bontà della georeferenziazione, si è utilizzato un sistema empirico, disattivando la visualizzazione di uno dei due file (shp e pdf) in rapida successione e valutandone la sovrapposizione.

Alla fine della preparazione del sistema, i dati di interesse calcolati per ogni cartina sono il numero di poligoni all'interno di ogni singola immagine, il perimetro e l'area di ciascun poligono e l'area totale della cartina.

Dal punto di vista metodologico, è importante sottolineare anche il metodo utilizzato per la gestione della grande mole di file prodotti, in considerazione del fatto che il programma open source generalizza la visualizzazione di file simili. In dettaglio, i file sono distinti secondo due ordini di codifica: il primo relativo al codice utilizzato per l'identificazione delle cartine, il secondo relativo al tipo di trasformazione operata.

3.3.3 *Analisi statistica*

Con i dati raccolti tramite QGIS, si è deciso di procedere con delle analisi statistiche per evidenziare la significatività o meno delle risposte di distribuzione della miscela distribuita

²Per georeferenziazione si intende l'attribuzione a un dato di un'informazione relativa alla sua dislocazione geografica; tale posizione è espressa in un particolare sistema geodetico di riferimento. La georeferenziazione è usata nei sistemi GIS, tanto da essere applicata sostanzialmente ad ogni elemento presente: pixel componenti un'immagine raster, elementi vettoriali come punti, linee o poligoni e persino annotazioni.

³Gli algoritmi Polinomiali di grado 1-3 sono i più utilizzati per garantire la maggior coerenza tra i punti inseriti e quelli risultanti dopo la trasformazione. L'algoritmo polinomiale più utilizzato è la trasformazione attraverso un polinomio di secondo grado, che permette alcune curvature.

sulla cartina. In particolare, si è utilizzato il test T Student e il test Anova, gestiti tramite software Excel.

Per il T Student, all'inizio sono state confrontate le singole porzioni di vegetazione prese in esame, mettendo in evidenza per ciascuna di esse la parte esterna e la parte interna.

Il T student è stato considerato a due code, poiché non è dato sapere a priori alcuna informazione riguardo la distribuzione delle medie dei campioni in esame, prendendo in considerazione tre livelli di probabilità per ciascuno (0,05%, 0,01% e 0,001%). Per ciascuno di essi, facendo riferimento ai dati tabellari, sono stati riportati i rispettivi valori calcolati e si è riuscito a confrontare questi valori tabulari con il valore trovato per ogni singola porzione di vegetazione presa in esame.

La stessa analisi statistica è stata fatta pure confrontando i vuoti, in particolar modo mediando i 3 vuoti di ciascun trattamento (controllo e ultrasuoni).

Contrariamente al confronto fatto per le piante (codice P), il confronto statistico fatto per i vuoti è stato mediato (tutti i codici V1 sono stati tra loro mediati, così come i V2). Ciò perché per i vuoti, non sussiste la stessa suddivisione adottata per le piante.

Effettuato il T Student, si è proceduto con un'ulteriore analisi statistica, ossia il test Anova. All'inizio, si sono prese in considerazione le aree di ogni singola cartina e si sono considerate le 4 viti scelte all'interno di ciascun filare (blocchi) e le posizioni delle cartine all'interno di ciascuna vite (trattamenti).

A questo punto, si è calcolato F, la devianza (totale, entro trattamento, entro blocco e infine l'errore), i gradi di libertà (totali, entro trattamento, entro blocco e l'errore) e la varianza (totale, entro trattamento, entro blocco e infine l'errore).

Si è proceduto poi al calcolo di F entro trattamento ed entro blocco, ottenuto facendo il rapporto tra la varianza del fattore preso in esame e l'errore. Infine, è stato ricavato F tabulare, considerando una probabilità di errore dello 0,01% e facendo il rapporto tra i gradi di libertà del fattore considerato e i gradi di libertà dell'errore.

Una volta ricavati sia gli F calcolati che gli F tabulari, si è passati al loro confronto.

Capitolo 4: RISULTATI

L'acquisizione dei dati in campo e l'analisi dei dati digitalizzati permette di ottenere delle informazioni relative alle caratteristiche della distribuzione della miscela. In particolare, per ogni cartina posta sui filari, è possibile avere la percentuale di superficie coperta e il numero di impatti effettuati. Di seguito, si riportano le due tabelle riassuntive (Tabelle 4-1 e 4-2) per le caratteristiche della distribuzione nella chioma e sulle fallanze.

Tabella 4-1: Risultati dei rilievi, elaborati in funzione di numero di poligoni formati, percentuale di copertura e numero di impatti per unità di superficie

Codice	n° poligoni	% copertura	numero impatti/cm ²	Codice	n° poligoni	% copertura	numero impatti/cm ²
P12EAD	380	2.48%	19	P21EAS	1250	37.91%	63
P12EAS	713	4.69%	36	P21EBD	467	65.21%	24
P12EBD	1104	11.80%	56	P21EBS	1205	39.63%	61
P12EBS	1209	20.34%	61	P21EC	493	3.95%	25
P12EC	660	4.48%	33	P21IA	528	3.33%	27
P12IA	469	2.68%	24	P21IB	178	0.96%	9
P12IB	463	76.47%	23	P21IC	441	2.82%	22
P12IC	91	0.57%	5	P21ID	634	5.13%	32
P12ID	146	0.79%	7	P21IS	348	2.20%	18
P12IS	149	1.08%	8	P22EAD	1170	15.84%	59
P13EAD	918	6.49%	46	P22EAS	1275	29.12%	65
P13EAS	717	10.33%	36	P22EBD	793	7.41%	40
P13EBD	1228	25.88%	62	P22EBS	443	2.80%	22
P13EBS	1425	28.26%	72	P22EC	315	89.86%	16
P13EC	938	7.65%	47	P22IA	82	0.48%	4
P13IA	9	0.18%	0	P22IB	937	48.29%	47
P13IB	895	11.12%	45	P22IC	195	1.45%	10
P13IC	31	0.23%	2	P22ID	774	8.13%	39
P13ID	18	0.10%	1	P22IS	851	5.03%	43
P13IS	307	1.57%	16	P23EAD	1091	37.67%	55
P14EAS	1261	18.77%	64	P23EAS	991	9.46%	50
P14EBD	489	67.92%	25	P23EBD	88	0.65%	4
P14EC	1158	21.04%	59	P23EBS	979	49.43%	50
P14IA	353	2.05%	18	P23EC	1057	43.89%	53
P14IB	1400	16.14%	71	P23IA	1147	12.46%	58
P14IC	51	0.28%	3	P23IB	536	69.49%	27
P14ID	524	3.81%	27	P23IC	155	1.44%	8
P14IS	490	2.79%	25	P23ID	615	5.44%	31
P1EAD	1317	18.22%	67	P23IS	1186	14.72%	60
P1EAS	1119	7.37%	57	P24EAD	74	1.66%	4
P1EBD	1073	29.64%	54	P24EAS	819	56.08%	41
P1EBS	197	2.83%	10	P24EBD	1082	14.53%	55
P1EC	534	3.75%	27	P24EBS	896	20.43%	45
P1IA	840	8.11%	43	P24EC	1256	41.97%	64
P1IB	19	0.10%	1	P24IA	149	0.80%	8
P1IC	1302	27.66%	66	P24IB	315	2.11%	16
P1ID	81	0.56%	4	P24IC	1092	12.51%	55
P1IS	459	74.45%	23	P24ID	499	4.01%	25

Tabella 4-2: Risultati dei rilievi, elaborati in funzione di numero di poligoni formati, percentuale di copertura e numero di impatti per unità di superficie

Codice	n° poligoni	% copertura	numero impatti/ cm ²
V121	1285	33.71%	65
V122	844	8.36%	43
V123	1372	11.53%	69
V231	1352	16.10%	68
V232	1245	36.38%	63
V233	1363	17.45%	69

I risultati, dai quali, da una prima e sommaria lettura, è possibile apprezzarne l'estrema variabilità, possono essere relazionati alla posizione in cui sono stati rilevati. In Tabella 4-3 sono messe in evidenza le differenze tra i valori delle coperture tra i due piani verticali individuati, piano verticale esterno e piano verticale interno, e alle diverse altezze.

Tabella 4-3: Rappresentazione grafica della percentuale di distribuzione nelle diverse piante campione in esame, codificate in funzione dei filari (1 e 2) e dell'ordine di sequenza delle piante (da 1 a 4). I colori corrispondono ad intervalli di copertura: da 0-25%

PIANTA	Piano Verticale interno			Piano Verticale esterno		
P1 1		8.11%				
				7.37%		18.22%
		74.45%	27.66%	0.56%		
					3.75%	
					2.83%	29.64%
			0.10%			
P1 2		2.68%				
				4.69%		2.48%
		1.08%	0.57%	0.79%		
					4.48%	
					20.34%	11.80%
			76.47%			

P1 3			0.18%					
						10.33%		6.49%
		1.57%	0.23%	0.10%				
							7.65%	
						28.26%		25.88%
			11.12%					
P1 4			2.05%					
						18.77%		
		2.79%	0.28%	3.81%				
								67.92%
			16.14%					
P2 1			3.33%					
						37.91%		0.00%
		2.20%	2.82%	5.13%				
								3.95%
						39.63%		65.21%
			0.96%					
P2 2			0.48%					
						29.12%		15.84%
		5.03%	1.45%	8.13%				
								89.86%
						2.80%		7.41%
			48.29%					

P2 3			12.46%					
						9.46%		37.67%
		14.72%	1.44%	5.44%				
							43.89%	
						49.43%		0.65%
			69.49%					
P2 4			0.28%					
						56.08%		1.66%
		16.99%	12.51%	4.01%				
							41.97%	
						20.43%		14.53%
			2.11%					

I valori più bassi di copertura, complessivamente, si sono evidenziati nelle posizioni interne basse del piano verticale interno del P11 e del P13, con una copertura pari allo 0,10%.

Il valore più alto, invece, si è riscontrato nella cartina P22, in posizione centrale del piano verticale esterno con una superficie coperta pari al 89,86%.

Volendo esprimere con un valore medio la copertura prodotta, distinguendo tra i due filari (P1 e P2), le medie sono pari, nel caso del piano verticale interno, all'11,03% e al 10,86% rispettivamente per il filare 1 e 2, mentre per il piano verticale esterno i valori medi sono del 18,19% nel caso del filare 1 e del 28,37% nel caso del filare 2. Il valore medio relativo alla percentuale di copertura per P1 è stato del 13%, quello di P2 20,14%.

Spingendo l'osservazione alla distribuzione sul piano orizzontale, mediamente nella posizione più alta e nella parte intermedia, le coperture sono, in ambedue i casi, del 13,2% e nella parte bassa del 27,1%. In figura (Figura 4-1), si rappresentano i valori medi per le singole piante e alle differenti altezze, tenendo conto dell'insieme dei due piani verticali.

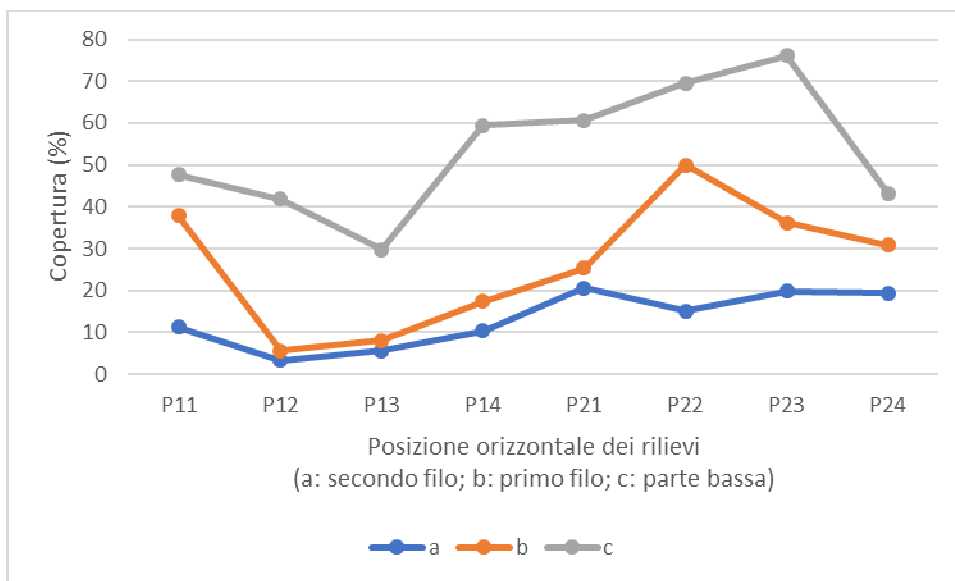


Figura 4-1: Distribuzione della miscela (copertura) intercettata su 3 differenti piani orizzontali

La copertura media a carico dei vuoti è stata del 20,59%, molto vicina alla copertura media del piano esterno, pari al 23,28% (Tabella 4-2).

Per quanto riguarda il numero di impatti per unità di superficie (Tabelle 4-1 e 4-2), in parallelo alla percentuale di copertura, è possibile osservare delle variazioni molto ampie: dall'assenza di impatti a un massimo di 72 impatti/cm² (percentuale di copertura di circa il 30%).

La frequenza del numero di impatti per unità di superficie (Figura 4-2) vede la classe più numerosa (17 casi) nell'intervallo tra nessun impatto e 10 impatti /cm². Seguono gli intervalli tra 21 e 30 (14 casi) e tra 51 e 60 (12 casi). Meno frequenti sono le superfici con impatti compresi tra 11 e 20 (6 casi) e, con la minor frequenza (2 casi) l'intervallo tra 71 e 80 impatti.

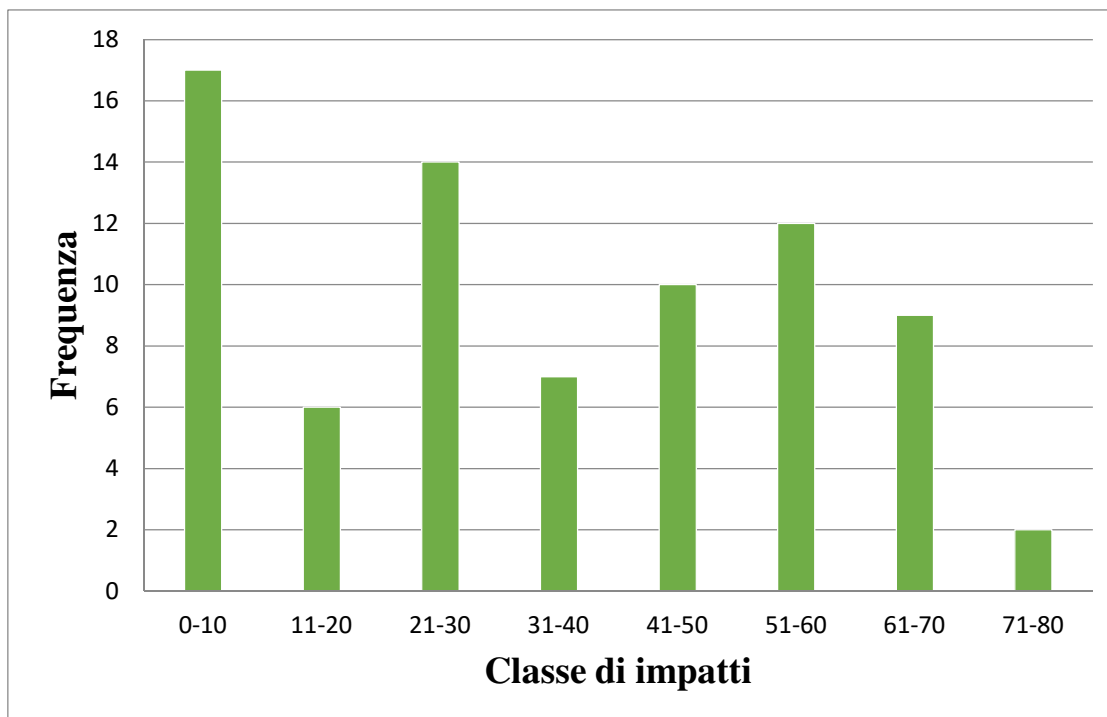


Figura 4-2: Grafico relativo alla frequenza degli impatti (n°/cm^2)

In media, complessivamente, gli impatti nella distribuzione di questa miscela è pari a 36 impatti/cm².

Per i vuoti invece, il numero medio di impatti per cm² è stato di 63, con minimo di 43 in un vuoto del filare 1 e il massimo, pari a 69, in un altro vuoto del filare 1 e un vuoto del filare 2.

Per verificare una corrispondenza tra numero di impatti e copertura della superficie fogliare, si propone una correlazione tra le due variabili (Figura 4-3). Come è possibile osservare la percentuale di copertura aumenta con l'aumentare del numero di impatti/cm² fino a circa 75, con una percentuale di copertura intorno al 30%. Dopo questo punto di massimo, la curva si sposta verso valori crescenti di copertura ma il numero di impatti/cm² non segue lo stesso andamento anzi diminuisce. Questo è probabilmente dovuto al fatto che gocce di miscela si sovrappongono, portando ad un aumento di copertura, ma non ad un innalzamento del numero di impatti/cm².

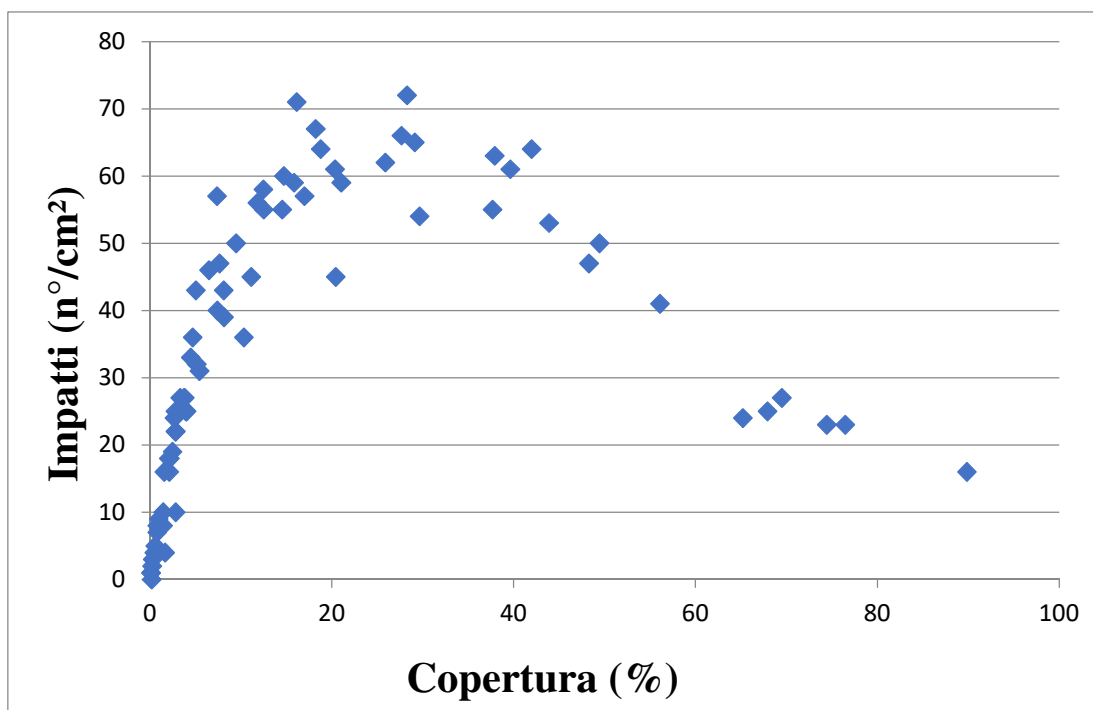


Figura 4-3: Correlazione tra copertura (%) e impatti (n°/cm²)

Volendo relazionare al numero di impatti per unità di superficie alla percentuale di copertura è stato prodotto un grafico di correlazione riportato in Figura 4-3.

Sulla base dell'andamento del grafico di correlazione si potrebbe definire un l'intervallo di confidenza del metodo di analisi delle cartine che per il caso specifico si situa tra lo 0% e il 30% di copertura. Tale intervallo garantirebbe una risposta del parametro impatti/cm² libero dalla problematica della sovrapposizione degli impatti.

Dopo avere effettuato una descrizione utilizzando semplicemente le medie e i valori minimi e massimi riscontrati al fine di fornire una panoramica delle distribuzioni, si è cercato di approfondire le relazioni tra i diversi valori individuati utilizzando dei test statistici (T Student e ANOVA).

Nel test a una coda si sono messi a confronto le posizioni interne ed esterne di ciascuna porzione di filare trattato (P1 e P2) e anche i vuoti, sempre per evidenziare se ci fossero differenze significative tra le parti prese in esame.

In tutte le porzioni, ad eccezione del P1 3 (terza porzione del filare di controllo) e del P2 1, non c'è stata significatività (Tabella 4-4).

Tabella 4-4: Analisi T Student

P1					
EC	32171.5				IC 142080
EAD	105109				ID 4650.6
EBD	111596				IS 140151
EAS	65176.6				IA 59352.8
EBS	14640.6				IB 982.383
Media	65738.7				69443.4
Varianza	1.85E+09				4.82E+09
deviazione standard	42985.46				69394.66
Numerosità campione	5				5
Reciproco della numerosità	0.2				0.2
Gradi di libertà campione	4				4
gradi di libertà totali	8				8
		test a due			
		code			
Test t	valori	α 0.05	α 0.01	α 0.001	Significatività
	-0.10148	2.306	3.355	5.041	ns ns ns
P1 2					
EC	38983.2				IC 4981.83
EAD	21176.9				ID 7441.41
EBD	77573.5				IS 8430.7
EAS	41132.9				IA 24771.7
EBS	110261				IB 134528
Media	57825.5				36030.73
Varianza	1.28E+09				3.09E+09
deviazione standard	35764.02				55613.9
Numerosità campione	5				
Reciproco della numerosità	0.2				
Gradi di libertà campione	4				
gradi di libertà totali	8				
		test a due			
		code			
Test t	valori	α 0.05	α 0.01	α 0.001	Significatività
	0.737053	2.306	3.355	5.041	ns ns ns

P1 3						
EC	63444.8				IC	1732.6
EAD	56523.7				ID	920.036
EBD	115575				IS	15168.4
EAS	62030.6				IA	869.7
EBS	156642				IB	74112.9
Media	90843.22					18560.72
Varianza	1.92E+09					1.00E+09
deviazione standard	43874.28					31642.16
Numerosità campione	5					
Reciproco della numerosità	0.2					
Gradi di libertà campione	4					
gradi di libertà totali	8					
		test a due code				
Test t	valori	α	α	α	Significatività	
	2.987911	0.05	0.01	0.001	ns	ns ns
		2.306	3.355	5.041		
P1 4						
EC	108117				IC	2807.42
EAD	58511.9				ID	31294.6
EBD	139197				IS	26126.9
EAS	108184				IA	18669.5
EBS	58511.92				IB	114384
Media	94504.37					38656.48
Varianza	1.24E+09					1.91E+09
deviazione standard	35216.4					43676.31
Numerosità campione	5					
Reciproco della numerosità	0.2					
Gradi di libertà campione	4					
gradi di libertà totali	8					
		test a due code				
Test t	valori	α	α	α	Significatività	
	2.225805	0.05	0.01	0.001	ns	ns ns
		2.306	3.355	5.041		

P2 1						
EC	33940				IC	24535.7
EAD	63639				ID	39221.8
EBD	130949				IS	20214.4
EAS	138913				IA	30250.7
EBS	145554				IB	9172.24
Media	102599					24678.97
Varianza	2.55E+09					1.26E+08
deviazione standard	50496.29					11213.27
Numerosità campione	5					
Reciproco della numerosità	0.2					
Gradi di libertà campione	4					
gradi di libertà totali	8					
						test a due
						code
Test t	valori	α 0.05	α 0.01	α 0.001	Significatività	
	3.368391	2.306	3.355	5.041	ns	ns ns
P2 2						
EC	128733				IC	12574.3
EAD	95209.5				ID	57188
EBD	52718.7				IS	47304.7
EAS	145744				IA	4307.6
EBS	25289.9				IB	166535
Media	89539.02					57581.92
Varianza	2.55E+09					4.21E+09
deviazione standard	50524.77					64885.27
Numerosità campione	5					
Reciproco della numerosità	0.2					
Gradi di libertà campione	4					
gradi di libertà totali	8					
						test a due
						code
Test t	valori	α 0.05	α 0.01	α 0.001	Significatività	
	0.868936	2.306	3.355	5.041	ns	ns ns

P2 3					
EC	163241			IC	9714.4
EAD	151655			ID	40719
EBD	5127.5			IS	95916.6
EAS	70919.7			IA	81839.6
EBS	131517			IB	155891
Media	104492				76816.11
Varianza	4.35E+09				3.11E+09
deviazione standard	65966.94				55786.53
Numerosità campione	5				
Reciproco della numerosità	0.2				
Gradi di libertà campione	4				
gradi di libertà totali	8				
			test a due		
			code		
Test t	valori	α 0.05	α 0.01	α 0.001	Significatività
	0.716321	2.306	3.355	5.041	ns ns ns
P2 4					
EC	142747.8			IC	85065.93
EAD	5283.1			ID	31895.8
EBD	84536.6			IS	94778.3
EAS	127254.6			IA	7713.3
EBS	90675.6			IB	18945.5
Media	90099.54				47679.77
Varianza	2.84E+09				1.57E+09
deviazione standard	53332.55				39648.79
Numerosità campione	5				
Reciproco della numerosità	0.2				
Gradi di libertà campione	4				
gradi di libertà totali	8				
			test a due		
			code		
Test t	valori	α 0.05	α 0.01	α 0.001	Significatività
	1.427315	2.306	3.355	5.041	ns ns ns

V1		V2						
V121	155672.8	V231	111792					
V122	60490.68	V232	150839.9					
V123	94394.99	V233	118142.1					
Media	103519.5		126924.7					
Varianza	2.33E+09		4.39E+08					
deviazione standard	48242.63		20953.14					
Numerosità campione	3							
Reciproco della numerosità	0.333333							
Gradi di libertà campione	2							
gradi di libertà totali	4							
		test a due code						
Test t	valori	α 0.05	α 0.01	α 0.001	Significatività			
	0.445	2,776	4,604	8,610	ns	ns	ns	

Successivamente, è stata eseguita la valutazione statistica con ANOVA che ha evidenziato che non esistono differenze significative né all'interno dei trattamenti (variabilità analizzata nelle singole piante) né tra i diversi filari (P1 e P2). Infatti, si è riscontrato che l'F calcolato, sulla base dei tre gradi di libertà, è più basso rispetto all'F tabulare corrispondente. Quindi, nonostante la notevole variabilità evidenziata con una prima osservazione, non esistono differenze significative nelle percentuali di copertura (Tabella 4-5)

L'Anova risulta essere un test più performante rispetto al T Student quando si devono considerare confronti a più vie, di conseguenza tenendo in considerazione tutte le valutazioni fatte fino a questo punto, qualsiasi variabilità presente risulta essere non significativa

Tabella 4-5: Risultati test Anova

TRATTAMENTO MANUALE										
	cartine									
blocco	EC	EAD	EBD	EAS	EBS	IC	ID	IS	IA	IB
P1	3.22E+04	1.05E+05	1.12E+05	6.52E+04	\	1.42E+05	4.65E+03	1.40E+05	5.94E+04	9.82E+02
P1 2	3.90E+04	2.12E+04	7.76E+04	4.11E+04	1.10E+05	4.98E+03	7.44E+03	8.43E+03	2.48E+04	1.35E+05
P1 3	6.34E+04	5.65E+04	1.16E+05	6.20E+04	1.57E+05	1.73E+03	9.20E+02	1.52E+04	8.70E+02	7.41E+04
P1 4	1.08E+05	5.85E+04	1.39E+05	1.08E+05	5.85E+04	2.81E+03	3.13E+04	2.61E+04	1.87E+04	1.14E+05
totale	2.43E+05	2.41E+05	4.44E+05	2.77E+05	3.25E+05	1.52E+05	4.43E+04	1.90E+05	1.04E+05	3.24E+05
	1.47E+10	1.46E+10	4.93E+10	1.91E+10	2.65E+10	5.75E+09	4.91E+08	9.01E+09	2.69E+09	2.62E+10
FC	1.41E+11									
	sq	gl	var	fc	ft					
tot	9.15E+10	38	2.41E+09							
trat	2.75E+10	9	3.06E+09	1.228	3.182					
blo	-8.02E+08	3	-2.67E+08	-0.107	4.637					
er	6.47E+10	26	2.49E+09							
TRATTAMENTO CON ULTRASUONI										
	cartine									
blocco	EC	EAD	EBD	EAS	EBS	IC	ID	IS	IA	IB
P2 1	3.39E+04	6.36E+04	1.31E+05	1.39E+05	1.46E+05	2.45E+04	3.92E+04	2.02E+04	3.03E+04	9.17E+03
P2 2	1.29E+05	9.52E+04	5.27E+04	1.46E+05	2.53E+04	1.26E+04	5.72E+04	4.73E+04	4.31E+03	1.67E+05
P2 3	1.63E+05	1.52E+05	5.13E+03	7.09E+04	1.32E+05	9.71E+03	4.07E+04	9.59E+04	8.18E+04	1.56E+05
P2 4	1.43E+05	5.28E+03	8.45E+04	1.27E+05	9.07E+04	8.51E+04	3.19E+04	9.48E+04	7.71E+03	1.89E+04
totale	4.69E+05	3.16E+05	2.73E+05	4.83E+05	3.93E+05	1.32E+05	1.69E+05	2.58E+05	1.24E+05	
	5.49E+10	2.5E+10	1.87E+10	5.83E+10	3.862E+10	4.35E+09	7.14E+09	1.67E+10	3.85E+09	
FC	2.20E+11									
	sq	gl	var	fc	ft					
tot	1.14E+11	39	2.91E+09							
trat	7.29E+09	9	8.1E+08	0.214	3.149					
blo	4.11E+09	3	1.37E+09	0.362	4.601					
er	1.02E+11	27	3.78E+09							

Capitolo 5: DISCUSSIONI

Sulla base dei risultati del lavoro possono essere avviate delle discussioni, relative ai differenti aspetti affrontati.

In primo luogo, l'adattamento del software QGIS alla lettura delle cartine idrosensibili: sistema utile per analisi territoriali, è stato adattato per la lettura di cartine di pochi centimetri quadrati di superficie. La scelta è caduta su tale strumento per alcuni motivi: è un software open access, e quindi gratuito; dato il suo diffusissimo utilizzo, ha una cospicua community in grado di scambiare esperienze e soluzioni di problemi; ha portato alla creazione, con il suo uso diffuso, di numerosi software ancillari, plugin, in grado di rendere adatte differenti tipologie di file all'elaborazione. Grazie a questi sistemi è stato possibile acquisire le immagini da studiare con delle comuni fotocamere che producono l'immagine in file jpg. Le trasformazioni successive hanno permesso la lettura e l'elaborazione da parte di QGIS. Date le dimensioni delle cartine, le superfici lette sono state rese in termini relativi, evidenziando quindi non tanto il valore assoluto delle aree coperte dalla miscela quanto piuttosto delle percentuali. Peraltro, tale valutazione è di maggiore efficacia nell'esprimere la capacità di distribuzione di una macchina irroratrice.

Nonostante sia stato possibile apprezzare la bontà del sistema di acquisizione realizzato e la sua semplicità di utilizzo, corre l'obbligo di avanzare alcune critiche costruttive relative ad alcune fasi del processo di digitalizzazione. In primo luogo, il post processamento dell'immagine prima della sua vettorializzazione. L'immagine per essere più facilmente processabile dovrebbe includere esclusivamente la cartina poiché dopo la vettorializzazione qualsiasi ombra o corpo estraneo con contrasto visivo genererà delle strutture che dovranno essere eliminate. Tale fenomeno genera non solo la possibilità di commettere errori ma anche un inutile consumo di tempo. Per questo, si suggerisce per le prossime applicazioni di introdurre un sistema che ritagli i confini della cartina prima della sua acquisizione digitale, perfezionando l'attuale sistema.

Per quanto riguarda i dati ottenuti, agli effetti dello studio della distribuzione di una miscela è di notevole utilità conoscere sia la percentuale di copertura sia il numero di impatti per unità di superficie. Nel caso specifico è stato possibile verificare come, in media, le

gocce di miscela coprono le superfici interne della chioma per una percentuale media del 10% mentre le superfici esterne della chioma per una percentuale media del 20%. Tale valore sale al 26% quando la nuvola di prodotto raggiunge la cartina posta in uno spazio vuoto.

Parallelamente, è stato possibile analizzare il numero di impatti che hanno generato la copertura nelle singole cartine. Il valore medio ricavato (36) ha evidenziato un numero di impatti per unità di superficie corrispondenti al valore medio indicato per trattamenti sistemici (insetticidi ed erbicidi) mentre solo in pochissime situazioni la distribuzione è adatta ai trattamenti coprenti (fungicidi).

Considerando il numero di poligoni ottenuti dall'analisi dei file digitalizzati e confrontandolo con le percentuali di copertura, si è evidenziato che la distribuzione dei punti tende a seguire un andamento a campana dove tra valori di copertura compresi tra 0 e 30% circa il numero di impatti tende a salire in maniera proporzionale. Oltre il limite del 30% di copertura il numero di impatti tende a diminuire con andamento proporzionale.

Questo nasce dal fatto che molto probabilmente le gocce si siano sovrapposte sulla cartina e quindi abbiano coperto gran parte della superficie, ma non si riescono a distinguere i singoli impatti.

Il metodo, quindi, potrebbe presentare delle debolezze nel definire le caratteristiche della distribuzione oltre la soglia di copertura percentuale del 30%. Tale limite definisce uno spartiacque nella zona di confidenza per un funzionamento corretto del metodo sviluppato e un'altra parte che necessita di una fase di interpretazione del risultato più complessa che dovrà escludere la valutazione del numero di impatti per unità di superficie.

Quindi il risultato relativo al numero di impatti va valutato ponendo attenzione al fatto che la metodica messa a punto non riesce a valutare il numero di impatti successivi nello stesso identico punto e non riesce a distinguere due diversi impatti che sono intervenuti in aree simili o sovrapponibili, sottostimando quindi gli impatti su distribuzioni eccessivamente coprenti.

D'altra parte, in alcune cartine si è riscontrata una bassa copertura ma un numero elevato di impatti.

Quindi gli unici valori che garantiscono, da valutazione con il metodo messo a punto, una buona efficacia di trattamento sono quelli in cui era presente sia un numero elevato di impatti, che una percentuale di copertura altrettanto elevata.

L'analisi statistica porta a considerare che la distribuzione sulle piante è risultata omogenea e costante, senza alcuna differenza statisticamente significativa. Anche nel

valutare la capacità di penetrazione della miscela nella chioma rispetto ad una distribuzione sulla superficie, non sono emerse differenze, da ciò, si ricava una valutazione positiva della macchina.

Nel caso della valutazione dell'utilizzo del dispositivo ad ultrasuoni attivato per il trattamento sul filare 2, l'analisi ha evidenziato l'assenza di significatività con i risultati del filare 1. Ciò è senza dubbio imputabile alla regolazione del dispositivo, incapace di percepire le fallanze quando regolato alla massima portata pari a 6 metri; in questo caso, infatti, gli ultrasuoni non andavano a leggere i vuoti presenti lungo ciascun filare da trattare, ma piuttosto la vegetazione dei filari successivi. L'effetto è stato nella mancata interruzione del flusso di prodotto in corrispondenza dei punti vuoti presenti lungo il filare, interruzione che è stata riscontrata solamente sulla capezzagna.

In definitiva, si ritiene che il sistema di lettura ed analisi delle caratteristiche di distribuzione di una miscela antiparassitaria possa essere convenientemente utilizzato per valutare una regolazione di attivazione/disattivazione dei flussi di erogazione di una barra regolata da un sistema di analisi della chioma LIDAR.

CONCLUSIONI

Il metodo messo a punto per valutare l'efficacia dei diversi sistemi di distribuzione di prodotti fitosanitari ha fornito risposte soddisfacenti. Tale metodo, tuttavia, è alla sua prima versione ed è quindi perfezionabile. Nello schema operativo i passaggi oggetto di una opportuna revisione sono soprattutto nella prima fase, cioè nelle fasi di conversione digitale informatizzata delle immagini. In questo caso la miglioria al metodo consiste nella riduzione del numero di passaggi per la conversione perché questi ultimi, anche se non compromettono l'attendibilità dell'informazione, sono dispendiosi dal punto di vista del tempo impiegato rendendo il sistema, anche se economico, poco fruibile.

L'esito delle analisi, allo stato attuale, impiegherebbe troppo tempo prima di arrivare agli utilizzatori finali delle informazioni.

Sarà pertanto necessario contrarre i tempi di elaborazione e questo si potrebbe risolvere sfruttando proprio la community molto attiva che c'è dietro il software che si è utilizzato per processare le cartine, che potrebbe trovare degli strumenti per la programmazione, più facili da utilizzare rispetto ai tradizionali linguaggi (script) e rendere processabili le immagini in modo sistemico, con risultati accettabili.

Il "collo di bottiglia" della metodologia messa in atto non sta tanto sulle trasformazioni effettuate, né sul calcolo dei vari parametri considerati (numero di poligoni, area e perimetro) perché sono tutti procedimenti automatizzabili.

L'unico passaggio che non è possibile automatizzare è il processo di "pulizia" dell'immagine, nel quale si andavano ad eliminare i poligoni superflui (aree ombreggiate esterne alle cartine).

Il sistema più semplice per ovviare al problema è nel taglio delle cartine prima di procedere al processo di digitalizzazione, andando ad eliminare tutte le aree non di interesse.

Il processo di ritaglio dell'immagine si potrebbe uniformare andando a creare uno standard di acquisizione dell'immagine, utilizzando software che vadano ad eliminare sempre tutto ciò che sta al di fuori della cartina in modo omogeneo, e non influenzato dalla soggettività dell'operatore/i.

Considerando quanto evidenziato nei risultati, ovvero un notevole range di valori intesi come impatti per cm², si può concludere dicendo che tale disomogeneità è dettata dal fatto che le macchine irroratrici, specialmente gli atomizzatori, sono tendenzialmente meno efficienti dal punto di vista dell'omogeneità di copertura, a differenza invece delle macchine utilizzate per la distribuzione di fitofarmaci su colture erbacee.

Il motivo è giustificato dal fatto che la superficie da trattare è verticale, e non orizzontale, e quindi ci sono più difficoltà progettuali per permettere il trasporto della miscela verso la chioma. A questo si aggiunge la resistenza opposta dalla copertura arborea che ostacola la sostituzione del volume di aria interno alla chioma con l'aria veicolata dal ventilatore che è satura di miscela.

Nel caso degli atomizzatori, tale trasporto si attua per mezzo di un getto di miscela di fitofarmaco portato da un flusso d'aria. Per garantire l'apertura della vegetazione, il flusso di aria, deve necessariamente creare turbolenze, che si traducono in una irregolarità della traiettoria delle particelle. A causa quindi delle fluttuazioni della velocità, dei moti vorticosi e della disomogeneità della disposizione delle foglie sulla chioma la distribuzione risulta raramente ottimale.

A livello operativo, considerate le verifiche fatte, probabilmente sarà necessario un aumento del volume d'acqua, conseguentemente alle analisi svolte.

Il sistema di controllo inserito sulla macchina, se opportunamente settato e tarato (nel caso del trattamento manuale molto dipende dall'abilità dell'operatore), non ha fornito i risultati sperati, in virtù del fatto che necessita di un opportuno settaggio e taratura ogni volta che si va in campo e pertanto non è stato in grado di garantire una buona precisione nel trattamento.

Tale parametro potrebbe essere ulteriormente migliorato ricorrendo all'utilizzo di sensori LASER Scanner, che consistono nell'associare un sistema LASER con ricevitore accoppiati ad un sistema di posizionamento e correzione degli errori di posizione e inclinazione (rispettivamente LIDAR, antenna GPS e inclinometro IMU).

Questo dispositivo permette di definire in modo molto preciso la struttura vegetativa da trattare, e se associato ad un sistema di distribuzione opportunamente settato e mantenuto, potrebbe garantire ottimi risultati in termini di efficacia fitoiatrica.

Un sistema LIDAR-GPS-IMU in agricoltura di precisione permette di ottenere informazioni dettagliate della struttura della chioma. Tali informazioni sono tanto più accurate quanto più alta è la frequenza di acquisizione del LIDAR. Da una struttura ben definita e georeferenziata è possibile poi generare delle mappe di prescrizione per la

distribuzione di fitofarmaco su macchine che possono gestire volumi diversi in funzione delle caratteristiche della coltura.

Un ulteriore passo avanti nell'ingegnerizzazione della macchina consisterebbe nell'inserimento di una centralina computerizzata per il calcolo e la gestione degli ugelli (dotati di elettrovalvole dedicate) finalizzata alla gestione di pressione e apertura di ogni singolo ugello in un sistema di gestione in situ (slegato dalla definizione di mappe di prescrizione in post-processamento).

ALLEGATI

ALLEGATO 1: Macchine per trattamenti fitosanitari di colture arboree ed erbacee

Gli agrofarmaci si distinguono in: diserbanti, antiparassitari, fitoregolatori. Possono essere liquidi o solidi (in formula polverulenta o micro granulare).

In funzione di queste differenze nella composizione, cambiano le tipologie di macchine per effettuare il trattamento.

Nel caso delle formulazioni liquide si possono utilizzare irroratrici o umettanti, per formulazioni solide polverulenti utilizziamo gli impolveratori e infine per quelli granulari i micro granulatori.

Nel caso di distribuzione liquida, la più diffusa, il principio attivo non è mai distribuito da solo, ma viene formulato con additivi specifici (inerti, solubilizzanti, emulsionanti, tensioattivi, adesivanti, antideriva) e opportunamente mescolato con acqua. Questo costituisce sempre la maggior quota della miscela complessivamente distribuita.

Focalizzandoci maggiormente sui fitofarmaci distribuiti in forma di miscela liquida, questi possono agire: per contatto: per essere efficaci debbono ricoprire uniformemente la maggior parte della superficie esterna delle piante (effetto coprente). In questo caso è necessario che il trattamento venga eseguito con gocce fini per raggiungere il massimo effetto coprente. Infatti, a parità di volume impiegato, più le gocce hanno minor diametro, maggiore è la superficie complessiva con cui le stesse vengono a contatto con la coltura da trattare. Tendenzialmente si impiegano così sistemi di polverizzazione pneumatici o misti (i cosiddetti nebulizzatori) che possono arrivare a produrre gocce con diametro anche di soli 50 μm .

Tuttavia, minore è il diametro delle gocce, più difficile è portare le stesse al bersaglio senza che si verifichino fenomeni di deriva.

I trattamenti possono agire per effetto sistemico: debbono essere distribuiti solo in quantità sufficiente a far giungere alla pianta una dose letale per il patogeno considerato (effetto bagnante). In questo caso non è necessario coprire tutti gli organi o gli organismi da trattare, ma è sufficiente che la coltura venga anche solo parzialmente bagnata. In questi casi,

per evitare fenomeni di deriva è preferibile utilizzare gocce di diametri medio o medio alti (fino a 400 μm) e impiegare macchine a polverizzazione meccanica (i classici atomizzatori o le barre irroratrici).

Le componenti fondamentali delle macchine per la protezione delle colture sono, in sintesi, le seguenti: telaio; serbatoi; pompa; organi di regolazione e controllo della portata; tubi di connessione, rubinetterie e sistemi di filtrazione; strumenti di misura, di controllo della pressione e della portata; organi di erogazione e/o frantumazione della miscela.

Il telaio è costituito da profilati metallici in acciaio e garantisce il supporto per tutti i componenti fondamentali della macchina; è opportuno che il telaio sia trattato con procedimenti anticorrosione, a causa dell'aggressività dei prodotti fitosanitari. Generalmente nella sua parte anteriore porta un occhione per il collegamento delle attrezzature trainate al gancio del trattore, oppure i classici attacchi per il collegamento all'attacco a tre punti della trattrice nel caso delle attrezzature portate. Solo sulle macchine irroratrici per colture erbacee, comunemente denominate "barre irroratrici", è inoltre presente una ulteriore struttura metallica, di diverse dimensioni, chiamata barra. Questa normalmente è divisa in diverse sezioni, ed ospita gli organi deputati alla frantumazione della miscela per produrre le gocce (gli ugelli) e le tubazioni necessarie alla loro alimentazione.

Nel caso delle macchine per il trattamento delle colture erbacee, la barra è, di solito, regolabile in altezza (manualmente o idraulicamente) e deve restare durante il trattamento il più possibile parallela al terreno per garantire una distribuzione longitudinale del prodotto che sia il più possibile uniforme. Nella realtà il cantiere trattore-irroratrice subisce inevitabili sobbalzi che vengono giocoforza trasmessi alla barra facendola oscillare. Queste oscillazioni hanno conseguenze direttamente proporzionali alla larghezza di lavoro e possono avvenire sia sul piano orizzontale che su quello verticale. Le prime causano irregolarità nella distribuzione longitudinale dovuta alle variazioni della velocità di avanzamento della barra rispetto al terreno e quindi dosaggi inferiori nei punti di accelerazione e superiori nei punti di rallentamento. Le oscillazioni verticali invece riducono l'uniformità di distribuzione trasversale a causa del fatto che la variazione dell'altezza degli ugelli rispetto a terra e la loro non perpendicolarità rispetto al bersaglio causa sovrapposizioni dei getti non corrette. Alcune attrezzature di grandi dimensioni impiegano diversi meccanismi per ridurre le oscillazioni alla barra che vanno dai semplici ammortizzatori della struttura fino a specifici supporti di controllo in funzione delle diverse condizioni operative (sistemi di supporto di tipo pendolare, sistemi di stabilizzazione a controllo elettronico ecc.).

Serbatoi:

Il serbatoio principale della macchina irroratrice contiene la miscela da distribuire e può assumere forme diverse, a seconda del tipo di irroratrice. È spesso costruito in vetroresina (presenta il vantaggio di poter essere riparata facilmente in caso di lesioni), o materiali plastici, quali il polietilene e il poliestere, che garantiscono una buona resistenza alla corrosione e agli urti. Più raramente è usato l'acciaio inossidabile, richiesto specificatamente solo per utilizzi con prodotti chimici molto aggressivi. La forma del serbatoio deve essere regolare e priva di spigoli vivi, questo per facilitare le operazioni di pulizia dello stesso ed agevolare l'agitazione della miscela liquida per evitare che il principio attivo rimanga maggiormente concentrato all'interno di "sacche stagnanti" e precipiti rispetto all'acqua che lo porta in soluzione. Per evitare tale fenomeno, all'interno del serbatoio sono presenti dei sistemi di agitazione della miscela che si possono dividere in:

Agitatore meccanico: un tempo molto diffuso ora quasi in disuso. In questo sistema l'agitazione è assicurata da organi rotanti costituiti da palette o eliche che prendono il moto direttamente dalla presa di potenza della trattrice.

Agitatore idraulico: il sistema funziona grazie alla presenza della pompa che immette nel circuito della macchina una quantità di miscela in pressione superiore a quella che serve per alimentare gli ugelli. La miscela che non viene destinata agli ugelli viene reimpressa in pressione nel serbatoio effettuando così la miscelazione. Attualmente questo è il sistema più diffuso. Il serbatoio principale di una macchina irroratrice ha una capienza tipica compresa tra 10 e 25 litri nei piccoli modelli portati a spalla per passare a capacità di 150-300 litri per le macchine da collegare ai motocoltivatori. Nei modelli portati dai trattori si va mediamente dai 300 ai 1000 litri mentre per i modelli trainati le capacità vanno mediamente dai 600 ai 2.500 litri. Ancora abbastanza rari sono sul nostro territorio i modelli semoventi che hanno capacità dei serbatoi variabili tra 2.000 e 6.000 litri. Il serbatoio principale è generalmente dotato di un indicatore di livello per la determinazione della quantità di liquido presente; la misurazione del livello viene eseguita o con un galleggiante abbinato ad un indicatore esterno posto sopra il serbatoio o più direttamente sul serbatoio stesso, oppure per mezzo di una banda laterale traslucida munita di scala graduata. Nelle macchine più moderne e dotate di sistemi elettronici per il controllo della portata (DPA) è solitamente previsto un sistema di controllo elettronico, con sensori a galleggiante collegati a trasduttori che rendono possibile la visualizzazione del livello della miscela su display posti al posto di guida e in collegamento con i sistemi di controllo elettronico della distribuzione. Il serbatoio è inoltre provvisto alla sua sommità di un'imboccatura per il caricamento dell'acqua, generalmente

dotata di un filtro a maglie larghe (detto “a paniero”) per impedire l’ingresso di corpi estranei (foglie, sabbia grossolana, ecc.) che potrebbero danneggiare il sistema di pompaggio e gli organi deputati alla polverizzazione della vena liquida, nonché creare occlusioni nelle tubazioni. Alcune macchine irroratrici sono dotate di sistemi di riempimento del serbatoio principale, costituiti da un idroiniettore o da una pompa centrifuga ausiliaria autoadescante, che consentono di attingere l’acqua direttamente da corsi d’acqua superficiali; tali sistemi devono comunque evitare il reflusso dell’acqua dal serbatoio per impedire contaminazioni e devono essere dotati di ulteriori sistemi di filtrazione rispetto a quelli normalmente presenti sulla macchina. Nelle macchine più recenti sono spesso presenti anche dei serbatoi supplementari quali ad esempio il serbatoio di premiscelazione, il cosiddetto serbatoio “lava macchina”, un ulteriore piccolo serbatoio comunemente detto “lavamani” e solamente sulle barre irroratrici il “serbatoio per il sistema “tracciafile”. Su tutte le macchine irroratrici costruite dal 1996 in poi deve essere obbligatoriamente presente un serbatoio, dotato di rubinetto, contenente almeno 15 litri di acqua pulita detto “serbatoio lavamani” (Imposto da normative europee - ex EN 907 - 89/392). Questo serbatoio è utilissimo in caso di emergenza (contatto degli occhi o del viso con la miscela) e consente all’operatore di lavarsi le mani anche in campo dopo aver effettuato un intervento sulla macchina e in ogni altro caso nel quale, per qualsiasi motivo, sia venuto a contatto con soluzione contenente il principio attivo (caso che si verifica piuttosto frequente nell’operatività normale).

Il serbatoio lavamacchina è un serbatoio contenente acqua pulita avente una capacità di almeno il 10% del serbatoio principale. Questo permette, alla fine del trattamento e direttamente in campo, di immettere nel serbatoio principale l’acqua pulita presente all’interno del serbatoio lavamacchina, effettuare un lavaggio abbastanza approfondito del serbatoio e poi distribuire sulla stessa coltura oggetto del trattamento appena terminato la miscela risultante dal lavaggio. Questo procedimento permette di diminuire drasticamente le problematiche relative allo smaltimento di eventuali residui di miscela non distribuiti, e di mantenere in un migliore stato di efficienza le macchine irroratrici, grazie alla maggior frequenza di effettuazione dei risciacqui.

Una terza tipologia di serbatoio che spesso viene offerta dai costruttori di macchine irroratrici come allestimento opzionale è il “serbatoio di premiscelazione”. Esso è in grado di diminuire notevolmente la possibilità di contaminazione dell’operatore con principi attivi in forma concentrata durante la fase di preparazione della miscela perché semplifica e velocizza questa operazione. Se al serbatoio di premiscelazione viene abbinato un idroeiettore nella parte sommitale è possibile anche effettuare una rapida ed efficace pulizia dei contenitori di

agrofarmaci semplificandone il successivo smaltimento. Si rammenta che per effettuare un ottimo lavaggio del contenitore questo deve essere risciacquato almeno tre volte e l'acqua proveniente da tale operazione deve essere immessa nel serbatoio principale. Per evitare contaminazioni successive alla fase di riempimento è bene porre attenzione affinché durante l'effettuazione del rifornimento di acqua il tubo di riempimento che porta l'acqua al serbatoio non venga mai a contatto con il liquido posto all'interno della cisterna. Si consiglia di immettere nella cisterna solamente la quantità di acqua e di formulato necessaria per effettuare il trattamento, lasciando inutilizzato un volume di circa il 10-20% della capacità del serbatoio per evitare sversamenti accidentali in presenza di buche o avvallamenti. Per consentire un'elevata durata ai serbatoi è necessario che la macchina sia posta a riposo in luogo innanzitutto riparato dal sole (i raggi u.v.a. contribuiscono ad invecchiarlo precocemente) e, se possibile, poco soggetto al verificarsi di gelate o cospicui sbalzi di temperatura. Nel serbatoio del sistema tracciabile viene contenuto il liquido del sistema tracciabile o, più comunemente detto, dello schiumogeno. Il sistema deposita a terra degli agglomerati di schiuma biodegradabile in corrispondenza dell'estremità della barra e indica quindi chiaramente al conducente, all'effettuazione della svolta a fine campo, quale sia la porzione di terreno già trattata, al fine di evitare inutili e deleterie sovrapposizioni di trattamento.

Pompe:

La pompa ha la funzione di mettere in pressione il liquido nel circuito idraulico per garantire una pressione e una portata adeguate ad ottenere la polverizzazione della miscela (fase di creazione delle gocce). Nella maggior parte dei casi viene azionata dalla presa di potenza (p.d.p.) del trattore mentre, nel caso di macchine con distribuzione proporzionale alla velocità di avanzamento a controllo meccanico può essere azionata, tramite ingranaggi e/o giunti cardanici, dal movimento di una delle ruote dell'irroratrice. Nel caso di macchine che utilizzano pompe centrifughe (si tratta per lo più di macchine a polverizzazione pneumatica per trattamenti su colture arboree, che nella denominazione comune sono spesso conosciute con il termine improprio di "nebulizzatori" oppure di "atomizzatori a basso volume") il moto alla pompa può anche essere fornito dal circuito idraulico del trattore tramite gli attacchi idraulici. In rari casi può essere presente una pompa ad azionamento elettrico, si tratta per lo più di piccole macchine accoppiate a seminatrici che utilizzano un numero limitato di ugelli a bassa portata e che quindi necessitano di basse portate. La pompa, oltre a garantire una pressione e una portata sufficiente ad alimentare gli ugelli, deve sempre fornire un cospicuo surplus di portata (chiamato anche ricircolo), che viene continuamente

reimmesso nel serbatoio per garantire che sia mantenuta una corretta miscelazione alla soluzione.

La quantità minima che deve rientrare nel serbatoio espressa in litri/minuto è pari ad almeno il 10% della capacità del serbatoio principale: per esempio su un'irroratrice dotata di un serbatoio da 1.000 litri sarà necessario un ricircolo di almeno 100 litri al minuto. La pompa dovrà quindi essere dimensionata tenendo conto della portata richiesta dagli ugelli installati o installabili, a cui va sommata la quantità di ricircolo necessario per miscelare la soluzione nel serbatoio. Le due richieste devono poter essere soddisfatte contemporaneamente per garantire la massima efficienza distributiva della macchina. Per poter valutare se il surplus fornito dalla pompa è sufficiente a miscelare la soluzione presente nel serbatoio è necessario conoscere i seguenti parametri: portata degli ugelli durante il trattamento (l/min), misurabile con una caraffa graduata e con un cronometro, la portata massima della pompa (l/min) a 540 giri/min della presa di potenza (p.d.p) della trattrice, che si trova normalmente scritta su un adesivo o su una targhetta applicata alla pompa stessa, ed in fine il regime di rotazione della p.d.p del trattore normalmente desumibile dalla strumentazione di controllo presente sulla trattrice stessa. Come prima cosa si somma la portata dei singoli ugelli durante l'irrorazione ottenendo così la quantità di miscela in l/min che la pompa deve fornire per poter alimentare tutti gli ugelli. A questa portata si aggiunge il ricircolo o surplus necessario alla miscelazione (almeno il 10% del volume del serbatoio) e si ottiene la portata che la pompa dovrebbe erogare nella situazione ideale. A questo punto conoscendo il regime di rotazione della p.d.p e la portata massima della pompa a 540 giri/min della p.d.p con una semplice proporzione si ottiene la portata effettiva della pompa durante l'irrorazione della macchina. Confrontando la portata effettiva della pompa con quella ideale si intuisce se la pompa è in grado di soddisfare entrambe le esigenze: alimentare gli ugelli e il sistema di ricircolo. Se la pompa non è in grado di soddisfare entrambe le esigenze il rischio è molto elevato: si rischia di distribuire una soluzione avente concentrazioni di principio attivo differenti tra l'inizio e la fine del trattamento con conseguenze disastrose sull'efficienza del trattamento stesso. Le tipologie di pompe più diffuse sono le centrifughe e le volumetriche.

La pompa centrifuga è caratterizzata da portate elevate (fino a 900 litri/min), ma da pressioni di esercizio relativamente basse (quelle impiegate sulle macchine irroratrici raggiungono normalmente pressioni massime di 3-4 bar). Si tratta di una macchina molto semplice che mette in pressione il fluido mediante la rotazione di una girante dotata di palette. La pompa di tipo centrifugo richiede minore manutenzione ed è solitamente

impiegata su macchine a bassa pressione per la distribuzione di bassi volumi, oppure per operazioni di agitazione della miscela all'interno di serbatoio di elevate dimensioni. In alcuni casi è presente sulla macchina irroratrice come pompa ausiliaria utilizzata per il riempimento del serbatoio principale direttamente dai corsi d'acqua, (in questo caso deve essere di tipo autoadescante). Nell'utilizzo di questa pompa è necessario porre attenzione affinché esse non girino mai a vuoto (in assenza di liquido), qualora si verificasse questa evenienza il rischio di una precoce bruciatura degli anelli di tenuta, a causa del riscaldamento, diviene altissimo. Una caratteristica negativa che caratterizza tale tipologia di pompa è la riduzione della portata in proporzione all'utilizzo; su pompe centrifughe con molti anni di esercizio la portata massima può risultare ridotta anche del 25%, con conseguenze estremamente negative soprattutto sulla capacità di garantire un adeguato ricircolo; per ovviare a ciò i costruttori normalmente provvedono già in fase di progettazione ad un congruo sovradimensionamento.

Le pompe volumetriche, invece, mettono in pressione il liquido grazie al moto rettilineo e alternativo di uno o più pistoni azionati per mezzo di un eccentrico e di una biella. Sono dotate di valvole di aspirazione e mandata e vengono impiegate sulle macchine che utilizzano dei sistemi di formazione della goccia di tipo meccanico (polverizzazione meccanica della vena liquida), dove è sovente necessario raggiungere pressioni elevate per ottenere un buon livello di polverizzazione, ovvero per riuscire ad ottenere delle dimensioni della goccia medio piccole. Questa tipologia di pompe può raggiungere pressioni anche molto elevate, mentre la loro portata varia in funzione della cilindrata (volume della camera di compressione in cui lavora il cilindro) nonché del numero dei cilindri e del regime di rotazione. Le pompe volumetriche si possono dividere a loro volta in pompe a pistoni (meno diffuse) e pistoni-membrana; queste ultime rappresentano senza dubbio la tipologia di pompe più diffuse sulle macchine irroratrici. La pompa a pistoni-membrana si differenzia dal sistema a pistoni per la presenza di una membrana collocata sulla testa del pistone, che lo isola dal liquido da distribuire. Questa membrana, realizzata in gomma, solitamente non è sufficientemente resistente agli agenti chimici contenuti nei fitofarmaci, tanto che recentemente sono state introdotte a questo scopo membrane realizzate in polimeri speciali (come ad esempio il Viton) capaci di garantire una maggiore affidabilità e durata, specie in presenza di prodotti particolarmente aggressivi. La membrana risente inoltre in maniera piuttosto marcata delle esposizioni al gelo, specie in presenza di acqua, e tra tutte le componenti della pompa è certamente quella che necessita di essere controllata e sostituita con maggiore frequenza. Il pistone ha una corsa generalmente limitata (circa 10 mm), mentre

presenta un grande alesaggio; in pratica, le variazioni di volume della camera di compressione sono dovute al movimento della membrana comandata dal pistone stesso e quindi il pistone non aspira e pompa liquido, ma solamente l'aria contenuta tra la membrana ed il pistone stesso. Nel caso delle pompe a pistoni le parti che possono venire in contatto con i prodotti chimici da distribuire sono generalmente realizzate con materiali resistenti alla corrosione (quali acciaio inox o ceramica).

Le pompe volumetriche sono caratterizzate da una tipica azione pulsante, dovuta all'alternarsi delle fasi di aspirazione e compressione dei pistoni nel o nei cilindri. Le conseguenti variazioni di pressione possono causare delle elevate variazioni cicliche nella portata degli ugelli: che vengono smorzate o comunque ridotte inserendo nel circuito idraulico degli ammortizzatori idropneumatici (chiamati anche "polmoni"), costituiti da una camera d'aria separata dal circuito idraulico per mezzo di una membrana elastica. Il compensatore idropneumatico ha l'importante funzione di stabilizzare, o comunque di ridurre, le fluttuazioni della pressione all'interno del circuito idraulico della macchina irroratrice, per evitare variazioni cicliche della portata. Queste differenze si tradurrebbero inevitabilmente in cambiamenti dell'apertura dell'angolo di spruzzo degli ugelli (soprattutto in caso di ugelli con getto a ventaglio), con effetti deleteri sulla corretta sovrapposizione dei getti e in definitiva sull'uniformità di distribuzione orizzontale. Per un buon funzionamento dell'ammortizzatore idropneumatico, la pressione all'interno della camera d'aria deve essere mantenuta a circa l'80% di quella tipica di esercizio: è quindi opportuno controllarla frequentemente e regolarla in funzione delle condizioni operative. Tale operazione è agevolmente eseguibile con un compressore e un comune manometro, poiché gli ammortizzatori in questione sono dotati di una valvola di gonfiaggio del tipo comunemente montato sui pneumatici degli autoveicoli. Per garantire un'elevata vita alle pompe è necessario innanzitutto risciacquarle al termine di ogni trattamento con acqua pulita, affinché non rimangano a contatto con i principi attivi, e controllare frequentemente il livello dell'olio (ogni 20-30 ore di utilizzo) ponendo attenzione al suo colore. Un colore chiaro e una sua opacizzazione sono segno di lesioni a qualche membrana, in questo caso occorre arrestare la pompa e sostituire immediatamente le membrane danneggiate onde scongiurare conseguenze peggiori. È buona norma non utilizzare mai la pompa ad una velocità di rotazione superiore al limite massimo indicato sulla targhetta (solitamente 540 giri/min). Per il ricovero invernale, se l'irroratrice viene posta in locali ove la temperatura scende sotto lo zero, per evitare danni da congelamento si consiglia di: immettere una soluzione di acqua e liquido anticongelante nella cisterna; mettere in funzione la pompa per alcuni secondi affinché la

soluzione venga distribuita a tutti i componenti della macchina (filtri, pompa, raccordi, antigoccia ecc.).

Organi di regolazione e controllo della portata

La regolazione della portata può essere effettuata in diversi modi: a pressione costante (PC); a pressione variabile e Distribuzione Costante (DC), come i DPM (a Distribuzione Proporzionale al regime Motore e i DPA Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento; altri sistemi (CPA). Concentrazione Proporzionale all'Avanzamento.

Sistemi a pressione costante:

Questi sistemi non prevedono una variazione della pressione di esercizio, e conseguentemente della portata della barra, in funzione delle variazioni della velocità di avanzamento. Affinché la distribuzione risulti regolare, la velocità di avanzamento dovrà quindi essere assolutamente uniforme. Nei dispositivi a Pressione Costante (PC) la pressione di esercizio viene mantenuta costante indipendentemente da eventuali variazioni di portata della pompa. Il volume distribuito per unità di superficie risulta pertanto costante solo ed esclusivamente se la velocità di avanzamento è altrettanto costante: c'è quindi un forte rischio di sovra o sotto dosaggio in condizioni limite di distribuzione, quali un sensibile slittamento nell'avanzamento della motrice, la marcia in pendenza, ma ancora di più in discesa e/o su terreni con superficie molto irregolare.

Nei dispositivi PC la pressione viene mantenuta costante grazie ad una valvola a molla, che regola l'entità del flusso agli ugelli e di ritorno al serbatoio. L'otturatore della valvola si apre fino a raggiungere l'equilibrio fra la forza elastica della molla e quella sviluppata dal flusso della miscela; in caso di chiusura di una o più sezioni di barra, e di conseguenza di chiusura dell'irrorazione dei relativi ugelli, si instaura un aumento di pressione che non può essere compensato in alcun modo e crea una variazione della portata sulle sezioni che rimangono aperte.

Sistemi a pressione variabile:

Questi sistemi prevedono una variazione della pressione di esercizio, e conseguentemente della portata della barra, in funzione di variazioni della velocità di avanzamento. I sistemi DPM (a Distribuzione Proporzionale al regime Motore) sono costituiti da: una valvola generale con valvola di massima pressione; una valvola regolatrice proporzionale, detta a "fetta di salame"; un gruppo di valvole di sezione, ad azionamento meccanico o elettrico, con ritorni calibrati

In questo sistema rimane costante il rapporto fra la quantità di liquido inviata agli ugelli e quella di ritorno al serbatoio. La pressione che viene fornita agli ugelli dipende dalla posizione della valvola proporzionale (valvola a “fetta di salame”), la quale può anche essere collegata rigidamente (ovvero senza la molla sempre presente nei dispositivi PC) al pomello di regolazione (o all’elettrovalvola per i sistemi ad attuazione elettromeccanica). Essa manterrà fissa la sua posizione indipendentemente da variazioni di pressione; la portata verrà quindi ripartita fra gli ugelli e il ritorno al serbatoio, in base alla posizione della valvola proporzionale stessa. In questo sistema di regolazione la portata agli ugelli risulta commisurata alla portata della pompa e, conseguentemente, alla velocità di avanzamento, una volta stabilito l’uso di una determinata marcia sul trattore accoppiato all’irroratrice con un relativo regime motore. I dispositivi DPM devono essere accoppiati a pompe di tipo volumetrico, che garantiscono una portata assolutamente proporzionale al regime di rotazione del motore e quindi della presa di potenza. Il sistema descritto consente di mantenere costante il volume distribuito per unità di superficie con piccole variazioni della velocità di avanzamento (generalmente consente di mantenere costante la distribuzione anche aumentando o diminuendo del 20% la velocità di avanzamento rispetto a quella definita in sede di taratura) e/o del regime motore, sempre per una certa marcia inserita.

Nei gruppi di distribuzione DPM sono inoltre presenti i “ritorni calibrati”, si tratta di by-pass regolabili mediante un pomello che fanno sì che alla chiusura di una o più sezioni della barra, e quindi dei relativi ugelli, sia possibile rinviare nel serbatoio la medesima quantità di liquido che la sezione interessata erogava prima della chiusura della medesima. Questo permette di mantenere stabile la pressione di esercizio verso le altre sezioni che rimangono aperte, evitando indesiderate sovrappressioni e quindi cambiamenti di portate, che si verificano normalmente ad ogni sezionamento effettuato con i più semplici gruppi PC. Nei dispositivi DPA (Distribuzione Proporzionale all’Avanzamento) con sistema di controllo esclusivamente meccanico la pompa è collegata direttamente con una delle ruote di appoggio dell’irroratrice e deriva il suo moto dalla stessa. La portata della pompa, e quindi degli ugelli sulla barra, viene regolata agendo sul rapporto di trasmissione tra la pompa stessa e una delle ruote: la portata varia proporzionalmente al numero di giri delle ruote e quindi alla velocità della trattrice. Il collegamento fra pompa e ruota non è mai diretto e viene attuato tramite una serie di ingranaggi che permettono di variare il rapporto e quindi poter regolare la quantità di liquido che si intende distribuire. Con questo meccanismo il rapporto fra la portata agli ugelli e la velocità di avanzamento della macchina rimane costante e il sistema di distribuzione è in grado di regolare la portata in funzione della velocità di avanzamento e quindi di mantenere

costante il volume distribuito per unità di superficie. Si può fornire un corretto dosaggio della miscela distribuita anche in presenza di forte slittamento delle ruote motrici del trattore; ovviamente, le ruote dell'irroratrice non devono invece slittare. Ciò è facile con il serbatoio pieno, mentre non è scontato con serbatoio pressoché vuoto e in condizioni di scarsa aderenza (terreno bagnato). È quindi in ogni caso opportuno evitare di effettuare dei trattamenti fitosanitari in condizioni di aderenza e/o meteorologiche difficili. Con questo sistema di regolazione la macchina irroratrice dovrà quindi necessariamente essere trainata o semovente o se portata, dotata di un ruotino di appoggio alle ruote del trattore.

In alternativa, come sempre più spesso avviene, è possibile utilizzare dei sistemi di controllo DPA elettronico, dove la pompa è collegata direttamente alla presa di potenza della trattrice e una centralina elettronica controlla la pressione di erogazione agli ugelli avvalendosi di sensori e dispositivi per la rilevazione della velocità di avanzamento, quali ad esempio magnetini posti sulla ruota del trattore e sensori di prossimità per rilevarne il passaggio, sistemi ottici, radar o GPS.

Altri sistemi:

Il sistema CPA (a Concentrazione Proporzionale all'Avanzamento) è caratterizzato da un circuito dell'acqua generalmente a pressione costante mentre il prelievo del formulato, che di solito avviene direttamente dai contenitori originali, è proporzionale all'avanzamento. È una soluzione costruttiva introdotta recentemente, resa operativamente praticabile grazie all'uso di pompe dosatrici di precisione, in grado di trattare quantitativi minimi.

La miscelazione avviene istante per istante in un miscelatore a monte degli ugelli: il prodotto passa direttamente dal fusto alla pompa dosatrice e richiede pertanto solo acqua pulita nel serbatoio. I vantaggi sono: alla fine del trattamento, il prodotto avanzato può essere facilmente recuperato e stoccato, in attesa di un'utilizzazione successiva, il serbatoio non è soggetto a corrosione perché contiene solamente acqua, la quantità di agrofarmaco distribuito per unità di superficie rimane costante al variare della velocità di avanzamento, riduzione dei rischi di contatto dell'operatore con il prodotto chimico, poiché non sono più necessari travasi e misurazioni per determinare l'esatta quantità di principio attivo da introdurre nel serbatoio, riduzione dei tempi accessori di preparazione e omogeneizzazione della miscela, con un aumento della capacità di lavoro della macchina, possibilità di variare durante la distribuzione la concentrazione del formulato commerciale nell'acqua di diluizione, in funzione del livello di infestazione presente. Tale regolazione è possibile anche con l'ausilio dell'optoelettronica che si avvale di sensori ottici per determinare il grado di

infestanti presenti sul terreno.

È possibile anche la distribuzione simultanea di più prodotti chimici (3-4) in formulazione liquida.

Attualmente però i contenitori dei principi attivi disponibili sul mercato italiano hanno una capacità limitata (1-5 litri) e non permettono pertanto un'autonomia sufficiente alle macchine che non abbiano appositi serbatoi per il contenimento dei principi attivi concentrati. Negli Stati Uniti sono già in commercio contenitori standardizzati e riciclabili da 30 litri, con attacchi rapidi per la connessione veloce e diretta al sistema di iniezione. Tale sistema, non si è molto diffuso sul nostro mercato per due motivi: il primo è l'elevato costo delle attrezzature e il secondo nella loro capacità di adattarsi solamente ai formulati commerciali in forma liquida, notoriamente più costosi di quelli in polvere.

Sistemi di filtrazione:

Assicurano l'eliminazione di particelle solide di differenti dimensioni o altri corpi estranei che possono danneggiare la pompa o causare intasamenti ed usura agli ugelli. I filtri sono realizzati con reti di nylon o metalliche, montate su telaio di materiale plastico o in acciaio inox. Caratteristica fondamentale dei filtri è la dimensione delle maglie, che deve variare a seconda della funzione e del tipo di ugelli impiegati. La fittezza delle maglie viene definita secondo una tipica unità di misura, denominata "mesh", che identifica il numero di fili per pollice (1 pollice = 25,4 mm). La fittezza della maglia e il diametro del filo definiscono il valore di mesh che, in definitiva, è rappresentativo del potere filtrante; le maglie dei filtri possono essere costituite da materiali diversi, quali l'acciaio inox e materiali plastici (poliammide e polipropilene).

Per facilitare la scelta del filtro più adatto, le relative cartucce sono spesso marcate con differenti colori, che identificano il valore di mesh corrispondente, e quindi il potere filtrante.

Normalmente il primo filtro che si trova sulla macchina è all'imboccatura del serbatoio ed è chiamato filtro "a panierino", e serve a trattenere eventuali impurità grossolane nella fase di riempimento.

Un secondo filtro (detto "filtro di aspirazione") è normalmente presente sul tubo di aspirazione che porta il liquido dal serbatoio alla pompa con il compito di impedire il passaggio di particelle che potrebbero danneggiare la pompa; la dimensione delle sue maglie è tipicamente compresa tra 0,3 e 2 mm. Data la probabilità che in prossimità del filtro principale si verificano intasamenti (talvolta causati da scarsa compatibilità tra più prodotti utilizzati contemporaneamente), è necessario poter effettuare la pulizia del filtro di

aspirazione anche a serbatoio pieno. Per questo motivo, su tutte le macchine irroratrici recenti sono presenti dei filtri di aspirazione dotati di una valvola automatica di bloccaggio del liquido oppure di un rubinetto o di una valvola a più vie, posti immediatamente prima dello stesso.

È consigliabile che altri filtri (detti “filtri di mandata” oppure anche “filtri in pressione”) siano installati sul circuito di mandata tra la pompa e gli ugelli, oppure (soluzione meno consigliata) in prossimità degli ugelli: in questo caso la dimensione delle maglie deve essere scelta in relazione alla grandezza dei fori di uscita degli ugelli (sempre inferiore), e comunque in relazione a quella del filtro a monte nel circuito. La presenza di ulteriori filtri, oltre a quello di aspirazione, si rende necessaria su macchine ove si intendano installare degli ugelli aventi un calibro molto ridotto. In linea di massima, i filtri in prossimità degli ugelli non devono sostituire i filtri installati sul circuito di mandata, ma essere eventualmente di supporto; inoltre l'utilizzo di questi filtri comporta degli svantaggi in termini di tempo necessario per la pulizia (smontaggio, pulizia, e rimontaggio dei filtri posti su ogni ugello) che deve essere effettuata frequentemente su tutti i filtri, rispetto all'installazione di più comode cartucce filtro poste direttamente sulle tubazioni.

Dispositivi antigoccia:

Evitano la percolazione di liquido dagli ugelli dopo che l'alimentazione agli stessi è stata interrotta. Il loro funzionamento avviene di solito ad opera di un semplice dispositivo meccanico, ma ne esistono anche tipologie meno diffuse in cui l'antigoccia funziona per aspirazione ed è quindi di tipo pneumatico; la velocità di intervento di questi sistemi è però ridotta rispetto ai più semplici dispositivi meccanici. Gli antigoccia meccanici, indubbiamente i più diffusi, sono essenzialmente costituiti da una molla tarata in grado di chiudere il condotto che trasporta il liquido verso l'ugello quando la pressione di esercizio scende sotto determinati valori (normalmente 0,4 - 0,5 bar). Posso essere suddivisi a seconda del sistema di chiusura del tubo adduttore in a valvola, a sfera o a membrana.

Nel sistema a membrana la molla non viene mai in contatto con la miscela da distribuire garantendo una maggiore durata del dispositivo.

Strumenti di misura:

Gli strumenti di misura installati sulle macchine per la protezione delle colture, manometri, flussimetri, trasduttori di pressione, sensori di velocità ecc. costituiscono gli elementi chiave per una corretta distribuzione dei prodotti fitosanitari, soprattutto al fine di consentire di mantenere corrette le quantità distribuite per unità di superficie.

Se si escludono i sistemi di controllo DPA elettronici precedentemente illustrati, il manometro costituisce in effetti l'unico strumento di misura sempre installato sulla macchina; esso permette all'operatore agricolo di verificare in continuo il corretto funzionamento del circuito in pressione e, di conseguenza, la portata del liquido agli organi irroranti, le quantità distribuite per unità di superficie trattata nonché il grado di polverizzazione della miscela.

Manometri:

I manometri a molla Bourdon sono molto diffusi e rappresentano circa il 90% degli strumenti per le misure meccaniche di pressione; sono pertanto anche quelli maggiormente impiegati sulle macchine per la distribuzione dei fitofarmaci. Questo tipo di strumento, chiamato anche manometro a quadrante, consente di rilevare la pressione o per mezzo di un elemento elastico, la cui deformazione fornisce all'indicatore la pressione misurata. Caratteristiche fondamentali di un manometro sono il liquido di riempimento, la scala di lettura ed il diametro del manometro. Il liquido di riempimento presenta il problema delle vibrazioni. Se il manometro è soggetto a vibrazioni o a pulsazioni (come nel caso della maggior parte delle irroratrici con pompe a pistoni e membrana) è consigliabile scegliere uno strumento contenente del liquido (solitamente glicerina), che smorzi le oscillazioni della lancetta indicatrice, per consentire una migliore leggibilità del valore di pressione dal posto di manovra, a tutto vantaggio della corretta distribuzione del prodotto fitoiatrico. Idoneità di scale e diametri. La scala di lettura e il fondo scala dello strumento devono essere adeguati alla pressione di esercizio normalmente impiegata. Per l'utilizzo con barre irroratrici normalmente operanti con pressioni di esercizio di 2 - 4 bar e che in rari casi arrivano a 8 - 9 bar è necessario un manometro avente un fondo scala anche di soli 10 bar e dotato di intervalli di lettura molto fitti, per esempio 0,1 bar; anche se la normativa prevede come sufficiente che gli intervalli di lettura siano di almeno 1 bar per le barre irroratrici e a 2 bar per gli atomizzatori. Con intervalli di lettura più fitti l'operatore è facilitato a cogliere immediatamente anche dei piccolissimi errori nell'impostazione della pressione voluta. È anche opportuno considerare che quasi tutte le attuali pompe a bassa pressione utilizzate sulle barre irroratrici raggiungono pressioni di esercizio di 20 bar e che eventuali errori operativi potrebbero portare la lancetta del manometro oltre il suo fondo scala, compromettendo la funzionalità dello stesso. Inoltre sovente vi è la necessità di collegare anche una lancia (che lavora a pressioni vicine ai 20 bar) alla stessa macchina irroratrice. Per questo motivo si consiglia sempre l'utilizzo di manometri aventi un valore di fondo scala superiore alla massima pressione erogabile dalla pompa con un intervallo di lettura il più

possibile fitto, per i valori intorno alle pressioni comunemente utilizzate. È inoltre necessario che i manometri siano ben visibili, sia per quanto riguarda la posizione, che per quanto riguarda il diametro. Onde garantire al manometro una lunga durata, è bene che questo venga smontato e posto in luogo al riparo dal gelo durante il periodo invernale.

Flussimetri:

I flussimetri sono degli strumenti di misura che determinano istante per istante il quantitativo di liquido che li attraversa. Essi sono normalmente montati solamente sulle più sofisticate irroratrici con sistemi DPA a controllo elettronico e sono di tipo elettromagnetico. La misura della portata si basa sul principio che l'intensità di un campo magnetico prodotto dal passaggio di una corrente costante in un solenoide è soggetta ad una variazione proporzionale alla quantità di liquido che passa all'interno di un condotto calibrato. Questa variazione dà origine ad un flusso di induzione elettromagnetica che permette al flussimetro di misurare la quantità di acqua che lo sta attraversando.

Vi sono in commercio flussimetri in grado di rilevare un ampio intervallo di portate (0,5-200 l/min) e pressioni di esercizio fino a 50 bar.

Sistemi di polverizzazione del liquido: gli ugelli

Oltre ai componenti citati, le macchine irroratrici sono dotate di sistemi che provvedono a polverizzare in maniera opportuna il liquido da irrorare, cioè a produrre le minute goccioline che devono raggiungere la vegetazione da trattare. I sistemi di frantumazione del liquido in gocce (comunemente chiamati ugelli) sono generalmente composti da una ghiera di bloccaggio, da guarnizioni di tenuta, da un filtro (non sempre presente), e da un convogliatore e una testa di spruzzo (il vero e proprio ugello), che provvede alla effettiva frantumazione del flusso liquido. Esistono sul mercato svariate tipologie di ugelli molto differenti tra loro, adatti per trattamenti di pieno campo e per trattamenti a bande e localizzati. Dal punto di vista costruttivo gli ugelli si differenziano molto anche in base alla tipologia dei materiali utilizzati. Il materiale più utilizzato e diffuso è la plastica (si tratta in realtà di polimeri molto specifici), seguita dalla ceramica e dagli acciai, mentre un tempo erano molto diffusi anche l'ottone e l'alluminio. Dal punto di vista economico i polimeri plastici offrono indiscutibili vantaggi, ma talvolta, comparando il costo alle ore di utilizzo, può risultare più economico un ugello con inserto in materiale ceramico che, pur essendo più oneroso da acquistare, garantisce una durata ed una qualità nel tempo maggiori. Gli ugelli in acciaio possono essere utilizzati anche con pressioni di esercizio molto elevate ma a fronte di

un prezzo di acquisto molto superiore sia a quelli con inserto ceramico che a quelli con inserto plastico per cui se ne consiglia l'utilizzo soltanto nei casi ove sia necessario raggiungere pressioni di esercizio che gli altri ugelli non riescono a garantire. Per quanto riguarda l'ottone e l'alluminio si tratta di materiali ormai poco (l'ottone) o per nulla (l'alluminio) utilizzati in quanto molto più soggetti dei materiali sopracitati al fenomeno dell'usura.

Le più comuni tipologie di ugelli sono: a ventaglio; a doppio ventaglio; a cono vuoto; a cono pieno; a specchio ad ampio angolo; Ugello a più getti rettilinei.

Per quanto riguarda gli ugelli a ventaglio si distinguono in ugelli a ventaglio singolo e ugelli a ventaglio doppio. Ugelli a ventaglio singolo

Questi ugelli, detti anche più precisamente a “ventaglio singolo”, presentano una fessura longitudinale di forma ellittica, a spigoli vivi o arrotondati. Sono la tipologia più comunemente utilizzata sulle barre irroratrici, la loro pressione di esercizio tipica è compresa tra 2 e 4 bar per ugelli in materiale plastico e tra 1,5 e 5 bar per ugelli materiale ceramico e vengono comunemente commercializzati con una grande varietà di calibri, in modo da permettere di ottenere un getto adeguato sia con prodotti di copertura che sistemici. Nel primo caso è infatti necessario “coprire” bene la vegetazione utilizzando goccioline molto fini, mentre nel secondo caso è più opportuno utilizzare gocce di diametro maggiore (il prodotto entra comunque in circolo nella linfa della pianta) e meno soggette ad evaporazione o ad essere trasportate fuori bersaglio dalle correnti di vento. Oggi è pressoché standardizzato l'utilizzo di ugelli a ventaglio con angolo di apertura del getto di 110°, montati sulla barra irroratrice a distanze di 50 cm tra loro. In questo caso per ottenere una buona uniformità di distribuzione bisogna mantenere un'altezza da terra di almeno 55 cm, mentre altezze superiori ai 90 cm sono assolutamente da sconsigliare pena il verificarsi di elevate perdite di prodotto per deriva (ovvero al trasporto fuori bersaglio del materiale eiettato ad opera delle condizioni ambientali). In tempi recenti diversi produttori hanno messo anche a disposizione degli utilizzatori degli ugelli a ventaglio a “effetto venturi” con “induzione d'aria”. Sono caratterizzati da una maggiore lunghezza e dalla presenza di un forellino laterale, generalmente posto verso la parte superiore da cui lo stesso ugello aspira una certa quantità di aria che poi include all'interno delle goccioline generate. In sostanza gli ugelli ad inclusione d'aria sono meno soggetti all'effetto deriva ma, danno a parità di portata, una copertura meno efficace della vegetazione per via della formazione di goccioline con diametro medio più elevato rispetto a quelle generate dagli ugelli a ventaglio classici.

Con l'ugello a ventaglio doppio, rispetto al ventaglio singolo, si ottiene, invece, una

migliore copertura e penetrazione nella coltivazione, con una buona uniformità del prodotto distribuito grazie alle gocce di dimensioni ridotte (a parità di portata) e quindi all'elevato numero di impatti. È consigliabile soprattutto per l'impiego di agrofarmaci che agiscono per contatto. Questi ugelli sono indicati principalmente su colture con vegetazione fitta (bietola, soia, pomodoro insalate da taglio per la IV gamma) poiché presentano una capacità di penetrazione all'interno della vegetazione maggiore rispetto agli ugelli a ventaglio e a cono vuoto; sono inoltre impiegabili anche con fungicidi ad azione sistemica. La pressione tipica di esercizio è compresa tra 2 e 4 bar per ugelli in materiale plastico, tra 1,5 e 5 bar per ugelli materiale ceramico.

Gli ugelli a cono si distinguono in ugelli a cono vuoto e cono pieno

L'ugello a cono vuoto è caratterizzato dalla presenza del vorticolatore (piastrina vorticatrice o elica) e dalla presenza di una camera a turbolenza di forma cilindrica (per questo tale tipo di ugello è definito anche "a turbolenza"). È la tipologia di ugello più comunemente utilizzata sui moderni atomizzatori a polverizzazione meccanica della vena liquida. Rispetto agli ugelli a ventaglio possiedono la capacità di generare una popolazione di goccioline caratterizzata da una migliore uniformità dimensionale, consentendo un eccellente rendimento soprattutto nei trattamenti di copertura; la loro pressione di esercizio sugli atomizzatori è generalmente compresa tra 3 e 25 bar. Sulle barre irroratrici dove spesso venivano installati per migliorare la penetrazione della miscela all'interno di grandi masse vegetali è preferibile l'utilizzo di ugelli a doppio ventaglio.

Anche per gli ugelli a cono vuoto, i costruttori hanno messo recentemente a disposizione degli operatori dei modelli con sistema Venturi ed inclusione d'aria nella vena liquida, da questo punto di vista i vantaggi e gli svantaggi sono simili a quelli già illustrati precedentemente.

Nel caso invece degli ugelli a cono pieno, il getto prodotto è costituito da gocce di diametro elevato: è utilizzabile quindi per la distribuzione di prodotti sistemici e fitoregolatori che richiedono un limitato numero di contatti prodotto/pianta. La pressione tipiche varia dagli 1,5 ai 5 bar.

Negli ugelli a specchio è presente una superficie esterna ed inclinata rispetto al foro di uscita. La vena liquida esce a bassa pressione dal foro della testina, impatta sulla superficie a specchio e si allarga in un ventaglio di goccioline con un angolo di oltre 140°. Questi ugelli vengono impiegati per applicazioni di pieno campo e assicurano una copertura particolarmente uniforme. La spaziatura degli ugelli sulla barra varia tra 50 e 100 cm e la

pressione di esercizio è compresa tra 0,7 e 3 bar; le gocce prodotte sono di grandi dimensioni, con una cospicua riduzione della deriva.

Gli ugello a più getti rettilinei sono stati espressamente studiati per la distribuzione di concimi liquidi azotati in pre-emergenza. La punta di spruzzo è dotata di 2 o 3 fori di uscita, dai quali il liquido esce sotto forma di getto compatto, senza dividersi in goccioline. La spaziatura degli ugelli varia in funzione dei fori di uscita (0,3-0,5 m) e la pressione è ridotta (0,5 - 1 bar) perché bisogna evitare polverizzazione della miscela che, a causa della sua formulazione, aderendo all'apparato fogliare potrebbe danneggiarla. L' Ugello composito, invece, ha una forma del getto a "cono vuoto" ed è la tipologia di ugello più frequentemente presente su atomizzatori di concezione classica. È composto di varie parti che necessitano di essere correttamente riassemblate dopo ogni intervento di pulizia. Viene sempre più frequentemente sostituito dagli ugelli a cono vuoto costituiti da un unico corpo.

Escludendo gli ugelli di tipo composito, per tutti gli altri è stato raggiunto un accordo tra quasi tutti i costruttori sui codici identificativi degli ugelli che ha dato origine a norme di codifica internazionali (ISO) basate su sigle e colori: ad esempio, il codice 11002 (colore giallo) significa angolo di spruzzo 110°, portata di 0.8 l/min a 3 bar. In questo modo partendo dal colore e dalla tipologia di ugello a determinate pressioni corrispondono specifiche e conosciute portate espresse in l/min che vengono riassunte in tabelle specifiche che dovrebbero essere sempre richieste in fase di acquisto degli ugelli perché basilari nella taratura della macchina. Vi sono ancora in commercio vecchi ugelli a cono con piastrina e convogliatore in cui le dimensioni sono espresse indicando il diametro di tali elementi; ad esempio 1,8/1,2 (foro piastrina 1,8 mm, foro convogliatore 1,2 mm) oppure 1,5/- (foro piastrina 1,5 mm, convogliatore cieco).

In termini funzionali, le irroratrici si distinguono essenzialmente in base alle modalità di formazione e di trasporto delle gocce che può avvenire per: polverizzazione meccanica (pressione di liquido) in cui la miscela sotto pressione viene fatta uscire attraverso ugelli idraulici (spruzzatori) provvisti di foro di uscita di diametro limitato; la pressione si traduce in energia cinetica, e la miscela, scontrandosi con l'aria, si polverizza. Con ciò si ottengono gocce con volume variabile da 150 a più di 1000 μm in funzione della tipologia di ugelli.

Oltre a questo tipo di polverizzazione si trovano in commercio irroratrici a polverizzazione pneumatica; in questa tipologia costruttiva il liquido, a bassa pressione, viene investito da una corrente d'aria ad alta velocità e frantumato (diffusore pneumatico). Volume delle gocce da 50-150 μm . infine, ma non per questo meno importanti, si trovano macchine a polverizzazione centrifuga, il funzionamento avviene grazie alla forza centrifuga,

impressa al liquido da particolari ugelli rotativi, che accelera il liquido stesso che si polverizza poi per effetto della resistenza dell'aria. Volume delle gocce: 50-150 μm .

Da tenere conto che negli ugelli idraulici la pressione d'esercizio gioca un ruolo fondamentale nel determinare il diametro delle gocce nel senso che, con lo stesso dispositivo, aumentando la pressione si hanno portate di efflusso crescenti e si ottengono gocce con diametro via via decrescente.

Per questa ragione sulle irroratrici gli ugelli idraulici sono in genere facilmente sostituibili e l'operatore può scegliere il tipo più adatto alle sue necessità e procedere a una sua regolazione.

Tenendo conto delle dimensioni delle gocce conseguibili con le diverse tecnologie di polverizzazione e della necessità di copertura in termini di numero di impatti, operativamente possono essere realizzati trattamenti con i volumi di miscela indicati:

Colture erbacce (l/ha)

AV: Alto volume	>800
MV: Medio volume	200-800
RV: Ridotto volume	100-200
BV: Basso volume	50-100
MBV: Molto basso volume	10-50
UBV: Ultra basso volume	<10

Colture arboree (l/ha)

AV: Alto volume	>1000
MV: Medio volume	500-1000
RV: Ridotto volume	350-500
BV: Basso volume	200-350
MBV: Molto basso volume	50-200
UBV: Ultra basso volume	<50

Una volta avvenuta la polverizzazione, il trasporto delle gocce verso il bersaglio può avvenire per: getto proiettato, avviene direttamente mediante l'energia cinetica propria delle gocce, getto portato, in cui il trasporto si realizza mediante una corrente d'aria portante prodotta da un ventilatore; getto guidato che si verifica creando una soluzione intermedia tra

le due precedenti: il getto viene proiettato sul bersaglio e qui viene raggiunto da un flusso d'aria che, creando una turbolenza, permette alle gocce di meglio aderire al bersaglio stesso.

Una volta regolata la portata di distribuzione (l/h) dei singoli ugelli e, quindi, della operatrice nel suo complesso, nei modelli di minore dimensione e più semplici delle diverse categorie di macchina la distribuzione nel senso delle direzioni di avanzamento, e quindi la dose distribuita Q (l/ha), è mantenuta costante procedendo sempre alla medesima velocità. Nelle macchine di maggiore dimensione si hanno sistemi di regolazione, che variano la portata di distribuzione q in funzione del numero di giri del motore o della velocità di avanzamento. L'attuale frontiera tecnologica è in grado di variare automaticamente le dosi di miscela su porzioni di terreno differenti.

Come già detto abbiamo diverse tipologie di macchine, in funzione del tipo di coltura da trattare.

In particolar modo per le colture erbacee abbiamo irroratrici a polverizzazione meccanica, irroratrici a barra a getto guidato.

Una irroratrice a polverizzazione meccanica e getto proiettato sono macchine portate (posteriormente o anteriormente), trainate o semoventi essenzialmente costituite da un telaio che monta un serbatoio principale (in vetroresina o polietilene), nel quale è contenuta la miscela da distribuire. Ormai sempre presenti serbatoi aggiuntivi per acqua pulita da utilizzare per il lavaggio della macchina e dell'operatore. Una pompa volumetrica (a pistoni o più frequentemente a membrana) mette in pressione la miscela e la invia a una barra divisa in più sezioni sulla quale sono montati ugelli idraulici

Generalmente le macchine destinate ad effettuare trattamenti su colture erbacee sono dotate anche di sistemi di autolivellamento delle barre.

Questi sistemi sono caratterizzati da: barre appese e libere di oscillare attorno ad un punto centrale (barre a pendolo o a molle): garantiscono l'autolivellamento in caso di buche, avvallamenti, etc. su appezzamenti piani, ma non appezzamenti declivi, su pistoni idraulici per la correzione dell'assetto della barra, eventualmente integrati da sensori di altezza alle estremità della barra che consentono una correzione automatica anche in aree declivi.

La regolazione della dose distribuita avviene mantenendo: la miscela a pressione costante: questa è la soluzione più diffusa in cui la portata è costante e la dose si varia modificando la velocità di avanzamento.

La portata della miscela è proporzionale alla velocità di avanzamento. La dose è sempre costante a qualsiasi velocità

Esistono inoltre macchinari in cui la concentrazione della miscela proporzionale alla

velocità di avanzamento (macchine a iniezione). Il circuito dell'acqua separato da quello del prodotto. La dose è sempre costante a qualsiasi velocità. Come vantaggio presenta la facilità di pulizia.

Le irroratrici a barra a getto guidato sono provviste di un ventilatore a flusso assiale montato centralmente rispetto alla barra orizzontale. L'aria viene aspirata dal ventilatore dall'alto e inviata lungo la barra attraverso un tubo provvisto inferiormente di una fessura, in modo da investire dall'alto verso il basso il flusso di gocce polverizzate idraulicamente. La portata del ventilatore deve essere tale da imprimere una velocità all'aria di 25-35 m/s in prossimità degli ugelli. Il funzionamento in questo sistema differisce da quello delle macchine a getto portato in quanto il flusso d'aria non "porta" le goccioline verso il bersaglio, ma crea all'interno della coltura in campo una turbolenza che facilita il contatto tra gocce e pianta. Il flusso d'aria creato ha inoltre il compito di creare una barriera che riduce notevolmente la possibilità di deriva.

Per quanto concerne invece le irroratrici a polverizzazione pneumatica, gli elementi tipici di questa tipologia di macchina sono i diffusori (ugelli pneumatici). Un ventilatore centrifugo fa pervenire a questi un flusso d'aria ad elevata velocità. In prossimità dell'uscita sono disposti dei tubi di adduzione del liquido, venendo a contatto con l'aria la miscela si polverizza finemente (diametro delle gocce dell'ordine dei 100 μm). La disposizione di questi elementi su di un telaio portante orizzontale permette di posizionare gli stessi in prossimità degli organi della pianta da trattare e diminuire i rischi di deriva.

Per ultimo, ma non meno importante, in alcune irroratrici per colture erbacee, non si ha formazione di gocce, e il trattamento avviene mediante strisciamento sulla superficie da diserbare di organi imbevuti di liquido (corde o spugne per esempio). Si parla in questo caso di barre umettatrici

Abbiamo detto che si distinguono due grosse tipologie di macchinari a seconda che si tratti di colture arboree o colture erbacee.

Entrando nel merito delle irroratrici per trattamenti su colture arboree abbiamo tre tipologie di macchine: portate, trainate o semoventi dette atomizzatori. Si differenziano da quelle a polverizzazione meccanica descritte per le colture erbacee per il fatto che la barra portante gli ugelli non è orizzontale, ma montata all'uscita di un ventilatore assiale posto appena dietro al serbatoio contenente la miscela. Il liquido polverizzato dai convenzionali ugelli idraulici sopra descritti (diametro delle gocce mediamente $>200 \mu\text{m}$) viene portato verso il bersaglio all'interno del flusso creato dal ventilatore (getto portato). Le goccioline possono arrivare fino a 10-12 metri di distanza, ma la larghezza di lavoro è

fondamentalmente condizionata dal sesto di impianto.

Il primo componente procedendo dalla parte terminale di un qualsiasi atomizzatore è rappresentato dal ventilatore assiale.

Quest'ultimo presenta 6-14 pale, con portata di 20000-40000 m³/h, capace di fornire all'aria una velocità di 30-50 m/s. La ventola (in genere singola con diametro da 500 a 1000 mm) è tradizionalmente realizzata in acciaio, ma sempre più spesso vengono realizzate pale in poliammide (nylon- vetro). Le pale possono essere fisse o regolabili. In questo secondo caso possono essere orientate, a seconda della necessità di portata di aria, da 20° a 50° rispetto al piano del mozzo.

La regolazione è effettuata rapidamente utilizzando un'apposita chiave, che viene inserita in testa al mozzo. Nei modelli più complessi questa operazione è motorizzata. Il regime di rotazione massimo è attorno ai 2500/3000 giri/min. in genere viene montato un cambio a 2 velocità per mutare il regime di rotazione.

Non esiste un senso di rotazione privilegiato. Interposti tra la ventola e le uscite di aria dalla carenatura possono essere installati dispositivi vari di direzionamento dell'aria che può essere suddivisa in più flussi.

La posizione della presa d'aria, la distribuzione degli ugelli e la forma della carenatura influenzano le modalità con cui si crea il flusso d'aria direzionato verso il bersaglio e vengono progettati in modo che la macchina "base" possa essere via via adattata alle diverse forme colturali. Gli ugelli (semplici, doppi o tripli) sono installati in prossimità delle vie di fuga dell'aria.

Si deve tenere presente che per portare la miscela in pressione agli ugelli deve essere realizzato un circuito idraulico sufficientemente resistente e, quindi, rigido. La forma di queste operatrici, una volta definita, può difficilmente essere modificata. Ci sono quindi macchine particolarmente adattate a lavorare su colture permanenti a parete verticale.

Procedendo verso la parte anteriore della macchina, troviamo un serbatoio, generalmente realizzato in poliestere, che può avere diverse capacità di carico e l'intera struttura della macchina è trainata e in funzione della capacità di carico di questa, possiamo avere macchine a due assi o monoasse, con pneumatici non sterzanti.

Oltre agli atomizzatori, abbiamo pure un'altra tipologia di macchine che sono a polverizzazione pneumatica (altrimenti dette nebulizzatori). Queste presentano i medesimi componenti delle altre macchine precedentemente descritte (telaio, serbatoio, sistema di ricircolo, etc.).

Esse tuttavia si differenziano dalle precedenti per il tipo di polverizzazione del tutto

particolare. Infatti una pompa (a bassa pressione <1,5 bar anche di tipo centrifugo o anche un semplice sistema di aspirazione) provvede a far pervenire il liquido, mediante una serie di tubicini, in prossimità dei cosiddetti diffusori pneumatici (in questo caso non è presente un vero e proprio ugello spruzzatore) che polverizzano finemente il liquido. Vista la tipologia delle gocce prodotte (diametro di 50-150 μm), queste macchine servono per effettuare trattamenti a basso volume.

Entrando più nel merito dei diffusori, questi ultimi rilasciano un flusso d'aria direzionato verso la coltura da trattare e possono essere di diversa forma: a cannone: nei qual caso il flusso viene diretto in un'unica direzione; a due lobi: per generare un flusso ambidirezionale equivalente; ad uscita multipla: suddivisa in numerosi boccagli (anche 10), montati su uno o più supporti, ognuno dei quali direzionabile in modo che verso e direzione del flusso possano essere facilmente modificabili in funzione della forma di chioma da trattare.

Essi sono alimentati da un ventilatore centrifugo che produce un flusso d'aria di portata pari a 10000-15000 m^3/h d'aria con un'elevata velocità di efflusso (60-100 m/s). In condizioni favorevoli, le goccioline possono arrivare fino a 8-10 m di distanza dai diffusori, ma la larghezza di lavoro è condizionata, anche in questo caso, dal sesto d'impianto.

I diffusori possono essere montati, talvolta, su speciali tralicci in modo da realizzare operatrici multi filari.

I nebulizzatori elettrostatici si basano sul fatto che le piante (specie dopo periodi ventosi) sono in genere portatrici di carica elettrostatica negativa. Utilizzando degli elettrodi montati sull'uscita dei distributori pneumatici si provvede a caricare positivamente (+) le goccioline costituenti la nebbia antiparassitaria. Gli elettrodi sono alimentati elettricamente con un elevato voltaggio (fino a 10 kV) e un basso amperaggio. Più le goccioline sono fini, più il sistema è efficiente, in quanto la carica acquisibile è inversamente proporzionale alla massa delle gocce stesse.

Altra tipologia di macchine sono gli impolveratori, che sono portate in genere dalla trattatrice, con organi azionati dalla presa di potenza. Sono essenzialmente costituite da una tramoggia di contenimento del prodotto polverulento da distribuire (classicamente zolfo), al di sotto del quale è installato un ventilatore. Sul fondo della tramoggia è presente una saracinesca che serve a regolare la luce di apertura della tramoggia verso il ventilatore attraverso la quale il prodotto cade per gravità. Per evitare intasamenti, all'interno della tramoggia sono presenti degli organi agitatori. Il flusso d'aria contenente il principio attivo creato dal ventilatore viene inviato a un diffusore orientabile la cui uscita viene direzionata verso il bersaglio da trattare. Nelle macchine di maggiore capacità di lavoro si possono avere

più diffusori.

Entrambe le macro categorie di macchinari (per trattamenti su erbacee e per trattamenti su arboree) conseguono la finalità di ridurre il quantitativo di prodotto fitosanitario e contemporaneamente aumentare l'efficacia in termini di trattamento entro un certo range.

Sono state sviluppate tecniche di nebulizzazione ecologicamente sicure per ridurre l'uso di prodotti fitosanitari (PPP) per applicarli solo quando e dove necessario con ridotte perdite per l'ambiente ((Jaeken, P., Doruchowski, G., Holownicki, 1997).

Per raggiungere questi obiettivi sostanzialmente è necessario andare a ridurre l'effetto deriva e/o recuperare la miscela che non arriva a target.

Per deriva intendiamo il movimento di goccioline di miscela agrofarmaci/acqua che attraverso il vento vengono portate via dall'area di applicazione del bersaglio, in genere immediatamente dopo l'applicazione. È spesso invisibile e, sebbene inevitabile, può essere ridotta al minimo. La deriva aumenta con la velocità del vento e l'altezza dal suolo degli ugelli quando vengono rilasciate le gocce. Aumenta, inoltre, con la dimensione delle gocce di miscela. Idealmente, sono desiderabili gocce uniformi tra 500 micron (pioggia moderata) e 1 mm (1000 micron, pioggia pesante) di diametro. Gocce di queste dimensioni riducono al minimo ma non eliminano la deriva, soprattutto se il trattamento viene eseguito quando la velocità del vento è superiore a 8 km/h. Non è raro, specialmente in ambienti aridi, dove si verifica l'evaporazione dell'acqua entro 60-90 metri dal punto di somministrazione, che solo l'erbicida e i solventi organici associati rimangano alla deriva (Robert L. Zimdahl, in *Fundamentals of Weed Science* 2018)

Durante le applicazioni in campo, i pesticidi possono entrare nell'aria sotto forma di goccioline o deriva di vapore. Il vento, la dimensione delle goccioline, la temperatura e l'altezza dell'ugello dal suolo sono alcuni dei fattori che influenzano la quantità di deriva dello spruzzo rilasciata nell'ambiente.

ALLEGATO 2: Descrizione del software QGIS

QGIS nasce nel 2002 da un gruppo di volontari con lo scopo di fornire un visualizzatore di dati geografici facile e veloce come risposta all'impostazione "da esperti" di GRASS. Con l'evoluzione del progetto, emerge l'idea di usare QGIS come Graphical User Interface (GUI) di GRASS. QGIS è stato successivamente ampliato tramite estensioni che svolgono funzioni specifiche, dette plugins e attualmente è un applicativo che può essere utilizzato in maniera indipendente. Diversamente da altri applicativi GIS piuttosto complicati, QGIS ha un'interfaccia grafica intuitiva che ne facilita molto l'utilizzo, con un'unica finestra in cui si trovano comandi, mappe e layers. Offre inoltre la possibilità di gestire dati di formati diversi (Raster, vettori, servizi web, ecc.) e di interfacciarsi facilmente con altri software di gestione di dati geografici.

QGIS permette di visualizzare, analizzare, incrociare, interrogare, tematizzare e preparare per la stampa o la pubblicazione web mappe georeferenziate vettoriali e Raster a diverse scale. Tali mappe vengono collegate, come layer sovrapposti, in una rappresentazione detta progetto. Teoricamente il numero di mappe che si possono aprire in un progetto non ha limite, in pratica è utile, prima di iniziare, valutare quali dati servono effettivamente per evitare di arrivare a progetti pesantissimi e confusi. In un progetto QGIS le mappe sono collegate e si lavora direttamente sugli originali, che ogni volta il software va a recuperare tramite il percorso. A questo proposito, prima di iniziare a lavorare con il software è necessario: analizzare "a tavolino" il tema che si intende affrontare tramite GIS e farsi un'idea dei risultati che si vuole ottenere e dei dati e delle elaborazioni necessarie. Caricare in un progetto tutti i materiali disponibili per poi vedere cosa si può ricavare nella maggior parte dei casi porta a riottenere i dati di partenza e a perdere un sacco di tempo. Organizzare i dati che si intende utilizzare in una o più cartelle facilmente raggiungibili e riconoscibili.

Per prima cosa, creando un nuovo progetto in QGIS è necessario impostare il sistema di riferimento (= sistema di coordinate) cui faranno riferimento tutte le mappe utilizzate.

Esistono più di diecimila sistemi di coordinate, a coprire tutta la terra. Una principale divisione è data in: sistemi di coordinate geografiche (in cui la posizione di un punto è espressa da un angolo rispetto all'equatore (Latitudine) e un angolo rispetto al meridiano di Greenwich (Longitudine) e misurata in gradi decimali o sessagesimali sistemi di coordinate piane - dette anche proiettate, metriche o chilometriche - in cui la posizione di un punto è espressa dalla sua distanza dall'equatore e da un meridiano di riferimento ed è misurata in metri o in chilometri. Esistono anche alcuni sistemi di coordinate polari (in cui la posizione

di ciascun punto è espressa in una misura ed un angolo rispetto ad un punto di riferimento), ma sono meno utilizzati. In generali i sistemi di coordinate geografiche sono utilizzati a scala globale o territoriale molto vasta (ad esempio un'intera nazione), mentre quelli di coordinate piane sono utilizzati a livello locale, perché presentano meno deformazioni.

Ogni sistema di coordinate è descritto: da un nome (es. WGS84); una descrizione, che comprende l'ellissoide di riferimento e nel caso di coordinate piane il sistema di proiezione utilizzato, un numero univoco, detto codice EPSG (International Association of Oil & Gas Producers), che fa riferimento ad un database di sistemi di coordinate gestito e aggiornato da quest'associazione.

Una mappa vettoriale consiste in una serie di oggetti - punti, linee o poligoni - cui possono essere associati dati diversi, in forma tabellare. Ad ogni oggetto sulla mappa corrisponde una linea della tabella associata e sono collegati tramite un numero univoco definito automaticamente. Ogni mappa comprende un solo tipo di geometrie. Non possono quindi coesistere nello stesso layer punti e poligoni o punti e linee. I dati riportati nella tabella possono essere di quattro tipi: numeri interi (Integer, fino ad un massimo di 11 cifre), numeri decimali (Real, fino ad un massimo di 24 cifre, decimali compresi. Si tratta di numeri detti a "virgola mobile" e possono variare da parte intera di una cifra e 23 decimali a una parte intera di 24 cifre e 0 decimali, testo (String, fino ad un massimo di 254 caratteri), data (Data, in vari formati fino ad un massimo di 20 caratteri) Diversamente da alcuni software di gestione di fogli di calcolo, tra cui Excel o simili, in ogni campo (cioè colonna) della tabella possono essere contenuti dati solo di un tipo, ad esempio solo numeri interi, o solo decimali. Se si volesse mescolare numeri e testo, si deve utilizzare un campo testo. QGIS apre e visualizza numerosi formati vettoriali, anche collegati a software proprietari, ma può modificare solo due tipi di file, i cosiddetti shapefile e i file creati tramite il database SQLite (o ancora meglio la sua versione "spaziale" Spatialite).

Si chiama shapefile un tipo di mappe vettoriali, originariamente prodotto dalla ditta ESRI e in seguito utilizzato come formato di interscambio tra i vari applicativi GIS, Open e proprietari. Una mappa vettoriale in formato shape è composta da un minimo di tre ad un massimo di sei file.

- file.dbf tabella associata alle geometrie
- file.prj file in cui è registrato il sistema di coordinate
- file.shx estensione della mappa nello spazio
- file.shp file in cui sono registrate le geometrie della mappa.

-File.qpj, file.sbx, file.sbn, ecc. altri file creati dall'applicazione con cui è stato salvato lo shapefile.

Perché un software GIS possa leggere uno shapefile è necessario che tutti i file che lo compongono siano salvati nella stessa cartella e abbiano tutti lo stesso nome (naturalmente mantenendo estensione differente)

BIBLIOGRAFIA

- A.Y.S. Cheng, A. Viseu, F.K.C. Leong, C.S. Chan, K.S. Tam, R. L. M. C. (2005). Horizontal Eye-Safe Mie Lidar for Monitoring of Urban Aerosols in Macao. *Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing*.
- Assemblea, S., & Della, M. (2017). Nutrizione materna , dei neonati e dei bambini Guida sul porre fine alla promozione inappropriata di. *OMS*, 1–7.
- B., G. (1999). Prospettive economiche dell'agricoltura di precisione in Italia. *L'innovazione Tecnologica per l'agricoltura Di Precisione e La Qualità Produttiva*.
- Bakhsh, A., Colvin, T. S., Jaynes, D. B., Kanwar, R. S., & Tim, U. S. (2000). Using soil attributes and GIS for interpretation of spatial variability in yield. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 43(4), 819–828. <https://doi.org/10.13031/2013.2976>
- Balsari, P., Tamagnone, M. (2007). An ultrasonic airblast sprayer. *EurAgeng Conference*.
- Balsari P., M. P. (2004). La deriva del prodotto fitoiatrico. *Informatore Fito-Patologico*.
- Basso B, Sartori L., B. M. and O. G. (2003). Evaluation of variable depth tillage: economic aspects and simulation of long-term effects on soil organic matter and soil physical properties. *Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture*.
- Basten, S. J. and M. (1999). Cost/benefit analysis of introducing site-specific management on a commercial farm. *Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture*.
- Boesten, J. J. T. I., Köpp, H., Adriaanse, P. I., Brock, T. C. M., & Forbes, V. E. (2007). Conceptual model for improving the link between exposure and effects in the aquatic risk assessment of pesticides. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(3), 291–308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.10.002>
- Bongiovanni, R., & Lowenberg-Deboer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359–387. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>

- Bullock, D. S., & Bullock, D. G. (2000). From agronomic research to farm management guidelines: A primer on the economics of information and precision technology. *Precision Agriculture*, 2(1), 71–101. <https://doi.org/10.1023/A:1009988617622>
- CDC. (2011). *Behavioral dependencies: criteria, evidence, treatment*.
- Cioloș Dacian. (2012). *Un partenariato tra l' Europa e gli agricoltori Prefazione*.
- Codex. (2003). General Principles of Food Hygiene. *Codex Alimentarius - Basic Texts Food Hygiene*, 1–31. Retrieved from <http://www.fao.org/>
- Dabrowski, J. M., Bollen, A., & Schulz, R. (2005). Combined effects of discharge, turbidity, and pesticides on mayfly behavior: Experimental evaluation of spray-drift and runoff scenarios. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24(6), 1395–1402. <https://doi.org/10.1897/04-222R.1>
- Dickey, E.C., Shelton, D.P., Jasa, P.J., Petterson, T. . (1985). . Soil erosion from tillage system used in soybean and corn residues. *Transaction of the ASAE*.
- Doruchowski, G.; Balsari, P. . V. de Z. (n.d.). J.C. Development of a Crop Adapted Spray Application System for Sustainable Plant Protection in Fruit Growing No Title. *International Symposium on Application of Precision Agriculture for Fruits and Vegetables; International Society for Horticultural Science*.
- Doruchowski, G., & Holownicki, R. (2000). Environmentally friendly spray techniques for tree crops. *Crop Protection*, 19(8–10), 617–622. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00081-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00081-8)
- Druart, C., Millet, M., Scheifler, R., Delhomme, O., Raeppl, C., & de Vaufleury, A. (2011). Snails as indicators of pesticide drift, deposit, transfer and effects in the vineyard. *Science of The Total Environment*, 409(20), 4280–4288. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2011.07.006>
- Ferguson R.B., Hergert G.W., S. J. S. and C. C. A. (1998). Site-specific nitrogen management of irrigated corn. *Proceeding of the 4th International Conference on Precision Agriculture*.
- Fornasiero, D., Mori, N., Tirello, P., Pozzebon, A., Duso, C., Tescari, E., ... Otto, S. (2017). Effect of spray drift reduction techniques on pests and predatory mites in orchards and vineyards. *Crop Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.04.010>

- Gil, E., Escolà, A., Rosell, J. R., Planas, S., & Val, L. (2007). Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Protection*, 26(8), 1287–1297. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2006.11.003>
- Ginting D., Moncrief J.F, Gupta S.C., and Evans S.D., 1998a. (1998). Corn yield, runoff, and sediment losses from manure and tillage systems. *Journal of Environmental Quality*.
- Godwin, R. ., Richards, T. ., Wood, G. ., Welsh, J. ., & Knight, S. . (2003). An Economic Analysis of the Potential for Precision Farming in UK Cereal Production. *Biosystems Engineering*, 84(4), 533–545. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00282-9](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00282-9)
- Godwin, R. J., & Miller, P. C. H. (2003). A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystems Engineering*, 84(4), 393–407. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00283-0](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00283-0)
- Harmel, R. D., Kenimer, A. L., Searcy, S. W., & Torbert, H. A. (2004). Runoff water quality impact of variable rate sidedress nitrogen application. *Precision Agriculture*, 5(3), 247–261. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000032764.91534.c5>
- J. Kar, M.A. Vaughan, Z. Liu, A.H. Omar, C.R. Trepte, J. Tackett, T.D. Fairlie, R. K. (2015). . Detection of pollution outflow from Mexico City using CALIPSO Lidar measurements. *Remote Sens. Environ.*
- J. Xian, D. Sun, W. Xu, C. Tian, Q. Tan, Y. Han, S. Y. (2019). Calibration and calculation of polarization Lidar. *Earth Space Sci.*
- J.L, P. (2004). spatial dependence of cotton yield using global and local autocorrelation statistics. *Field Crop Research*.
- J, B. (1998). Precision Agriculture: a unique tool to unify production and environmental requirements in agriculture. *Proceeding of the 4th International Conference on Precision Agriculture*.
- Jaeken, P., Doruchowski, G., Holownicki, R. (1997). Use of sensors in selective spray application in orchards. *Proceedings of V Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering*.
- Kang, N. E., Kim, J. H., Kim, Y. S., & Ha, A. W. (2010). Food safety knowledge and practice by the stages of change model in school children. *Nutrition Research and Practice*, 4(6), 535–540. <https://doi.org/10.4162/nrp.2010.4.6.535>

- Koch, H., Knewitz, H., Fleischer, G. (2001). zur Abdriftreduzierung und biologischen Wirksamkeit bei grosstropfiger Applikation. *Gesunde Pflanz*.
- Koch, H. (2003). Drift Reduction and Options for Sprayer Adjustment. *Seventh Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*.
- L. Cavellin, S. Weichenthal, R. Tack, M. Ragetti, A. Smargiassi, M. H. (2016). Investigating the use of portable air pollution sensors to capture the spatial variability of traffic-related air pollution. *Environ. Sci. Technol.*
- Laflen, J. M., Baker, J. L., Hartwig, R. O., Buchele, W. F., & Johnson, H. P. (1978). Soil and Water Loss From Conservation Tillage Systems. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 21(5), 881–885. <https://doi.org/10.13031/2013.35407>
- Larson W., J. Lamb, B. Khakural, R. F. and G. R. (1997). of site-specific management for non-point environmental protection. In *The State of Site-Specific Management for Agriculture*.
- Lindgreen, A., & Lindgreen, A. (2004). Corruption and unethical behavior: report on a set of Danish guidelines. *Journal of Business Ethics*, 51(1), 31–39. <https://doi.org/10.1023/B>
- Llorens, J., Gil, E., Llop, J., & Escolà, A. (2011). Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: Advances to improve pesticide application methods. *Sensors*, 11(2), 2177–2194. <https://doi.org/10.3390/s110202177>
- M.J., M. A. B. and P. (1999). Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in Precision Agriculture. *Precision Agriculture*.
- Marra, M., Pannell, D. J., & Abadi Ghadim, A. (2003). The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? *Agricultural Systems*, 75(2–3), 215–234. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00066-5)
- Mazzetto F., L. S. (1999). , Le tecnologie informatiche. *Macchine e Motori Agricoli*.
- Miller, P.H.C., Tuck, C. R. (2005). Factors influencing the performance of spray delivery systems: a review of recent developments. *J. ASTM Int.* 2.
- Moltó, E., Martín, B., & Gutiérrez, A. (2001). PM—Power and Machinery: Pesticide Loss Reduction by Automatic Adaptation of Spraying on Globular Trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(1), 35–41. <https://doi.org/10.1006/JAER.2000.0622>

- Morari, F., Loddo, S., Berzaghi, P., Ferlito, J. C., Berti, A., Sartori, L., ... Mosca, G. (2013). Understanding the effects of site-specific fertilization on yield and protein content in durum wheat. *Precision Agriculture 2013 - Papers Presented at the 9th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2013*, 321–327.
- Norazmir, M. N., Noor Hasyimah, M. A., Siti Shafurah, A., Siti Sabariah, B., Ajau, D., & Norazlan Shah, H. (2012). Knowledge and practices on food safety among secondary school students in Johor Bahru, Johor, Malaysia. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(2), 110–115. <https://doi.org/10.3923/pjn.2012.110.115>
- Osei-tutu, B. (2018). *Evaluation of Food Safety Management Systems of Food Service Establishments within the Greater Accra Region*. 12(1), 17–21.
- Osei-Tutu, B., & Anto, F. (2016). Trends of reported foodborne diseases at the Ridge Hospital, Accra, Ghana: A retrospective review of routine data from 2009-2013. *BMC Infectious Diseases*, 16(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12879-016-1472-8>
- Otto, S., Loddo, D., Baldoin, C., & Zanin, G. (2015). Spray drift reduction techniques for vineyards in fragmented landscapes. *Journal of Environmental Management*, 162, 290–298. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2015.07.060>
- Otto, S., Mori, N., Fornasiero, D., Veres, A., Tirello, P., Pozzebon, A., ... Zanin, G. (2013). Insecticide drift and its effect on *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) in an Italian vineyard-hedgerow system. *Biosystems Engineering*, 116(4), 447–456. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2013.10.007>
- P.C.H, G. R. J. and M. (2003). A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystems Engineering*.
- Pierce F Nowak P. (1999). *Advances in Agronomy. Advances in Agronomy*.
- Rains S., Chen Y., L. D. . (2002). Movement of soil by sweep injection tools. *ASAE*.
- Rejesus, R. M., & Hornbaker, R. H. (1999). Economic and environmental evaluation of alternative pollution-reducing nitrogen management practices in central Illinois. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 75(1–2), 41–53. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00058-4)
- Robert L. Zimdahl. (2018). *Fundamentals of Weed Science*.
- Roberts R., B. E. and S. M. (2001). Environmental and economic effects of spatial variability and weather. *Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture*,.

- Rosell, J.R., Nogue´s, A., Planas, S. (1996). experimental selective orchard spraying system based on the electronic control of applied flow rate. *EurAgEng Conference*.
- Shen, M., Hu, M., & Sun, Z. (2015). Assessment of school-based quasi-experimental nutrition and food safety health education for primary school students in two poverty-stricken counties of West China. *PLoS ONE*, *10*(12), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145090>
- Snyder, K. A., Harrison, D. W., & Shenal, B. V. (1998). The Affective Auditory Verbal Learning Test: Peripheral Arousal Correlates. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *13*(3), 251–258. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(97\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(97)00006-1)
- Solanelles, F., Planas, S., Escolà, A., Rosell, J. R. (2002). application efficiency of an electronic control system for proportional application to the canopy volume. *Aspects Appl. Biol. Int. Adv. Pestic.*
- Stainier, C., Destain, M. F., Schiffers, B., & Lebeau, F. (2006). Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. *Crop Protection*, *25*(12), 1238–1243. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.006>
- Swinton, L.-D. J. and S. M. (1997). Economics of site-specific management in agronomic crops. *Proceeding of the 3rd International Conference on Precision Agriculture*.
- Takanashi K, Chonan Y, Quyen DT, Khan NC, Poudel KC, J. M. (2009). Survey of food-hygiene practices at home and childhood diarrhoea in Hanoi, Viet Nam. *J Health Popul Nutr.*
- Taylor, J a. (2004). *Digital Terroirs and Precision Viticulture: Investigations into the application of information technology in Australian vineyards*. (August), 233. Retrieved from [http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/people/james/Thesis/PhD_Taylor_2004.pdf%5Cnfile:///D:/Àlex/Feina/Bibliografia/Articles i estudis/AP/Digital Terroirs and Precision Viticulture](http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/people/james/Thesis/PhD_Taylor_2004.pdf%5Cnfile:///D:/Àlex/Feina/Bibliografia/Articles%20i%20estudis/AP/Digital%20Terroirs%20and%20Precision%20Viticulture). Investigations into the application of information technology in Australia
- Taylor, James. (2002). *Digital Terroirs and Precision Viticulture: Investigations into the application of information technologies in Australian vineyards*.
- Thrikawala, S., Weersink, A., Kachanoski, G., & Fox, G. (1999). Economic Feasibility of Variable-Rate Technology for Nitrogen on Corn. *American Journal of Agricultural Economics*, *81*(4), 914. <https://doi.org/10.2307/1244334>

- Tisseyre, B., & Taylor, J. (2006). An overview of methodologies and technologies for implementing precision agriculture in viticulture. *XII Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia*, (March 2016), 45–54.
- Torgerson, P. R., Devleeschauwer, B., Praet, N., Speybroeck, N., Willingham, A. L., Kasuga, F., ... de Silva, N. (2015). World Health Organization Estimates of the Global and Regional Disease Burden of 11 Foodborne Parasitic Diseases, 2010: A Data Synthesis. *PLoS Medicine*, *12*(12), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001920>
- Verro, R., Finizio, A., Otto, S., & Vighi, M. (2009). Predicting pesticide environmental risk in intensive agricultural areas. I: Screening level risk assessment of individual chemicals in surface waters. *Environmental Science and Technology*, *43*(2), 522–529. <https://doi.org/10.1021/es801855f>
- Victoria Ochoa, B. M. (2018). No Title. In *Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management*.
- Vrindts E., Reyniers M., Darius P., De Baerdemaeker J., Gilot M., Sadaoui Y., Frankinet M., H. B. and D. M. F. (2003). Analysis of soil and crop properties for precision agriculture for winter wheat. *Biosystems Engineering*.
- Wang D., Prato T., Qiu Z., K. N. R. e S. K. . (2003). Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen and lime application for claypan soil fields. *Precision Agriculture*.
- Watkins K.B., L. Y. C. and H. W. . (1998). return and environmental impacts of variable rate nitrogen fertilizer and water application. *Precision Agriculture, Robert et Al*.
- Wenneker, M., Heijne, B., & Van de Zande, J. C. (2005). Effect of air induction nozzle (coarse droplet), air assistance and one-sided spraying of the outer tree row on spray drift in orchard spraying. *Annual Review of Agricultural Engineering*, *4*(1), 116–128.
- Werner A., 2003. (2003). No Title. In *Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF*.
- Y. Wang, M.E. Pawlowski, S. Cheng, J.G. Dwight, R.I. Stoian, J. Lu, D. Alexander, T. S. T. (2019). Light-guide snapshot imaging spectrometer for remote sensing applications. *Opt. Express*, *27*.
- Zamahn, Q. U., & Salyani, M. (2004). *Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume*.

Zande, van de. (2007). Spray Drift and Off-field Evaluation of Agrochemical in the Netherlands. *Plant Research International B.V., Wageningen*, 149.

Zhou, X., Mayes, H. B., Broadbelt, L. J., Nolte, M. W., & Shanks, B. H. (2015). Pyrolysis of Heavy Oil in the Presence of Supercritical Water: The Reaction Kinetics in Different Phases. *AICHE Journal*, *61*(3), 857–866. <https://doi.org/10.1002/aic>