

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Risorse Naturali e Ambiente

Dipartimento di Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Analisi delle prestazioni di un sistema a impianto fisso per la distribuzione
di prodotti fitosanitari su melo

Relatore

Prof. Francesco Marinello

Correlatore

Dott. Daniel Bondesan

Laureando

Federico Giuliani

2097302

ANNO ACCADEMICO 2023/2024



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia Animali Risorse Naturali e Ambiente

Dipartimento di Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Analisi delle prestazioni di un sistema a impianto fisso per la distribuzione
di prodotti fitosanitari su melo

Relatore

Prof. Francesco Marinello

Correlatore

Dott. Daniel Bondesan

Laureando

Federico Giuliani

2097302

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE

RIASSUNTO	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUZIONE	7
1.1. Prodotti fitosanitari.....	8
1.1.1. Composizione e formulazione dei prodotti fitosanitari	9
1.1.2. Regolamentazione dei prodotti fitosanitari.....	11
1.1.3. Normativa sull'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari	12
1.2. Rischi per l'ambiente legati all'utilizzo di prodotti fitosanitari.....	13
1.2.1. Inquinamento puntiforme	14
1.2.2. Runoff.....	15
1.2.3. Deriva	17
1.3. Melicoltura in Trentino.....	20
1.4. Forme di allevamento del melo	20
1.4.1. Spindle	21
1.4.2. Bi-asse.....	22
1.4.3. Guyot	23
1.5. Difesa fitosanitaria del melo.....	25
1.6. Tecniche di distribuzione dei prodotti fitosanitari	26
1.6.1. Distribuzione dei prodotti fitosanitari con l'impianto a punto fisso.....	27
2. MATERIALI E METODI	31
2.1. Descrizione dei siti sperimentali	31
2.1.1. Frutteto sperimentale di San Michele all'Adige	31
2.1.2. Frutteto sperimentale di Denno	32
2.2. Descrizione dell'impianto fisso	33

2.3. Descrizione delle prove sperimentali.....	37
2.3.1. Copertura fogliare.....	37
2.3.2. Efficacia biologica verso <i>C. pomonella</i>	38
2.3.3. Deposito di PF su foglie e frutti.....	40
2.3.4. Efficacia biologica verso <i>A. orana</i>	40
2.3.5. Deriva, perdite a terra e ripartizione dei depositi sulla vegetazione.....	42
2.4. Analisi statistica.....	45
3. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	47
3.1. Copertura fogliare.....	47
3.2. Prova di efficacia biologica verso <i>Cydia pomonella</i> e <i>Adoxophyes orana</i>	48
3.3. Deposito di PF su foglie e frutti.....	50
3.4. Deriva, perdite a terra e ripartizione dei depositi sulla vegetazione.....	52
4. CONCLUSIONI.....	63
5. BIBLIOGRAFIA.....	67
6. SITOGRAFIA.....	73

RIASSUNTO

L'agricoltura mondiale, dato l'aumento della popolazione registrato negli ultimi decenni, ha il compito di produrre sempre di più ma, contemporaneamente, deve essere sempre meno impattante sull'ambiente. La difesa fitosanitaria è indispensabile per ottenere prodotti agricoli commerciabili ed utilizzabili dal consumatore. In questa tesi è stato valutato un sistema innovativo per la distribuzione di prodotti fitosanitari su melo. Il sistema S.O.PH.I.A.TM (Spray Overcanopy PHytosanitary Innovative Application) è un sistema a punto fisso per la distribuzione mirata dei prodotti fitosanitari messo a punto dall'azienda NetafimTM e, attualmente, installato in Trentino in collaborazione con il consorzio Melinda. Il sistema a punto fisso permette di indirizzare i prodotti fitosanitari sulla vegetazione, riducendo al contempo il fenomeno della deriva. Questo tipo di impianto, inoltre, permette di effettuare trattamenti tempestivi, anche durante o immediatamente dopo un evento piovoso. Si evita quindi il compattamento del suolo da parte delle macchine agricole e le relative emissioni e, soprattutto nei terreni declivi, si abbattano i rischi per l'operatore in quanto non si rende necessario entrare nell'appezzamento con mezzi meccanici in condizioni di scarsa aderenza. Il lavoro di tesi è stato effettuato presso i meleti sperimentali della Fondazione Edmund Mach, dove si sono svolte prove confrontando le prestazioni dell'impianto fisso rispetto a quelle ottenute utilizzando un normale atomizzatore.

Gli studi effettuati hanno riguardato in modo particolare la quantificazione dei depositi di prodotti fitosanitari sulla vegetazione, nonché la determinazione della copertura fogliare, delle perdite per deriva e delle dispersioni a terra. Inoltre, sono state effettuate delle prime prove per determinare l'efficacia biologica utilizzando specifici insetticidi per il controllo di *C. pomonella* e di *A. orana*. Per quanto riguarda quest'ultima è stato osservato che, mentre nel controllo di *C. pomonella* l'atomizzatore sembra più performante, contro *A. orana* i livelli di efficacia biologica sono comparabili tra i trattamenti effettuati mediante i due sistemi di applicazione. I risultati ottenuti dalla prova di determinazione della deriva hanno mostrato che l'entità delle perdite, utilizzando l'impianto fisso sovrachioma, è notevolmente ridotta rispetto a quella prodotta da un atomizzatore tradizionale.

ABSTRACT

Due to the population increase in the last few decades, agriculture needs to yield while reducing its environmental impact. Plant protection is necessary in order to achieve marketable and usable agricultural products. In this thesis, an innovative plant protection products distribution system was evaluated. The system, named S.O.PH.I.A.TM (Spray Overcanopy PHytosanitary Innovative Application), is a system for fixed-point treatments developed by the company NetafimTM, which is currently being installed in the Trentino region in collaboration with Melinda. The fixed-point system allows plant protection products to be directed on the vegetation, simultaneously reducing drift. Furthermore, this system allows to spray even during or immediately after a rain event, thus avoiding soil compaction and reducing emissions from agricultural machinery. Additionally, especially on steep slopes, by avoiding the use of agricultural machinery on slippery terrain, the risks for the operator are minimized. The thesis work was conducted in the experimental apple orchards of the Fondazione Edmund Mach, where trials compared the performance of a fixed-point system to that of a conventional sprayer.

The studies focused on the quantification of plant protection product deposits on vegetation, as well as the determination of foliar cover, drift losses and on soil dispersions. In addition, initial tests were carried out to determine the biological efficacy using specific insecticides for the control of *C. pomonella* and *A. orana*. Regarding this test it was observed that, while in the control of *C. pomonella* the sprayer seems more efficient, against *A. orana* the levels of biological efficacy are comparable between the treatments carried out by the two application systems. The results of the drift determination test showed that the amount of losses, using the fixed-point system, is considerably reduced compared to that produced by a conventional sprayer.

1. INTRODUZIONE

La popolazione mondiale ha raggiunto gli 8 miliardi di persone nel 2022 e si stima che, entro il 2050, possa avvicinarsi ai 10 miliardi. L'agricoltura si trova dunque di fronte alla sfida di produrre cibo, mangimi e fibre sufficienti per soddisfare la maggiore domanda in condizioni di cambiamento climatico e di esaurimento delle risorse naturali (Anwar et al., 2013).

I cambiamenti climatici rappresentano una minaccia significativa per l'agricoltura, in particolare l'innalzamento della temperatura, l'aumento della frequenza e della severità degli eventi meteorologici estremi come siccità, alluvioni e quindi l'alterazione della disponibilità idrica, nonché l'aumento dell'incidenza di malattie ed insetti patogeni causano danni economici agli agricoltori e la diminuzione della sicurezza alimentare (Balasundram et al., 2023).

Il settore agricolo ha un ruolo cruciale per soddisfare gli obiettivi di "Agenda 2030" (Fig. 1.1).

Uno degli obiettivi dell'Agenda 2030 concordati dall'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) è quello di garantire, entro il 2030, sistemi di produzione alimentare sostenibili e applicare pratiche agricole resilienti che aumentino la produttività e la produzione, che aiutino a conservare gli ecosistemi, che rafforzino la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici, alle condizioni meteorologiche estreme, alla siccità, alle inondazioni e agli altri disastri, e che migliorino progressivamente la qualità del suolo.



Fig.1.1 I 17 obiettivi dell'Agenda 2030 (da Agenzia per la coesione territoriale)

Il settore agricolo, però, è anche uno dei principali attori del cambiamento climatico in atto. L'agricoltura è responsabile di diversi impatti ambientali, quali il degrado del suolo, della qualità dell'acqua e dell'aria, la scarsità d'acqua e la perdita di biodiversità (Pradel et al., 2024). Un eccessivo utilizzo di fitofarmaci, per esempio, ha effetti negativi sull'ambiente, come la contaminazione del suolo e degli organismi non bersaglio, e sulla salute umana (van Lexmond et al., 2015).

L'opinione pubblica, negli ultimi anni, ha raggiunto un notevole interesse verso l'impatto ambientale dell'agricoltura. Tuttavia, la difesa delle piante è fondamentale per garantire rese stabili ed alimenti sicuri e di buona qualità (FAO, 2019). Pertanto, si rende necessario innovare il sistema agricolo, in particolare le tecniche di distribuzione dei prodotti fitosanitari, per incrementarne la sostenibilità. L'innovazione in agricoltura sta quindi crescendo sempre di più, sostenuta dal fatto di dover garantire rese elevate minimizzando l'impatto sull'ambiente. Le innovazioni tecnologiche, infatti, aumentano l'efficienza della produzione e riducono l'impatto ambientale per unità di prodotto alimentare (Springmann et al., 2018). Il presente lavoro di tesi si pone come scopo quello di analizzare l'efficacia di un impianto fisso per la distribuzione di prodotti fitosanitari su melo. Questo tipo di impianto è una soluzione tecnologica innovativa per la difesa fitosanitaria del melo e rappresenta un'alternativa da accostare alle tradizionali macchine irroratrici.

1.1. Prodotti fitosanitari

I prodotti fitosanitari sono definiti dall'Istituto Superiore di Sanità come “preparati contenenti una o più sostanze attive, destinate a proteggere i vegetali o i prodotti vegetali da tutti gli organismi nocivi o a prevenirne gli effetti; influire sui processi vitali dei vegetali, senza peraltro fungere da fertilizzanti; conservare i prodotti vegetali, sempre che tali sostanze o prodotti non siano disciplinati da disposizioni speciali in materia di conservanti; eliminare o controllare l'accrescimento delle piante indesiderate o infestanti”. I prodotti fitosanitari hanno trasformato l'agricoltura in termini di resa delle colture limitando le perdite dovute a parassiti e patologie (Mousavi et al., 2011). Con una perdita annua del 30% nella produzione cerealicola, del 54% nella produzione vegetale e del 78% nella produzione frutticola dovuta all'invasione di parassiti, l'impiego di pesticidi è diventato una necessità per soddisfare il crescente fabbisogno alimentare della popolazione mondiale (Carvalho, 2017).

I prodotti fitosanitari (PF) sono suddivisi in varie categorie: fungicidi, insetticidi, erbicidi, acaricidi, nematocidi, molluschicidi, rodenticidi, regolatori di crescita, repellenti e biocidi. I PF possono essere classificati secondo vari criteri, come la composizione chimica, i gruppi funzionali, la modalità d'azione e la tossicità (Garcia et al., 2012). Sulla base della composizione chimica, vengono suddivisi

in inorganici e organici. Tra i pesticidi inorganici si trovano solfato rameico, solfato ferroso, rame e zolfo (Tudi et al., 2021). I pesticidi organici possono essere ulteriormente suddivisi in due gruppi: di origine naturale e di sintesi (Kim et al., 2017). I PF organici di origine naturale contengono composti chimici presenti nelle piante, come alcaloidi, terpeni e composti fenolici, i quali hanno dimostrato capacità pesticida (Hedin & Hollingworth, 1997). I prodotti derivati dalle piante sono particolarmente interessanti per via della loro bassa tossicità nei mammiferi, della breve persistenza nell'ambiente e della complessa composizione chimica che previene lo sviluppo di resistenza nel patogeno bersaglio (George et al., 2014). Le principali classi di prodotti organici di sintesi sono organoclorurati, organofosfati, carbammati e piretroidi (Abubakar et al., 2020).

1.1.1. Composizione e formulazione dei prodotti fitosanitari

I prodotti fitosanitari sono composti da:

- principio attivo: la sostanza che produce l'effetto tossico sul patogeno: il nome tecnico e la concentrazione (g/L o %) del p.a. devono essere indicati in etichetta;
- solventi: permettono lo scioglimento della sostanza attiva, solitamente non sono idrosolubili, sono spesso di natura organica;
- coadiuvanti: migliorano l'efficacia del principio attivo aumentando adesività, permeabilità e distribuzione dei prodotti;
- coformulanti inerti: diluenti per ridurre la concentrazione del principio attivo.

I PF hanno diverse formulazioni, a seconda della modalità con cui vengono distribuiti sulla vegetazione. I trattamenti a secco vengono effettuati con prodotti che non hanno bisogno di acqua come vettore per la loro distribuzione. In questo caso i formulati si distinguono in:

- granulari: si presentano in granuli di varie dimensioni (da pochi mm a qualche cm), sono di facile manipolazione e di lenta cessione della sostanza attiva, non presentano rischi di deriva poiché servono ad effettuare trattamenti al terreno per disinfezione o disinfestazione;
- polveri secche: vengono principalmente impiegate come concianti delle sementi (es. fungicidi) o per trattamenti alla chioma (zolfo in polvere), hanno scarsa aderenza alle matrici vegetali (elevato rischio di deriva), creano difficoltà di manipolazione e nel calcolo della dose da distribuire e la loro tossicità è legata ai rischi di inalazione; per la distribuzione sulle colture sono necessarie apposite attrezzature, quali impolveratrici per la distribuzione di zolfo o recipienti rotanti per la concia delle sementi.

I trattamenti liquidi vengono effettuati con prodotti che vengono diluiti in acqua prima dell'applicazione. Vi sono diversi tipi di formulazione:

- polvere bagnabile (WP – Wettable Powder): soluzione ottenuta dalla miscelazione del principio attivo con bagnanti, disperdenti e inerti in acqua per la formazione di una sospensione caratterizzata da buona stabilità e adeguata bagnabilità;
- polvere solubile (SP – Soluble Powder): polvere che, se mescolata in acqua in presenza di bagnanti e disperdenti, forma una sospensione diluita stabile.

Le due formulazioni sopracitate presentano un rischio di inalazione delle polveri da parte dell'operatore durante la preparazione della miscela, a questo proposito si ricorda l'obbligo dell'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale (DPI). Inoltre, si riscontrano difficoltà nella pulizia dei contenitori dei PF. Sul mercato sono dunque disponibili formulazioni innovative:

- concentrati emulsionabili (EC – Emulsifiable Concentrate): formulazione liquida (emulsione concentrata) in cui la sostanza attiva viene disciolta in un solvente (oleoso) o in una miscela di solventi organici (emulsionanti), in presenza di uno o più tensioattivi, che permettono la formazione di un'emulsione stabile dopo la sua diluizione in acqua e l'assenza di fenomeni di cristallizzazione;
- microemulsione (ME): la sostanza attiva e un solvente adatto vengono spontaneamente emulsionati in acqua in presenza di tensioattivi, è fondamentale l'assenza di fenomeni di cristallizzazione e di separazione di fase;
- emulsioni in acqua (EW – Emulsion oil in Water): formulazione liquida in cui la sostanza attiva e un solvente adatto vengono emulsionati in acqua, in presenza di tensioattivi, disperdenti o altri stabilizzanti; generalmente contengono meno composti organici volatili rispetto ai concentrati emulsionabili (EC) e sono quindi meno pericolosi per l'operatore e per l'ambiente;
- sospensioni concentrate (SC/OD – Suspension Concentrate/Oil Dispersion), pasta fluida (FL, FLOW – Flowable): formulazione liquida in cui la sostanza attiva viene dispersa in acqua in presenza di agenti bagnanti, disperdenti, antigelo, addensanti e altri stabilizzanti, così da formare una sospensione stabile; è migliore dal punto di vista tossicologico rispetto al concentrato emulsionabile (EC) perché realizzata su base acquosa;
- suspoemulsioni (SE): è una combinazione tra le formulazioni SC (solida) e EW (liquida), difficile da sviluppare tecnologicamente data la bassa stabilità del prodotto nel tempo;
- sospensione di microcapsule (CS – Capsule Suspension): formulazione liquida in cui la sostanza attiva viene emulsionata finemente in acqua (sospesa nel solvente) e ricoperta di un sottile film polimerico (microcapsula) biodegradabile, il quale libera gradualmente e in

maniera controllata la sostanza attiva; questa formulazione è caratterizzata da ottima stabilità, buona persistenza d'azione e consente di ottenere una notevole diminuzione della tossicità acuta (è adatta per le sostanze attive con un profilo tossicologico sfavorevole);

- granuli disperdibili (WG, WDG – Water Dispersible Granule o DF – Dry Flowable) e granuli solubili (SG – Soluble Granule): formulazione solida in cui i componenti (sostanza attiva, disperdenti e inerti), vengono finemente macinati insieme ottenendo una pre-miscela omogenea che può essere poi granulata mediante diverse tecnologie (estrusione, agglomerazione, ...), i microgranuli così ottenuti si disperdono o si sciolgono in acqua; queste formulazioni, molto stabili nel tempo, hanno il vantaggio, rispetto alle polveri, di essere misurate in base al volume (facilità di preparazione della miscela), di non originare polveri (meno pericolose per l'operatore) e rendere semplice la pulizia dei contenitori;
- sacchetti idrosolubili (SI): tipologia di confezionamento di formulati in polvere bagnabile, i sacchetti hanno dosaggi fissi, vanno manipolati con guanti asciutti e immessi direttamente nel serbatoio, non producono polvere e non vi sono contenitori da bonificare.

1.1.2. Regolamentazione dei prodotti fitosanitari

A livello europeo, l'utilizzo di un prodotto fitosanitario può essere autorizzato solo se tutte le sostanze presenti al suo interno soddisfano i criteri di approvazione stabiliti nel Regolamento (CE) N. 1107/2009. Gli Stati Membri, l'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) e la Commissione europea valutano la sicurezza di ogni sostanza attiva prima che possa essere immessa sul mercato e utilizzata in un prodotto fitosanitario. L'approvazione di una sostanza attiva è consentita solo ove sia stato dimostrato che la stessa presenta un chiaro beneficio per la produzione vegetale e che non abbia alcun effetto nocivo sulla salute umana e degli animali e che non provochi alcun impatto inaccettabile sull'ambiente. A tal fine, la decisione circa l'accettabilità di tali sostanze è demandata a livello comunitario ed effettuata a priori sulla base di criteri di esclusione (cut off). Tali criteri riguardano l'efficacia della sostanza, la sua composizione, le sue caratteristiche, i metodi di analisi disponibili, l'impatto sulla salute umana e l'ambiente, l'ecotossicologia, l'importanza dei metaboliti e dei residui. Una sostanza attiva è approvata soltanto se non è classificata mutagena, cancerogena o tossica per la riproduzione di categoria 1A o 1B, e non possiede capacità tali da provocare effetti nocivi sul sistema endocrino. Inoltre, non può essere approvato un principio attivo considerato come un inquinante organico persistente, o come persistente, bioaccumulabile e tossico o ancora come

molto persistente e molto bioaccumulabile. Tutti i principi attivi approvati sono elencati all'interno del Regolamento di esecuzione (UE) N. 540/2011 della Commissione europea.

L'utilizzo dei prodotti fitosanitari ad uso professionale è consentito esclusivamente a chi è in possesso del patentino fitosanitario. L'utilizzatore ha l'obbligo di rispettare le indicazioni riportate sull'etichetta e sulla Scheda Dati di Sicurezza, che sono specificate nel Regolamento (CE) N. 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio delle sostanze e delle miscele. Ogni prodotto fitosanitario deve contenere in etichetta le indicazioni riportate nel Regolamento (UE) N. 547/2011 per quanto concerne le prescrizioni in materia di etichettatura dei prodotti fitosanitari.

1.1.3. Normativa sull'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari

Per un uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, è necessario che tutti siano consapevoli dei rischi, per la salute umana e per l'ambiente, associati al loro utilizzo (Sacchetti et al., 2012). Tuttavia, la maggiore consapevolezza dei rischi potenziali legati all'uso di quantità elevate di PF in agricoltura richiede una revisione delle strategie e delle pratiche di gestione dei parassiti nelle aziende agricole (Hatt & Osawa, 2019). Infatti, nel 2009, il Parlamento e il Consiglio europeo hanno redatto la Direttiva 2009/128/CE, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi. «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 (Art.1 Direttiva 2009/128/CE)». La difesa integrata è definita dalla Direttiva 2009/128/CE come «attenta considerazione di tutti i metodi di protezione fitosanitaria disponibili e conseguente integrazione di misure appropriate intese a scoraggiare lo sviluppo di popolazioni di organismi nocivi e che mantengono l'uso dei prodotti fitosanitari e altre forme d'intervento a livelli che siano giustificati in termini economici ed ecologici e che riducono o minimizzano i rischi per la salute umana e per l'ambiente. L'obiettivo prioritario della «difesa integrata» è la produzione di colture sane con metodi che perturbino il meno possibile gli ecosistemi agricoli e che promuovano i meccanismi naturali di controllo fitosanitario». La direttiva comprende un totale di 25 articoli ed è entrata in vigore il 14 dicembre 2011 (Marchand & Robin, 2019).

Un regolamento europeo è un atto giuridico vincolante, deve quindi essere applicato in tutti i suoi elementi nell'intera Unione europea. Una direttiva, invece, è un atto giuridico che stabilisce gli obiettivi che i Paesi dell'UE devono raggiungere, tuttavia, spetta ai singoli Stati Membri, attraverso

disposizioni nazionali, definire come conseguirli. Lo Stato italiano ha recepito la Direttiva 2009/128/CE con il Decreto Legislativo n.150, del 14 agosto 2012. Per l'attuazione della direttiva sono stati definiti Piani di Azione Nazionale (PAN) per stabilire gli obiettivi, le misure, i tempi e gli indicatori per la riduzione dei rischi e degli impatti derivanti dall'utilizzo dei prodotti fitosanitari. Il PAN italiano è stato adottato con il Decreto Interministeriale del 22 gennaio 2014, ai sensi dell'art.6 del D.Lgs. 14 agosto 2012, n.150. Il PAN è stato attuato, ciascuno nell'ambito delle proprie competenze, dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, dal Ministero della salute e dalle Regioni e le Province autonome di Trento e di Bolzano. Gli obiettivi del PAN riguardano i seguenti settori:

- la protezione degli utilizzatori dei prodotti fitosanitari e della popolazione interessata
- la tutela dei consumatori;
- la salvaguardia dell'ambiente acquatico e delle acque potabili;
- la conservazione della biodiversità e degli ecosistemi.

Gli utilizzatori professionali di prodotti fitosanitari, a partire dal 1° gennaio 2014, devono applicare i principi generali della difesa integrata obbligatoria, la quale prevede l'applicazione di tecniche di prevenzione e di monitoraggio delle infestazioni e delle infezioni, l'utilizzo di mezzi biologici di controllo dei parassiti, il ricorso a pratiche di coltivazione appropriate e l'uso di prodotti fitosanitari che presentano il minor rischio per la salute umana e per l'ambiente. Il PAN definisce inoltre le misure appropriate per la tutela dell'ambiente acquatico e delle fonti di approvvigionamento dell'acqua potabile dall'impatto dei prodotti fitosanitari. Le misure comprendono l'istituzione di aree di rispetto non trattate, il ricorso a misure di mitigazione dei rischi di inquinamento da deriva, drenaggio e ruscellamento dei PF e la preferenza alle tecniche di applicazione più efficienti, quali l'uso di attrezzature per l'applicazione di prodotti fitosanitari volte a minimizzare i rischi associati al fenomeno della deriva, soprattutto nelle colture verticali, quali i frutteti.

1.2. Rischi per l'ambiente legati all'utilizzo di prodotti fitosanitari

L'utilizzo dei prodotti fitosanitari è indispensabile per ottenere buone rese in agricoltura. Tuttavia, essi sono tra le sostanze più tossiche e mobili nell'ambiente (Fenik et al., 2011). I PF possono entrare nell'ambiente in seguito all'applicazione sulle piante o durante la fase di preparazione e smaltimento della miscela fitoiatrice (*Fig.1.2*). La contaminazione delle acque superficiali e degli acquiferi rappresenta il principale destino dei PF che non raggiungono la coltura target e quindi vengono

dispersi nell'ambiente. Il rischio di contaminazione delle acque superficiali è spesso associato a sorgenti diffuse, o non puntiformi (leaching, runoff, deriva). Tuttavia, anche le contaminazioni puntiformi contribuiscono in modo significativo all'inquinamento delle acque superficiali da pesticidi (Wenneker et al., 2010).

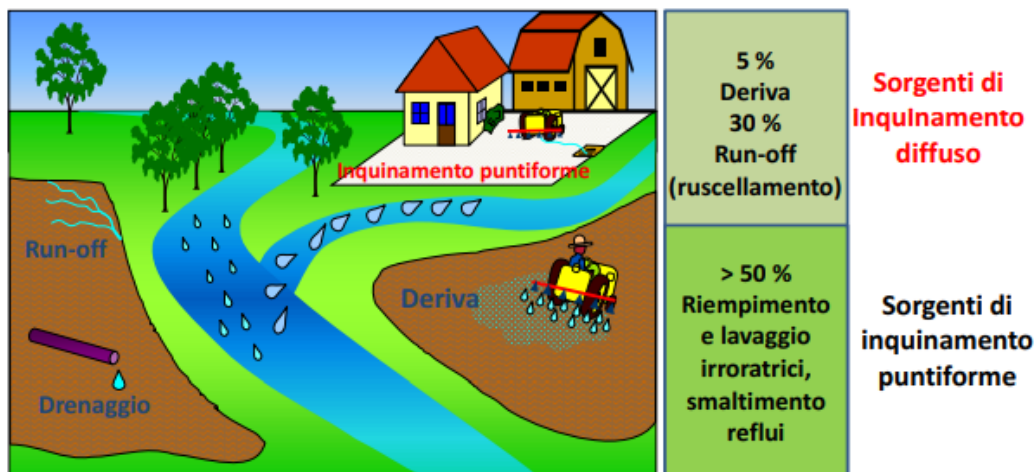


Fig.1.2 Incidenza delle diverse forme di inquinamento delle acque superficiali da prodotti fitosanitari (da Balsari et al., 2016)

1.2.1. Inquinamento puntiforme

L'inquinamento puntiforme è principalmente dovuto alla non corretta manipolazione dei fitofarmaci nelle fasi di trasporto e stoccaggio delle confezioni, di riempimento dell'irroratrice, di lavaggio della stessa al termine del trattamento, nonché di smaltimento dei residui di miscela fitoiatrica inutilizzata e dei contenitori di agrofarmaci vuoti (Balsari et al., 2016). Studi scientifici dimostrano che l'inquinamento puntiforme contribuisce a più del 50% del totale della contaminazione delle acque da prodotti fitosanitari (Bach et al., 2005; Müller et al., 2002). Questo tipo di inquinamento è ampiamente evitabile, semplicemente adottando poche semplici regole di comportamento durante le operazioni, tra le altre, di riempimento e di lavaggio delle macchine irroratrici.

1.2.2. Runoff

Acqua e sedimenti possono essere trasportati a valle dai terreni agricoli per effetto del ruscellamento superficiale e dell'erosione (*Fig.1.3*). Questi processi causano la perdita di suolo fertile, di nutrienti e di prodotti fitosanitari presenti nel suolo verso corpi idrici superficiali adiacenti (Sittig & Sur, 2024).



Fig.1.3 Runoff in un meleto in seguito ad un importante evento piovoso

Il runoff indica il trasporto superficiale dei PF mediante l'acqua. I pesticidi possono muoversi come composti disciolti in acqua o adesi alle particelle di suolo eroso. Questo fenomeno avviene in stretta relazione con alcuni fattori, tra cui la pendenza del terreno, la tessitura del suolo, la quantità e la durata della precipitazione e dell'irrigazione (Connell et al., 2005). Per prevenire questi processi, si possono applicare diverse misure di mitigazione per ridurre al minimo la generazione di ruscellamento in campo (tramite l'aumento dell'infiltrazione) e ridurre la velocità di deflusso ai margini degli appezzamenti attraverso, ad esempio, le fasce tampone (Sittig & Sur, 2023). Nelle colture a seminativo, creando piccole dighe tra una fila e l'altra oppure effettuando dei piccoli fori all'interno del campo, si incrementa l'infiltrazione dell'acqua e si previene quindi il ruscellamento. Utilizzando questi metodi, il runoff e l'erosione vengono ridotti rispettivamente del 43-71% e del 56-81% (Sittig et al., 2022). Nei frutteti, una misura di mitigazione ampiamente utilizzata per ridurre l'erosione è l'inerbimento. Esso offre una protezione diretta della superficie del suolo dalla forza cinetica della pioggia, che può erodere le particelle di suolo attraverso l'effetto "splash" (Straffelini et al., 2022). Nello studio di Straffelini et al., effettuato a Soave (VR), sono stati messi a confronto diversi metodi di gestione dell'interfila in un vigneto in pendenza, allevato a ritocchino. Le quattro

tesi a confronto sono state: il testimone, in cui l'interfila è stata gestita con inerbimento tradizionale e cover crop (RF), un'interfila continuamente lavorata durante tutto l'anno, in modo da mantenere il suolo nudo (CT), un'interfila in cui è stata effettuata una sola lavorazione del suolo in autunno e successivamente è stata gestita come il testimone (ST) e un'interfila con specie erbacee nettariifere (NF). Da una simulazione di quattro eventi piovosi di intensità crescente, è stata calcolata la concentrazione di sedimenti presente nel runoff (particella/m³). In Fig.1.4 si può osservare che l'interfila "CT", che ha un colore chiaro, ha una concentrazione di sedimenti nel runoff nettamente maggiore rispetto alle altre tesi, poiché il suolo nudo viene eroso più facilmente rispetto al suolo inerbito. In uno studio condotto in Piemonte (Biddoccu et al., 2017) è stato osservato che la quantità di sedimento derivante dal runoff in un terreno lavorato è risultata 9 volte superiore rispetto a quello presente nel suolo inerbito.

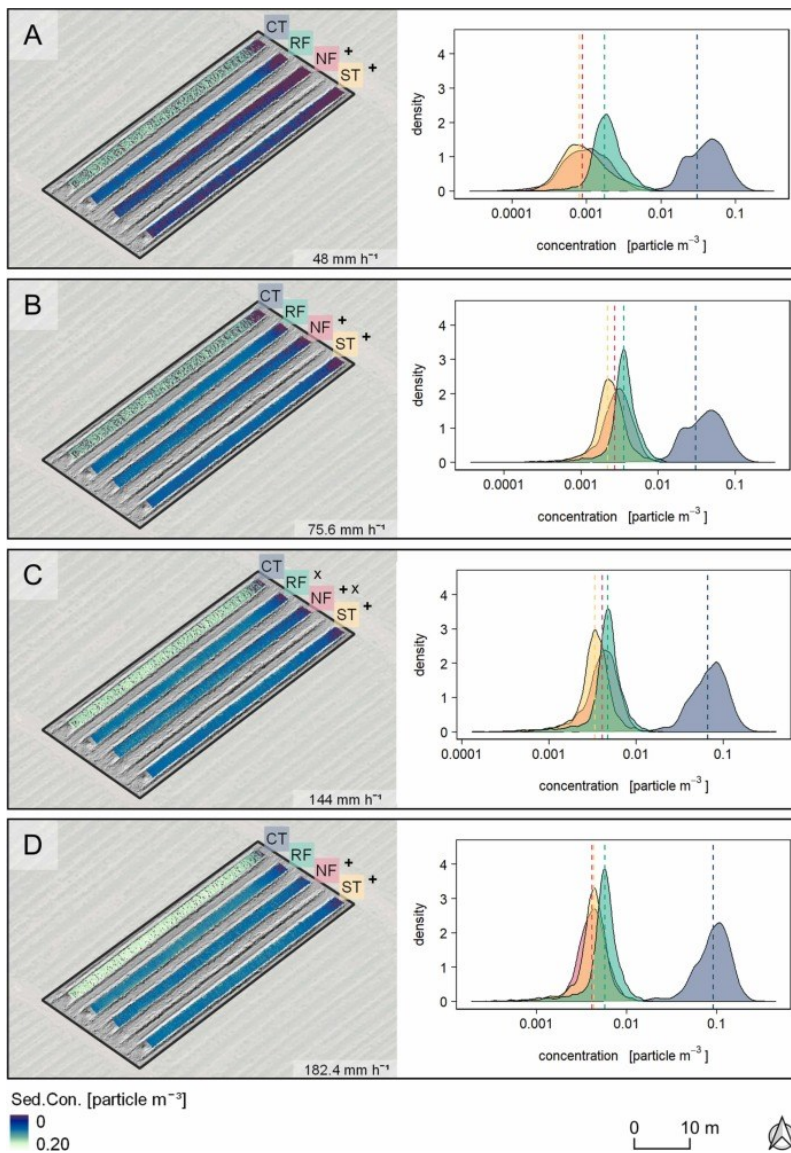


Fig.1.4 Simulazione della concentrazione di sedimenti nel runoff in 4 interfile con gestioni differenti in seguito a precipitazioni di intensità crescente (da Straffelini et al., 2022)

1.2.3. Deriva

“La deriva del prodotto fitoiatrico è la quantità di miscela erogata nel corso del trattamento che, per azione delle correnti d’aria ambientali, viene allontanata dall’area oggetto di distribuzione (UNI ISO 22866/2005)”. Sulla base di quanto indicato dalla Direttiva 2000/60/CE, l’ambiente acquatico è molto sensibile ai prodotti fitosanitari. Si rende quindi necessario prestare particolare attenzione all’inquinamento delle acque superficiali adottando misure appropriate, quali le fasce tampone o la piantumazione di siepi, per ridurre l’esposizione dei corpi idrici a fenomeni di ruscellamento e deriva. L’uso di prodotti fitosanitari può essere particolarmente pericoloso in zone molto sensibili, come i siti Natura 2000, protetti ai sensi delle direttive 79/409/CEE e 92/43/CEE. In altri luoghi, quali parchi e giardini pubblici, campi sportivi e ricreativi, scuole e parchi giochi, nonché nelle immediate vicinanze di strutture sanitarie, i rischi derivanti dall’esposizione ai pesticidi sono elevati. In queste zone, l’uso di pesticidi dovrebbe essere ridotto al minimo o vietato. Quando si utilizzano pesticidi, occorre stabilire misure adeguate di gestione dei rischi e considerare in primo luogo i pesticidi a basso rischio nonché le misure di controllo biologico (Direttiva 2009/128/CE). In prossimità di zone sensibili, infatti, sono state istituite le fasce di rispetto, all’interno delle quali è vietato l’impiego di fitofarmaci. La larghezza delle fasce è definita sulla base di parametri quali il tipo di coltura, il numero di applicazioni e la dose di PF. La larghezza differisce da Paese a Paese e può essere ridotta quando si utilizzano attrezzature dotate di idonei sistemi di mitigazione della deriva.

In Trentino, sulla base del PAN sull’uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, nelle immediate vicinanze di luoghi quali istituti scolastici, parchi e giardini pubblici, parchi giochi, campi sportivi, strutture sanitarie, nonché di abitazioni private, l’utilizzo di prodotti tossici o molto tossici, adottando le misure di contenimento della deriva, è consentito fino ad una distanza non inferiore a 10 m dalle predette aree. L’utilizzo di prodotti fitosanitari diversi da quelli sopracitati è consentito con una fascia di rispetto di 30 m nel caso in cui non venga adottata alcuna misura di mitigazione della deriva durante il trattamento. Se, invece, sono adottate una (in viticoltura) o almeno due (in frutticoltura) misure di contenimento della deriva, è consentito trattare fino ad una distanza di 5 m. Nel caso di utilizzo di irroratrici a tunnel, lance a mano (con pressione moderata e trattando dall’esterno verso l’interno dell’appezzamento) o atomizzatori con ugelli antideriva e sistemi per la regolazione della quantità e del flusso d’aria (purché il trattamento sia effettuato dall’esterno verso l’interno della coltura) la distanza può essere inferiore a 5 m. Tuttavia, i trattamenti in prossimità di queste zone sono consentiti esclusivamente dalle ore 21.00 alle ore 7.00.

La deriva, sia in colture erbacee che arboree, è dunque un problema importante che è stato analizzato in numerosi studi e ricerche in tutto il mondo (Vergès et al., 2024). Nel corso di un trattamento

fitosanitario, mentre una parte di PF raggiunge la coltura bersaglio, un numero significativo di gocce si depositano al suolo oppure oltrepassano la coltura, creando possibili problemi a colture adiacenti e all'ambiente (Hong et al., 2018). Il deposito del prodotto fitosanitario sulla coltura dipende dalle macchine irroratrici utilizzate e dalle relative caratteristiche, dalla densità della coltura, dallo stadio fenologico e di crescita delle piante e dalle condizioni ambientali (Zhu et al., 2008). Si stima che più della metà della dose applicata venga persa per deriva, che può essere distinta in deriva primaria e secondaria. La deriva primaria avviene durante l'irrorazione (*Fig.1.5*) e comprende anche l'endodrift, ovvero la deposizione a terra all'interno dell'appezzamento trattato. La deriva secondaria, invece, è causata dalla volatilizzazione dei PF dalla vegetazione e dal suolo che avviene in seguito al trattamento.



Fig.1.5 Deriva durante l'irrorazione in un meleto

Oltre al movimento più localizzato dei residui di fitofarmaci in masse d'aria turbolente, i residui possono anche concentrarsi in inversioni o masse d'aria stabili ed essere trasportati su lunghe distanze (Felsot et al., 2010). I risultati di uno studio condotto in Val Venosta (BZ) evidenziano la presenza di residui di fitofarmaci anche in aree alpine remote, a 2318 m di altitudine (Brühl et al., 2024).

La deriva è influenzata da numerosi fattori. Le condizioni meteorologiche, soprattutto la turbolenza dell'aria e il vento, sono i principali responsabili del trasporto delle particelle di PF. Infatti, i PF sono generalmente applicati come spray che si forma quando la miscela liquida viene atomizzata attraverso gli ugelli idraulici della macchina irroratrice. In tal modo, la frazione fine di prodotto atomizzato è

più suscettibile al trasporto fuori bersaglio da parte del vento (Hilz & Vermeer, 2013). Il rischio di deriva è strettamente correlato con la dimensione delle gocce prodotte dalla macchina irroratrice (Stainier et al., 2006). Più piccola è la goccia, più a lungo rimane in aria e maggiore è la possibilità che venga trasportata dal vento (De Ruiter et al., 2003). In particolare, le gocce di diametro inferiore a 100 μm contribuiscono significativamente alle perdite per deriva (Hobson et al., 1993). Vi sono molteplici misure di mitigazione volte a ridurre la deriva e i relativi impatti sull'ambiente e sull'uomo. Una di queste è l'utilizzo di ugelli ad iniezione d'aria e la presenza di siepi ai margini del campo (Perriot et al., 2024). Gli ugelli ad iniezione d'aria utilizzano il sistema Venturi; producono gocce più grandi che racchiudono delle sacche d'aria e si muovono a velocità inferiori rispetto alle gocce di dimensioni equivalenti prodotte dagli ugelli convenzionali (Butler Ellis et al., 2002). Altresì, vi sono ulteriori misure di mitigazione applicabili anche nei frutteti, come il disinserimento del flusso d'aria dell'atomizzatore nelle file esterne, il trattamento dall'esterno verso l'interno nell'ultima fila e la presenza di reti antigrandine (Otto et al., 2015). Nelle colture arboree, le reti antigrandine possono esercitare un'azione di barriera nei confronti della deriva riducendo la dispersione delle goccioline al di fuori dell'area trattata (Balsari et al., 2013). Inoltre, anche gli additivi aggiunti ai principi attivi dei prodotti fitosanitari possono avere effetti di diminuzione della deriva (Kannan et al., 2024).

1.3. Melicoltura in Trentino

Con 2,3 milioni di tonnellate di mele prodotte annualmente su una superficie di 52.000 ha, l'Italia risiede tra i primi 5 Paesi produttori di mele al mondo (Dalpiaz, 2014). La maggior parte della produzione si concentra in Trentino-Alto Adige, dove la superficie melicola è di 28.201 ha e la cui produzione è stimata contribuire per circa il 70% della produzione nazionale (Ioriatti & Lucchi, 2016). Le principali caratteristiche della melicoltura in Trentino sono: piante innestate su portinnesti nanizzanti con un'altezza fino a 4 m, frutteti intensivi interconnessi a centri abitati e molti meleti situati in pendenza (Bondesan et al., 2012a). Il fatto che molti appezzamenti si trovino in pendenza provoca difficoltà nella meccanizzazione. Inoltre, la stretta vicinanza ai centri abitati complica la gestione dei trattamenti fitosanitari per problemi di deriva. Come già descritto, vi sono diverse misure di mitigazione della deriva. Tuttavia, per ottenere il massimo livello di riduzione della deriva, bisogna tener conto anche dei diversi ambienti di coltivazione, dei sestri d'impianto e delle forme di allevamento (Balsari & Marucco, 2004).

1.4. Forme di allevamento del melo

Il melo (*Malus domestica*) è una pianta che può essere allevata con sistemi di allevamento differenti (Musacchi et al., 2023; Tustin & van Hooijdonk, 2016). I frutteti moderni, però, sono orientati alla produttività. Oggi la maggior parte dei frutteti sono caratterizzati da piante innestate su portinnesto M9. Questo portinnesto è caratterizzato da una vigoria ridotta e da un'elevata produttività combinata alla buona qualità dei frutti (Höller & Guerra, 2021). Le piante innestate su portinnesto M9 sono quindi meno vigorose e hanno una taglia ridotta rispetto ai meli coltivati nel passato. Questo portinnesto non possiede un apparato radicale in grado di sostenere il peso della pianta e della produzione; per questo motivo l'impianto deve essere sostenuto interamente da fili di ferro e pali, solitamente di cemento.

Esistono diverse forme di allevamento, ciascuna con caratteristiche differenti. La forma di allevamento a spindle è la più diffusa; con questa forma di allevamento possono essere piantate fino a 5.000 piante/ha con una resa di 60-70 t/ha. Tuttavia, vi sono limiti connessi alla forma di allevamento a spindle, i quali hanno portato all'aumento di impianti allevati con il sistema a bi-asse e a guyot (Dorigoni & Micheli, 2018). La forma di allevamento viene modificata per migliorare l'intercettazione e la distribuzione della luce solare, con l'obiettivo di aumentare la qualità della frutta e la resa (Hampson et al., 2002).

1.4.1. Spindle

La forma di allevamento a spindle consiste nella disposizione delle piante in file singole. I sesti d'impianto adottati sono solitamente di 3 m tra le file e di 70 cm sulla fila, ma possono essere anche più fitti. La pianta è costituita da un asse centrale sul quale sono inserite le branche fruttifere (Fig. 1.6) con formazione di un gradiente conico (Massetani et al., 2006). Le piante, in piena produzione, raggiungono fino a 4 m di altezza e uno spessore della chioma di circa 1,5 m alla base, che si riduce verso l'apice.

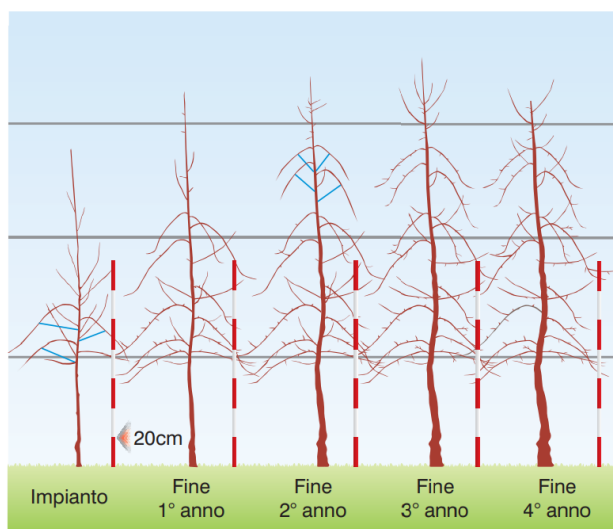


Fig.1.6 Rappresentazione della forma di allevamento a spindle (da Massetani et al., 2006)

Questo sistema di allevamento si presta alla meccanizzazione, come, per esempio, all'utilizzo di atomizzatori con convogliatore a torretta e di carri per le operazioni colturali quali la potatura, il diradamento manuale e la raccolta. Lo spindle è caratterizzato da una precoce entrata in produzione e da un'elevata resa ad ettaro. Tuttavia, nelle piante adulte vi sono diverse problematiche che hanno portato all'aumento di interesse verso sistemi di allevamento alternativi. Nonostante l'ampio uso dello spindle, questa forma di allevamento non è consigliata in terreni molto fertili, per via dell'aumento della vigoria, specie nella parte alta della pianta (Tustin et al., 2001). Per limitare l'eccesso di vigoria, spesso vengono effettuati dei trattamenti fitosanitari che, agendo sul processo di biosintesi delle gibberelline, contengono lo sviluppo vegetativo della pianta. Inoltre, questa forma di allevamento presenta il problema dell'ombreggiamento dato da rami e foglie. Infatti, meno del 30% della luce solare disponibile raggiunge la parte interna della pianta (Robinson et al., 1991). La diminuzione dell'intercettazione della luce solare influisce sulla formazione delle gemme a fiore e riduce la qualità

della frutta (Musacchi & Serra, 2018). Soprattutto nelle varietà bicolore, data la scarsa intercettazione della luce, la colorazione dei frutti viene ridotta.

1.4.2. Bi-asse

Il sistema di allevamento a bi-asse (Bibaum[®]) avvicina l'architettura della pianta da una forma tridimensionale, come lo spindle, ad una forma bidimensionale. Le piante allevate con questo sistema hanno due assi principali dove sono poste le branche fruttifere (*Fig.1.6*). Ciò permette, in confronto allo spindle, di avere un migliore controllo della vigoria e una chioma più contenuta (Dorigoni et al., 2011). Inoltre, purché potate adeguatamente, le piante allevate a doppio asse possono, anche a distanza molto ravvicinata sulla fila (1 m), produrre frutti con una colorazione nettamente migliore (Andergassen et al., 2018).



Fig.1.6 Bibaum di Fuji in piena produzione (da Andergassen et al., 2018)

Avendo due assi principali, la resa a pianta è maggiore rispetto a quella ottenuta dallo spindle. Tuttavia, soprattutto nei primi anni, la resa ad ettaro, dato il minor numero di piante/ha, risulta

leggermente inferiore. Questo tipo di forma di allevamento, però, permette un incremento della meccanizzazione in frutteto, come le operazioni di diradamento florale e potatura meccanica, per via del minor sviluppo della chioma verso l'interfila.

1.4.3. Guyot

La forma di allevamento a guyot deriva dalla viticoltura. Rappresenta l'ultimo anello nell'evoluzione dallo spindle al frutteto bidimensionale, permettendo nuovi metodi di coltivazione del melo proiettati verso il futuro. In questa forma di allevamento viene superato il sistema tradizionale di allevare uno o più assi verticali, poiché la geometria della pianta viene ruotata di 90°. Il fusto della pianta è piegato dunque parallelamente al suolo ad un'altezza di 50 cm e la struttura secondaria è composta da rami che si sviluppano verticalmente, distanziati circa 20 cm l'uno dall'altro (*Fig. 1.7*).



Fig.1.7 Impianto di Evelina allevato a guyot alla 2° foglia (da Dorigoni & Micheli, 2019)

Il numero di rami verticali è di 20-30.000 ad ettaro e la larghezza della chioma è di 30-40 cm, con i frutti direttamente attaccati ai rami (Dorigoni & Micheli, 2018). La distanza tra le piante sulla fila varia da 1,5 a 2,8 m, in base al fatto che sia un guyot singolo o doppio. La distanza tra le file è mediamente di 2 metri, è sensibilmente ridotta rispetto agli altri sistemi di allevamento. Avendo a disposizione trattori di piccole dimensioni o in appezzamenti posti in forte pendenza, dove non è possibile utilizzare i mezzi agricoli, la distanza tra le file può essere anche di 1,5 m. In termini di vigoria (*Fig.1.8*), una pianta allevata a guyot ha uno sviluppo vegetativo molto ridotto, poiché l'apparato radicale è ripartito su più assi (Dorigoni, 2015). I primi anni dall'impianto, però, sono

critici ed onerosi. Occorrono circa 250 ore/ha nel primo anno d’impianto per dare forma alle piante, nel secondo e nel terzo anno sono necessarie altre 100-150 ore/ha per completare la legatura dei rami verticali. I costi di investimento iniziale dell’impianto, però, è leggermente minore rispetto agli altri sistemi di allevamento, poiché il numero di piante/ha è minore. Ciononostante, una volta completata la fase di allevamento, la qualità della frutta è uguale o migliore dello spindle.

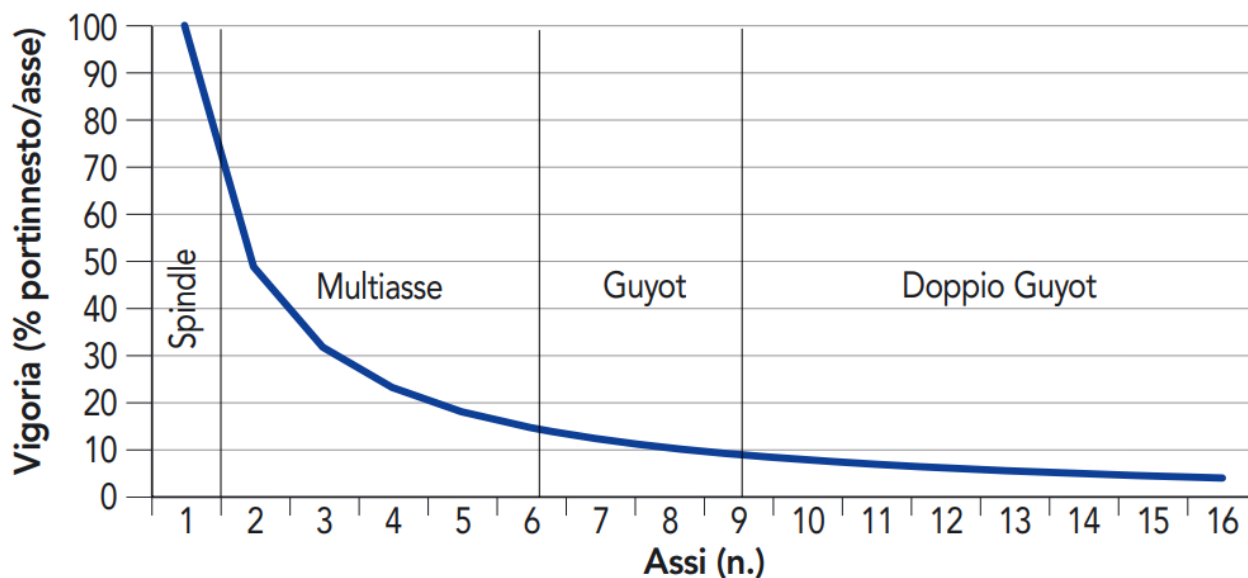


Fig.1.8 Vigoria in base al numero di assi per pianta (da Dorigoni, 2015)

Un impianto a guyot, avendo una parete molto stretta, si presta ad ogni tipo di meccanizzazione moderna, per effettuare operazioni come la potatura, il diradamento fiorale e la sfogliatura. Inoltre, avendo un’altezza ridotta, non si rende necessario l’utilizzo di scale o carri per il diradamento manuale e la raccolta. Per quanto riguarda l’efficienza della raccolta, si possono raggiungere anche 300 kg/ora/persona in cantieri molto semplici ed economici. In un futuro non molto lontano, visto il rapido sviluppo delle tecnologie per la raccolta robotizzata, la struttura bidimensionale dell’impianto a guyot permette l’accessibilità della frutta anche a braccia robotiche (Musacchi et al., 2023). Inoltre, il diradamento manuale è reso molto rapido dal fatto che ogni singolo frutto è ben visibile, è possibile quindi effettuare un diradamento chimico più blando rispetto agli impianti tradizionali (Dorigoni, 2019). La difesa fitosanitaria, nei frutteti allevati a guyot, è molto mutata rispetto agli impianti tradizionali. Si possono utilizzare le reti monofilare multifunzionali e le irroratrici scavallanti, con un conseguente aumento della sostenibilità economica e ambientale. Altresì, data la taglia ridotta delle piante, si può trattare a file alterne o senza ventola oppure, ancora, utilizzando l’impianto fisso. Qualsiasi tipo di trattamento si adotti, rispetto al sistema di allevamento a spindle, il guyot permette una considerevole riduzione della deriva ed è quindi particolarmente indicato per i frutteti posti in vicinanza di zone sensibili, come abitazioni e corsi d’acqua (Dorigoni & Micheli, 2018).

1.5. Difesa fitosanitaria del melo

Le principali avversità del melo sono attribuibili ad insetti e funghi. Tra le patologie fungine, la più importante è la ticchiolatura, causata dal fungo ascomicete *Venturia inaequalis*. Questa malattia è la più impattante dal punto di vista economico (Bleasdale & Whyatt, 2024). *V. inaequalis* si sviluppa in determinate condizioni di umidità e temperatura; la germinazione delle ascospore e dei conidi avviene in presenza di acqua sull'organo vegetale colpito. Per questo motivo, dopo la ripresa vegetativa del melo, vengono effettuati molti trattamenti fungicidi di copertura, in previsione di piogge che potrebbero determinare condizioni favorevoli all'infezione. Mediamente vengono effettuati 13 interventi fungicidi all'anno per il controllo della ticchiolatura (Barbara et al., 2008).

Uno dei fitofagi chiave del melo, invece, è *Cydia pomonella*. Questo insetto è potenzialmente il più pericoloso per le pomacee, a causa dell'elevata fertilità delle femmine e del ridotto numero di antagonisti naturali che lo controllano. In annate climaticamente favorevoli (calde ed asciutte) può provocare rilevanti perdite di produzione, se non efficacemente controllato (Bott et al., 2019). *C. pomonella* è un lepidottero appartenente alla famiglia dei tortricidi. Il danno è determinato dagli stadi larvali che, essendo carpofagi, penetrano nei frutti e scavano gallerie all'interno della polpa in qualsiasi momento del loro accrescimento e maturazione.

Altri insetti dannosi per il melo sono i tortricidi ricamatori. Uno di questi è *Adoxophyes orana*, che in Italia è presente soprattutto nelle regioni settentrionali e completa generalmente due generazioni all'anno. In seguito alla ripresa vegetativa, le larve di *A. orana* arrecano danni alle foglie dei germogli e ai mazzetti fiorali, fasciandoli con fili sericei. Dopo l'allegagione, le rosure possono trovarsi anche sui frutti.

Storicamente, la difesa fitosanitaria dei frutteti era basata su pesticidi ad ampio spettro, il cui utilizzo indiscriminato ha causato numerosi danni ambientali, l'estinzione di organismi benefici e, inoltre, ha portato all'insorgere di resistenze ai PF nelle popolazioni di insetti fitofagi (Damos et al., 2015). Questo metodo di difesa è stato introdotto negli anni '60 ed è conosciuto come lotta a calendario. La lotta a calendario prevedeva trattamenti preventivi ripetuti a scadenze prefissate in funzione delle fasi fenologiche delle colture, senza tener conto dell'effettiva presenza o del rischio di sviluppo di patologie.

Successivamente, la lotta a calendario è stata sostituita con la lotta guidata, che introduce il concetto di soglia di intervento, secondo cui i trattamenti vengono effettuati esclusivamente nel caso in cui le avversità presenti raggiungano un grado di pericolosità tale da giustificare i costi. Oggi la difesa fitosanitaria, nella melicoltura convenzionale, è basata sui principi della lotta integrata, definiti dalla Direttiva 128/2009/CE. In Italia, il D.Lgs. n.150/2012 e il PAN sull'uso sostenibile dei prodotti

fitosanitari hanno individuato due livelli di applicazione per la difesa integrata (IPM): uno obbligatorio, entrato in vigore il 1° gennaio 2014, che consiste nel seguire i principi della difesa integrata e nell'utilizzo dei PF disponibili sul mercato che presentano il minor rischio per la salute umana; uno volontario, che prevede l'applicazione di disciplinari di produzione integrata. Nella difesa fitosanitaria moderna, quindi, i PF vengono impiegati solo nel caso in cui le altre tecniche di intervento (agronomiche e biologiche) non sono sufficienti per il contenimento delle malattie fungine o delle popolazioni di insetti dannosi a livelli accettabili. Ad esempio, la confusione sessuale per il controllo di *C. pomonella* è ormai utilizzata con successo da molti anni nella quasi totalità della superficie frutticola trentina. Inoltre, l'impiego di cultivar resistenti può ridurre l'uso di PF (Brun et al., 2008). Nonostante la presenza di alternative tecnologiche o cultivar resistenti, però, la difesa dei frutteti fa ancora molto affidamento all'utilizzo di PF durante l'intera stagione vegetativa (Simon et al., 2011). Infatti, le colture arboree perenni, come il melo, sono tra quelle con il più alto impiego di fitofarmaci per ettaro; perciò, hanno un elevato potenziale di ecotossicità verso gli ecosistemi acquatici e terrestri (Mouron et al., 2012). Ogni anno sul melo, per la difesa fitosanitaria, la gestione del cotico erboso e il dirado dei frutticini, vengono impiegati prevalentemente una quarantina di agrofarmaci (Angeli & De Ros, 2022). L'impiego dei PF in frutticoltura è quindi ancora elevato, è perciò necessario adottare tecniche per distribuirli in modo ottimale.

1.6. Tecniche di distribuzione dei prodotti fitosanitari

Le macchine per la distribuzione dei prodotti fitosanitari, nel corso dei decenni, sono state innovate da importanti evoluzioni tecnologiche. I moderni atomizzatori sono progettati in modo tale da minimizzare i rischi per la salute umana e per l'ambiente causati dalla distribuzione dei prodotti fitosanitari. Al contempo, però, assicurando una buona copertura della vegetazione, garantiscono l'efficacia biologica dei trattamenti. Tra le tecnologie in grado di ridurre la deriva dei PF, gli ugelli ad inclusione d'aria sono forse i più provati e fra quelli più facilmente applicabili alla maggior parte delle irroratrici a polverizzazione meccanica (Bondesan et al., 2012b). Oltre agli ugelli, anche l'architettura delle macchine irroratrici influisce sul grado di efficacia biologica e sulle perdite di PF nell'ambiente. Gli atomizzatori maggiormente diffusi in frutticoltura sono quelli a torretta, i quali, avendo gli ugelli più prossimi alla vegetazione, producono una copertura più omogenea e riducono l'effetto della deriva rispetto agli atomizzatori con il ventilatore assiale. La tipologia di atomizzatore che produce le minori perdite per deriva è l'atomizzatore a tunnel (o scavallante). Questa macchina, denominata anche irroratrice a recupero, è dotata di due pannelli che recuperano la frazione di miscela

irrorata che non si è depositata sulla vegetazione e la inviano al serbatoio dell'irroratrice. Le irroratrici a tunnel sono utilizzate prevalentemente in viticoltura, mentre su melo sono scarsamente impiegabili se non in areali pianeggianti.

1.6.1. Distribuzione dei prodotti fitosanitari con l'impianto a punto fisso

L'impianto a punto fisso è un sistema innovativo per la distribuzione di precisione dei prodotti fitosanitari. Questo tipo di impianto, a causa dell'assenza di un flusso d'aria durante l'applicazione dei PF, produce un ridotto fenomeno di deriva rispetto all'atomizzatore (Sinha et al., 2019). Inoltre, l'impianto a punto fisso è particolarmente adatto in appezzamenti in pendenza, dove l'accessibilità degli atomizzatori convenzionali, agganciati ad un trattore, è limitata (Baldoïn et al., 2016). Soprattutto in seguito a precipitazioni, l'impiego dell'impianto fisso permette di effettuare trattamenti tempestivi, riducendo al contempo il compattamento del suolo causato dal passaggio delle macchine agricole e incrementando dunque la sicurezza degli operatori. Inoltre, la durata di un trattamento fitosanitario effettuato mediante l'impianto fisso è sensibilmente inferiore rispetto al tempo impiegato utilizzando l'atomizzatore.

I prodotti fitosanitari, nell'impianto fisso, vengono irrorati da erogatori che sono installati in modo permanente all'interno dell'appezzamento (*Fig.1.9*). Tutti gli impianti a punto fisso, infatti, sono costituiti da una o due linee di distribuzione posti lungo i filari della coltura, con gli erogatori posizionati all'interno o sopra la chioma delle piante (Mozzanini et al., 2024). L'altra componente principale dell'impianto fisso è la stazione di pompaggio. La stazione di pompaggio può essere fissa o mobile, solitamente è situata all'esterno dell'appezzamento e permette il trasporto della miscela fitoiatrica all'interno dell'intero sistema di distribuzione (Owen-Smith et al., 2019). La stazione di pompaggio fissa è costituita da un serbatoio dove si prepara la miscela e da una pompa per l'alimentazione dell'impianto. La stazione di pompaggio mobile, invece, può essere rappresentata da un normale atomizzatore, il quale, previo collegamento all'impianto fisso, pompa la miscela al suo interno.

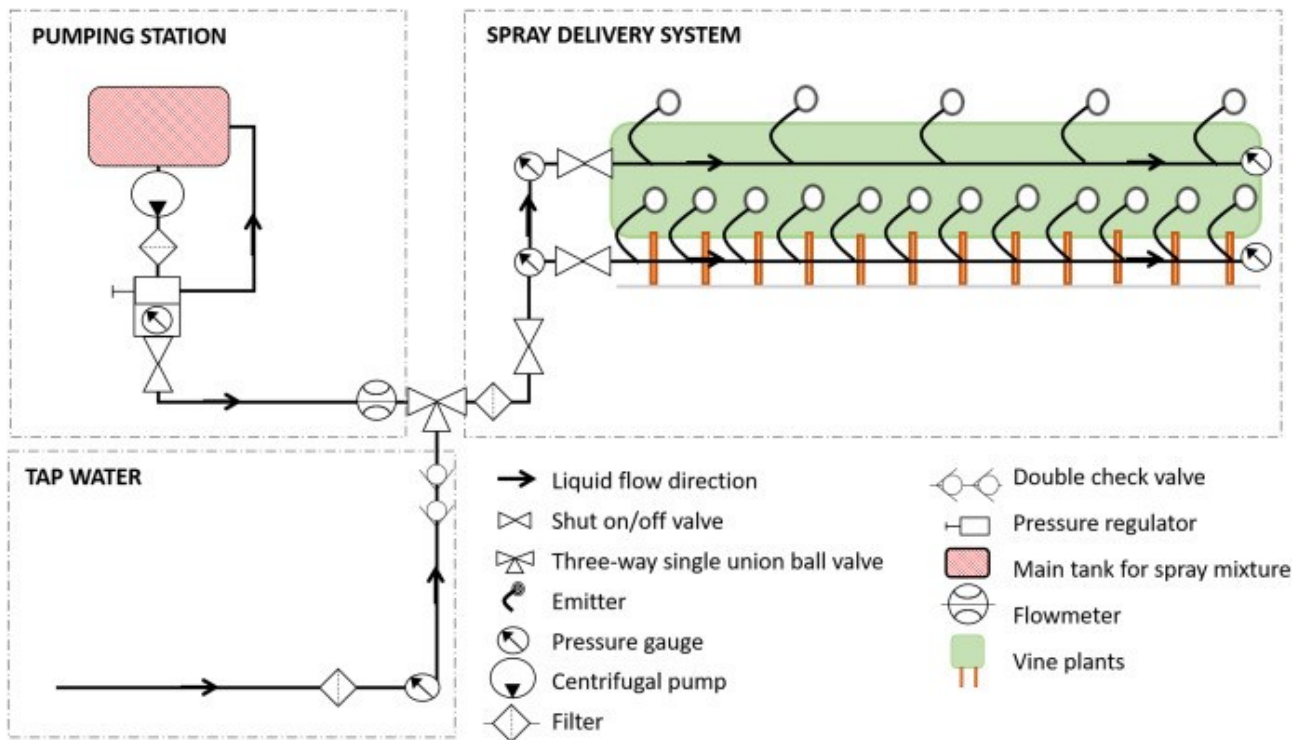


Fig.1.9 Schema del funzionamento di un impianto fisso idraulico, composto da stazione di pompaggio, rete irrigua e sistema di erogazione (da Mozzanini et al., 2023)

In relazione alla tecnica di distribuzione dei PF, gli impianti fissi si dividono in sistemi pneumatici (Grieshop et al., 2015) e sistemi idraulici (Mozzanini et al., 2024). Nei sistemi pneumatici il veicolo di distribuzione dei PF è l'aria, mentre in quelli idraulici la miscela viene trasportata all'interno dell'impianto mediante l'acqua. I sistemi pneumatici, quindi, necessitano di particolari componenti, come compressori e serbatoi per l'aria (Sahni et al., 2022). Gli impianti con un sistema di distribuzione idraulico, invece, possono utilizzare l'acqua proveniente dall'impianto di irrigazione già presente nel frutteto (Mozzanini et al., 2023). Nei sistemi pneumatici l'aria viene anche impiegata, al termine dei trattamenti fitosanitari, per la pulizia dell'impianto. Nei sistemi idraulici, l'erogazione della miscela avviene in maniera continuativa e, dopo l'espulsione dai primi ugelli, la distribuzione di sola acqua consente di assicurare che da ogni punto di espulsione sia stata emessa la dose di PF necessaria, effettuando al contempo il lavaggio del sistema.

Negli impianti a punto fisso i prodotti fitosanitari vengono erogati in assenza di un flusso d'aria. Per questo motivo, è importante che lo sviluppo della chioma delle piante sia mantenuto ridotto, per non creare interferenze con il raggio d'azione degli erogatori. Inoltre, per massimizzare i depositi di PF sulla vegetazione ed ottenere una copertura omogenea, il posizionamento degli erogatori rispetto alla chioma delle piante (Sharda et al., 2015) e la distanza tra un erogatore e l'altro ricoprono un ruolo fondamentale.

Per quanto concerne l'efficacia biologica, in particolare riguardo il controllo della ticchiolatura del melo (*Venturia inaequalis*) sono disponibili alcuni studi in letteratura che mettono a confronto l'efficacia dell'impianto fisso con quella dei tradizionali atomizzatori. Fra quelli condotti in Trentino, impiegando la medesima attrezzatura utilizzata per questo lavoro di tesi, è stato dimostrato un controllo della malattia paragonabile a quello ottenuto da un atomizzatore tradizionale (Fig.1.10). Dai risultati ottenuti è possibile osservare che il grado di efficacia biologica per la difesa da *V. inaequalis* risulta comparabile, utilizzando sia l'impianto fisso che l'atomizzatore (Bondesan et al., 2024).

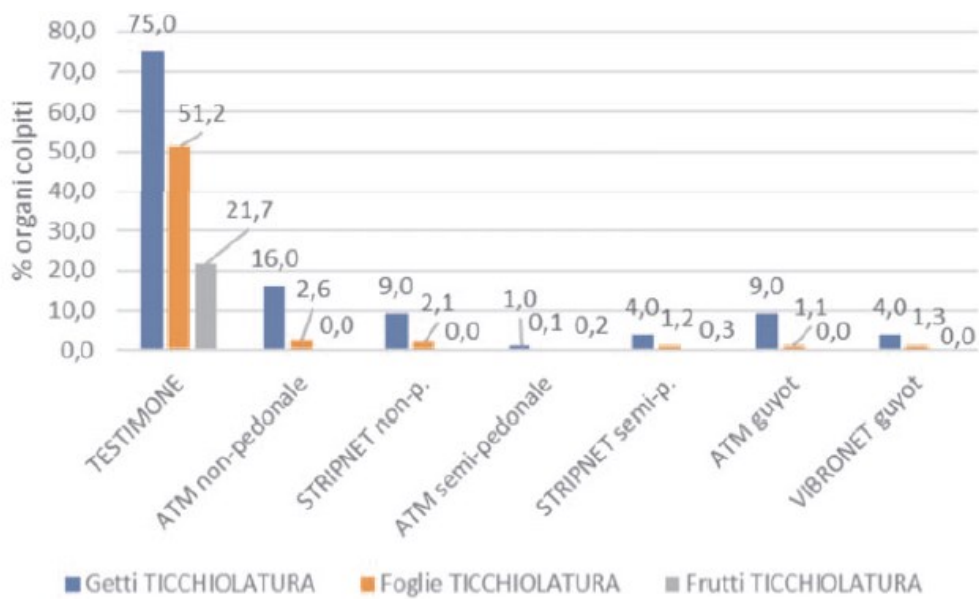


Fig.1.10 Risultati relativi all'efficacia biologica nel contenimento di *V. inaequalis* ottenuta a seguito dei trattamenti effettuati durante la stagione 2020 utilizzando l'impianto fisso (StripNet, VibroNet) e l'atomizzatore (ATM) su diverse forme di allevamento (da Bondesan et al., 2024).

2. MATERIALI E METODI

Le sperimentazioni per la realizzazione di questa tesi sono state svolte presso la Fondazione Edmund Mach (FEM). L'obiettivo del lavoro di tesi è stato quello di confrontare le prestazioni di un impianto fisso per la distribuzione di prodotti fitosanitari con quelle di un atomizzatore tradizionale.

Sono state svolte prove per valutare la copertura fogliare dei trattamenti, l'efficacia biologica di diversi insetticidi per il controllo di *C. pomonella* e *A. orana*, la ripartizione dei depositi sulla vegetazione, l'entità delle perdite a terra e della deriva. Le prove sono state effettuate nei frutteti sperimentali della Fondazione Edmund Mach, in particolare in un meleto situato a San Michele all'Adige (TN) e in un meleto presso l'azienda agricola sperimentale di Denno (TN).

2.1. Descrizione dei siti sperimentali

2.1.1. Frutteto sperimentale di San Michele all'Adige

Il meleto sperimentale di San Michele all'Adige (*Fig. 2.1*) è posto in piano con orientamento dei filari Nord-Sud. Il frutteto confina a Nord con una serra sperimentale della Fondazione Edmund Mach, ad Ovest con il giardino di una scuola dell'infanzia, a Sud con un altro frutteto sperimentale e ad Est con una strada interpoderale.

Il frutteto è pedonabile, è allevato con la forma di allevamento a guyot, con una distanza tra le file di 2,20 m. La varietà coltivata è la "FEM 16", che deriva dall'incrocio tra le varietà Florina e Gala.

In questo frutteto è installato un impianto fisso per i trattamenti fitosanitari in cui sono presenti due erogatori differenti: StripNetX™ e GyroNet™. La superficie coperta dagli erogatori StripNetX™ misura 855 m², mentre quella in cui sono installati erogatori GyroNet™ è pari a 684 m². Inoltre, i filari dove sono presenti gli erogatori GyroNet™ sono coperti con le reti antigrandine. Gli erogatori StripNetX™ sono posti sulla fila ad una distanza di 5 m uno dall'altro, mentre i GyroNet™ sono distanziati 2,60 m. In questo appezzamento sono state eseguite le prove di copertura fogliare, di quantificazione del deposito di PF su foglie e mele e quelle di efficacia biologica.

Per l'esecuzione delle prove, l'appezzamento è stato diviso tra le diverse tesi. Durante l'intera stagione ci sono state file non trattate (testimone), file trattate con l'atomizzatore tradizionale e file trattate con l'impianto fisso (con gli erogatori GyroNet™ e StripNetX™).



Fig.2.1 Meleto sperimentale di San Michele all'Adige

2.1.2. Frutteto sperimentale di Denno

Il meleto sperimentale di Denno (*Fig.2.2*) si trova all'interno dell'azienda agricola sperimentale della Fondazione Edmund Mach, dove vengono effettuate diverse sperimentazioni in frutticoltura.

Per le prove effettuate nel corso di questa tesi, sono state utilizzate 4 file di un giovane impianto di Golden Delicious allevato a spindle. Il sesto d'impianto è di 2,80 m tra le file e di 0,80 m sulla fila. L'altezza media delle piante è di 2,50 m e lo spessore massimo della chioma è di 1,30 m. Sull'impianto fisso di questo frutteto sono montati gli erogatori StripNet™. L'intera azienda è composta da file singole con orientamento Nord-Sud e si trova su un terreno in pendenza, che però è comunque accessibile alle macchine agricole. Questo appezzamento è stato utilizzato per effettuare le prove di deriva, poiché si avvicina alle caratteristiche descritte nella metodologia ISO 22866:2005 per l'esecuzione delle prove di quantificazione in campo della deriva dei prodotti fitosanitari. Infatti, ad Ovest dell'appezzamento si trova un'area non coltivata di una larghezza di circa 25 m. Tuttavia, nella

metodologia ufficiale per le prove di deriva dei prodotti fitosanitari, è indicata la presenza di una superficie piana, che è una caratteristica che l'impianto di Denno non possiede.



Fig.2.2 Frutteto sperimentale di Denno

2.2. Descrizione dell'impianto fisso

L'impianto fisso per la distribuzione dei prodotti fitosanitari è stato installato nei frutteti sperimentali della Fondazione Edmund Mach dall'azienda NetafimTM. L'azienda collabora da diversi anni con la FEM per quanto riguarda la sperimentazione dell'impianto fisso, in modo da sviluppare il sistema in funzione dei risultati ottenuti dalle varie prove effettuate in campo. L'impianto fisso, denominato sistema S.O.PH.I.A.TM (Spray Overcanopy Phytosanitary Innovative Application), è un sistema innovativo nella difesa fitosanitaria in frutticoltura. Esso è certificato ai sensi della Direttiva macchine 2006/42/CE ed è conforme allo Standard UNI EN ISO 16119.

I trattamenti effettuati con l'impianto fisso sono caratterizzati da una riduzione del fenomeno della deriva, dalla diminuzione del compattamento del suolo e dall'incremento della sicurezza degli agricoltori, dato che non si rende necessario l'ingresso negli appezzamenti con i mezzi agricoli. Inoltre, il tempo necessario per effettuare un trattamento fitosanitario, con l'utilizzo del sistema a punto fisso, è mediamente di 15 minuti ad ettaro.

Sia nel frutteto di San Michele all'Adige che in quello di Denno, l'impianto fisso funziona attraverso il medesimo sistema, di tipo idraulico. L'impianto è alimentato dall'acqua proveniente dall'impianto

irriguo, mentre la miscela di PF viene pompata all'interno dell'impianto tramite un tubo collegato all'atomizzatore. Tramite una valvola a tre vie è possibile pompare contemporaneamente nell'impianto la miscela di prodotti fitosanitari e l'acqua, che serve per la distribuzione dei PF e il lavaggio dell'impianto. Dal collettore principale, in testa ad ogni fila, si dirama un tubo che percorre tutta la fila. Al tubo sono attaccati gli erogatori, dai quali effettivamente viene irrorata la miscela sulla vegetazione. Prima di effettuare ogni prova, l'impianto è stato messo in pressione con l'acqua, successivamente è stato iniettato il volume noto di miscela di PF (in base al tipo di erogatore e alla superficie da trattare), che è stato distribuito mediante l'acqua. Infine, è stata fatta scorrere acqua per la fase di lavaggio dell'impianto.

I tre modelli di erogatore utilizzati nelle prove sperimentali sono dotati del sistema PulsarTM (NetafimTM), il quale, come descritto da Mozzanini et al., permette di mantenere una pressione di esercizio omogenea in tutti gli erogatori, indipendentemente dalle differenze di pressione che possono essere causate dalla lontananza degli erogatori dalla pompa o dalla pendenza dell'appezzamento. Gli erogatori sono attaccati al tubo presente su ogni filare tramite un gocciolatore che convoglia il liquido in un tubicino con una portata di 0,2 L/min (*Fig.2.3*). Al termine del tubicino vi è un tubo di plastica (sistema PulsarTM) che contiene un dispositivo con un funzionamento analogo a quello di un airbag; una volta che il tubo è saturo di liquido, la pressione esercitata (0,25 Mpa) provoca l'apertura di una valvola che permette al liquido di uscire dagli ugelli. Al contrario, quando la pressione all'interno del tubo del sistema PulsarTM diminuisce, la valvola si chiude e l'atomizzazione del liquido viene interrotta. Il sistema effettua 36-39 pulsazioni al minuto; il getto pulsato permette una migliore copertura della vegetazione rispetto ad un getto continuo.



Fig.2.3 Erogatore StripNetX™ con sistema Pulsar™

Tutti gli erogatori utilizzati nelle prove di questo lavoro sono dotati del sistema Pulsar™. Le differenze risiedono nella parte apicale degli erogatori, ovvero negli ugelli dai quali viene irrorata la soluzione. StripNet™ (Fig.2.4) e StripNetX™ (Fig.2.5) sono simili e sono caratterizzati da un getto stretto (lunghezza 5 m, larghezza 0,5 m) e da un diametro ridotto delle gocce. L'erogatore GyroNet™ (Fig.2.6), invece, produce un getto “ad ombrello” e con un diametro delle gocce maggiore rispetto agli altri due. Nella parte di appezzamento coperta dalle reti antigrandine sono stati installati gli erogatori GyroNet™, in quanto producono un getto avente una parabola più bassa rispetto agli altri due erogatori.



Fig.2.4 Erogatore StripNet™



Fig.2.5 Erogatore StripNetX™



Fig.2.6 Erogatore GyroNet™

2.3. Descrizione delle prove sperimentali

2.3.1. Copertura fogliare

In data 11.04.2024, nel frutteto di San Michele all'Adige, è stata effettuata una prova per confrontare le prestazioni dell'impianto fisso con quelle dell'atomizzatore, in termini di copertura fogliare. Il confronto della % di copertura fogliare è stato quindi fatto tra l'atomizzatore (con ugelli gialli Albuz® ATR 80) e i due erogatori dell'impianto fisso, StripNetX™ e GyroNet™.

Per l'esecuzione della prova sono state utilizzate delle cartine idrosensibili (26 x 76 mm, Syngenta AG), che sono state piegate a metà e pinzate sulle foglie, in modo tale da coprire sia la pagina superiore che quella inferiore. Per ogni tesi, StripNetX (X), GyroNet (G) e atomizzatore (ATM), sono state utilizzate 20 cartine idrosensibili; 10 sono state poste sulla parte alta delle piante (a 1,80 m di altezza) e 10 sulla parte bassa (a 0,60 m).

Per effettuare la prova è stato simulato un trattamento, con sola acqua, utilizzando volumi di 500 L/ha. Nelle file in cui sono montati gli erogatori StripNetX™, l'impianto è stato attivato per 2'45", mentre nelle file con gli erogatori GyroNet™ per 1'26". Il trattamento con l'atomizzatore, con 10 ugelli aperti, è stato effettuato ad una velocità di 5 km/h con una pressione di 12,5 bar.



Fig.2.7 Esempio di copertura ottenuta dall'atomizzatore (a sinistra) e dallo StripNetX™ (a destra)

In Fig.2.7 si può vedere la lamina superiore delle foglie poste sulla parte alta delle piante con attaccate le cartine idrosensibili, a seguito dell'irrorazione con l'atomizzatore e con l'impianto fisso.

Una volta asciugate, le cartine idrosensibili sono state raccolte per poter determinare la percentuale di copertura fogliare ottenuta nelle tre tesi. Quest'ultima è stata stimata attraverso un'applicazione per smartphone (SnapCard) sviluppata dal Dipartimento dell'Agricoltura australiano. Questa applicazione, attraverso la fotocamera del dispositivo, ha consentito di acquisire l'immagine della cartina idrosensibile e, elaborandola rapidamente, ha restituito il valore della percentuale di copertura.

2.3.2. Efficacia biologica verso *C. pomonella*

Il giorno 29.05.2024 è stata effettuata la prova di efficacia biologica verso *C. pomonella*, confrontando l'impianto fisso con l'atomizzatore tradizionale.

Il diametro medio dei frutti è risultato di 35 mm. Per la prova è stato utilizzato l'insetticida Affirm®, che agisce in modo specifico sulle larve di lepidotteri per contatto ed ingestione. La miscela fitosanitaria è stata preparata a 3 concentrazioni, con un volume di 333 L/ha. Alle ore 7.30, in condizioni di assenza di vento, è stato effettuato il trattamento con l'atomizzatore (10 ugelli marroni AlbuZ® ATR 80, portata 0,62 L/min) ad una velocità di 5 km/h e con una pressione di 8,5 bar.

Il trattamento con l'impianto fisso è stato effettuato rispettando la procedura indicata dal costruttore per eseguire i trattamenti fitosanitari con questo tipo di macchina. Prima di iniettare il PF, quindi, l'impianto è stato messo in pressione con l'acqua e, al termine del trattamento, è stato effettuato il

lavaggio dell'impianto. Alle ore 8.00 è stato effettuato il trattamento con gli erogatori GyroNet™, applicando 22,8 litri di miscela fitoiatrica. Alle 8.15 è stato effettuato il trattamento (34,2 litri di PF) con gli erogatori StripNetX™. I volumi distribuiti con l'impianto fisso sono stati calcolati in maniera tale da rispettare la medesima dose per ettaro applicata con l'atomizzatore. Per entrambi gli erogatori il tempo di percorrenza del prodotto è stato di 8'30". Durante il trattamento con l'impianto fisso è stata registrata la presenza di un leggero vento.

Dopo l'asciugatura della vegetazione, indossando gli idonei DPI, sono state raccolte 80 mele dalle file di testimone non trattato (T) e 60 mele da ognuna delle altre tesi, ovvero GyroNet (G), StripNetX (X) e atomizzatore (ATM). In laboratorio, ciascuna mela è stata posta in un barattolo e, con l'ausilio di un pennello, vi è stata posata una larva di *C. pomonella*. Le larve utilizzate (Andermatt Biocontrol Suisse AG) sono state allevate in laboratorio e sono state inoculate nei frutti appena dopo la schiusura delle uova.

Al termine dell'inoculazione, i barattoli, divisi per tesi, sono stati chiusi con un film da entomologia e sono stati posti in una cella climatica ad una temperatura di 23°C e U.R. 70%.

Dopo 16 giorni, il 14.06.2024, è stato effettuato il controllo distruttivo delle mele. Per effettuare il controllo, ciascuna mela è stata tagliata ed è stata controllata la presenza, o meno, della larva viva di *C. pomonella* all'interno del frutto (Fig.2.8).



Fig.2.8 Larva di *C. pomonella* all'interno del frutto

2.3.3. Deposito di PF su foglie e frutti

Il giorno 02.07.2024 è stato effettuato un trattamento per determinare la quantità di PF presente in foglie e frutti. Il trattamento è stato effettuato con una miscela composta dall'insetticida LaserTM e dai fungicidi Merpan[®] 80 WDG e Flint[®]. La miscela è stata preparata, come per il trattamento descritto in precedenza, a tre concentrazioni, con un volume di 333 L/ha. Anche le modalità operative dell'atomizzatore sono rimaste uguali a quelle utilizzate per il trattamento precedente. Per quanto riguarda l'impianto fisso, nella tesi trattata con gli erogatori StripNetXTM sono stati erogati 28,597 litri di miscela, con un tempo di percorrenza di 11', mentre con i GyroNetTM sono stati utilizzati 22,761 litri per 7'.

Al termine dell'asciugatura della vegetazione, sono stati raccolti i campioni di frutti e di foglie. Lo schema di campionamento seguito è stato lo stesso del precedente, con l'aggiunta dei campioni fogliari, divisi per parte alta e bassa della pianta. Inoltre, sono stati raccolti campioni di frutti su filari non trattati, situati in prossimità delle varie tesi, in modo da valutare la presenza di eventuali residui dovuti a deriva del trattamento. L'analisi di laboratorio è stata quindi volta alla determinazione dei principi attivi dei prodotti fitosanitari (captano, spinosad e trifloxystrobin) presente in frutti e foglie.

2.3.4. Efficacia biologica verso *A. orana*

Il giorno 24.07.2024 è stato effettuato un trattamento insetticida per verificare l'efficacia biologica dell'impianto fisso, in confronto all'atomizzatore, nel controllo dei ricamatori del melo. Per il trattamento è stato utilizzato l'insetticida LaserTM, utilizzando gli stessi volumi ad ettaro dei trattamenti precedenti. Il LaserTM è un insetticida che agisce per ingestione e contatto, tra gli altri, contro i tortricidi ricamatori. Il principio attivo di questo insetticida è lo spinosad, che deriva da un batterio (*Saccharopolyspora spinosa*) naturalmente presente nel suolo. Infatti, l'utilizzo del LaserTM è consentito anche in agricoltura biologica.

Il trattamento con l'atomizzatore è stato effettuato con le stesse modalità utilizzate nel trattamento contro *C. pomonella*: sono stati montati 10 ugelli marroni Albus[®] ATR 80, aventi una portata di 0,62 L/min, la velocità di avanzamento è stata di 5 km/h e la pressione di 8,5 bar. Con gli erogatori GyroNetTM il tempo di percorrenza della miscela è stato di 7' e ne sono stati distribuiti 22,818 litri, mentre con gli StripNetXTM sono stati utilizzati 25,565 litri di PF con un tempo di percorrenza di 11'. Il trattamento con l'atomizzatore è stato eseguito alle ore 7.20, quello con l'impianto fisso è stato

effettuato alle 7.30 (GyroNet) e alle 7.40 (StripNetX). Tutti i trattamenti sono stati fatti in condizioni di vento assente e cielo parzialmente nuvoloso.

Con la vegetazione asciutta, sono state raccolte 80 foglie per la tesi T (testimone) e 60 per le altre tesi (ATM, G e X). In laboratorio le foglie sono state messe in appositi contenitori e su ogni foglia è stata posata una larva di *A. orana*. Anche in questa prova sono state utilizzate larve allevate in biofabbrica (Andermatt Biocontrol Suisse AG). Appena dopo la schiusura delle uova, allo stadio di testa nera, sono state poste una per ogni foglia. Successivamente all'inoculazione delle foglie con le larve, i contenitori sono stati chiusi e posti in cella climatica (23°C, U.R. 70%).

Il 07.08.2024, una tesi per volta, è stato effettuato il controllo delle foglie per determinare l'efficacia dei trattamenti. Sono state contate le foglie in presenza della larva di *A. orana* viva (Fig.2.9) e quelle con la larva morta, quindi in assenza di danni in seguito alla rosura delle foglie da parte di questo insetto.



Fig.2.9 Foglia danneggiata dalla larva di *A. orana*

Per determinare l'efficacia biologica dei due trattamenti insetticidi (verso *A. orana* e *C. pomonella*), tenendo conto della differente numerosità di campioni raccolti tra il testimone e le altre tesi, è stata utilizzata la formula di efficacia di Schneider-Orelli: $E = \left(\frac{M\%t - M\%c}{100 - M\%c} \right) * 100$, dove $M\%t$ indica la mortalità percentuale nel trattato e $M\%c$ quella rilevata nel testimone.

2.3.5. Deriva, perdite a terra e ripartizione dei depositi sulla vegetazione

Il giorno 05.09.2024, nel frutteto sperimentale di Denno, è stata effettuata una prova per determinare l'entità della deriva e delle perdite di miscela a terra prodotte dall'impianto fisso in confronto a quelle create dall'atomizzatore, nonché la differenza di ripartizione dei depositi sulla vegetazione. L'atomizzatore a torretta è stato utilizzato con 14 ugelli arancioni Albus® ATR 80, ad una pressione di 5 bar e ad una velocità di avanzamento di 5 km/h. Gli erogatori montati sull'impianto fisso sono stati gli StripNet™.

Per la prova è stato simulato un trattamento utilizzando una soluzione di tartrazina (*Fig.2.10*), che è un colorante giallo per uso alimentare (E102), con un volume di 616 L/ha. La tartrazina è stata utilizzata in questa prova per la semplicità della metodica di determinazione.

Per la determinazione della ripartizione dei depositi di tartrazina sulla vegetazione, per ogni tesi sono state attaccate 48 cartine assorbenti sulle foglie delle piante. Le cartine sono state pinzate sulle foglie, in modo da avere una cartina sulla lamina superiore e una su quella inferiore, mediando poi la quantità di deposito. In ogni tesi (*Fig.2.11*) sono state dunque applicate 12 cartine (su 6 foglie) sulla parte alta della pianta (A), 12 nella parte centrale (M), 12 sulle foglie interne, verso il fusto, della parte bassa della pianta (BI) e altrettante sulle foglie esterne (BE).



Fig.2.10 Soluzione di tartrazina irrorata con l'impianto fisso



Fig.2.11 Disposizione delle cartine assorbenti sulla vegetazione

Per la quantificazione dei depositi a terra e della deriva sono state poste sul terreno, in corrispondenza di ogni punto di campionamento e per ognuna delle due tesi, 3 piastre Petri. Le tre piastre Petri, per ogni tesi, sono state messe: nell'interfila, sotto le piante, ad 1,5 m di distanza dall'ultima fila, verso il prato non coltivato, a 3 m, a 4 m, a 10 m, a 15 m e a 22 m. Per la quantificazione della deriva aerea, invece, in corrispondenza delle tre piastre Petri sono state piantate tre aste metalliche (*Fig.2.12*). Su ogni asta sono state attaccate 4 cartine assorbenti, situate a 1 m, 2 m, 3 m e 4 m di altezza dal suolo, per un totale di 12 cartine assorbenti per punto di campionamento. Le file di tre aste sono state collocate a 4 m, a 10 m, a 15 m e a 22 m di distanza dall'ultima fila dell'appezzamento.



Fig.2.12 Esempio di posizionamento delle aste con le cartine assorbenti per l'intercettazione della deriva

Al termine del posizionamento delle aste, delle cartine assorbenti e delle piastre Petri è stato effettuato il trattamento con la soluzione di tartrazina. I filari utilizzati per la prova sono stati divisi in due parti: una parte è stata trattata con l'impianto fisso e l'altra con l'atomizzatore tradizionale.

Terminata l'asciugatura della vegetazione, le piastre Petri sono state raccolte e le cartine assorbenti sono state poste in provette per la successiva analisi in laboratorio. In laboratorio, per portare in soluzione la tartrazina depositata sul fondo delle piastre Petri e adesa alle cartine assorbenti, sono stati aggiunti 20 mL di acqua distillata nelle piastre Petri e 10 mL nelle provette contenenti le cartine assorbenti. Successivamente, 2 mL di soluzione contenuta in ciascun campione sono stati trasferiti in cuvette ed è stata effettuata un'analisi colorimetrica, utilizzando uno spettrofotometro UV-Visibile (Amersham BiosciencesTM Ultrospec 3100 pro).

Lo spettrofotometro è stato impostato ad una lunghezza d'onda di 425 nm, che corrisponde alla lunghezza d'onda in cui la tartrazina presenta la massima assorbanza. Per la taratura dello strumento, prima dell'analisi dei campioni è stata misurata l'assorbanza dell'acqua distillata. Per determinare la quantità di colorante presente nei campioni, inoltre, è stata misurata l'assorbanza della soluzione madre di tartrazina. Il volume di colorante presente nei campioni è stato calcolato mediante la seguente formula: $Vc = \frac{Ac}{Am} * Vd * 1000$, dove Vc è il volume (μL) di colorante presente nel campione, Ac l'assorbanza del campione (nm), Am l'assorbanza della soluzione madre (nm) e Vd è il volume di acqua distillata utilizzato per portare in soluzione il colorante (mL).

In data 15.10.2024 è stata effettuata la stessa prova appena descritta, ma in presenza di un leggero vento (1 m/s) durante il trattamento. Rispetto alla prova precedente è stato aggiunto un punto di

campionamento per la determinazione delle perdite a terra, posizionando un'ulteriore fila di tre piastre Petri, per ogni tesi, ad una distanza di 0,5 m dall'ultima fila trattata.

2.4. Analisi statistica

I dati ottenuti dalle sperimentazioni effettuate sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA). Sia nella prova di copertura fogliare che in quella relativa al deposito di tartrazina sulla vegetazione, i dati sono stati analizzati effettuando un'ANOVA ad una via, per determinare l'effetto della modalità di distribuzione sul livello di copertura (o deposito) fogliare. I dati della prova di deriva, per valutare il comportamento della variabile dipendente (quantità di deposito per deriva) rispetto alle due variabili indipendenti (modalità di distribuzione e distanza dal filare di bordocampo), sono stati analizzati mediante un'ANOVA a due vie. In entrambi i casi, le assunzioni di base del test statistico (distribuzione normale dei residui e omogeneità delle varianze) sono state parzialmente violate. Tuttavia, data la robustezza dell'ANOVA e l'importante mole di dati analizzati, il test è stato utilizzato ugualmente, poiché ritenuto sufficientemente affidabile ai fini dell'interpretazione dei dati sperimentali ottenuti. Per individuare dove fossero poste tali differenze, è stato utilizzato il test HSD di Tukey ($p < 0,05$).

In presenza di un numero ridotto di campioni, ma comunque rappresentativo della popolazione poiché risultato dalla media di più valori, come nel caso della prova di deposito di PF su foglie e frutti, è stata effettuata un'analisi della varianza per ranghi non parametrica, utilizzando il test H di Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Copertura fogliare

Dal grafico di *Fig.3.1* appare evidente come la copertura delle cartine idrosensibili ottenuta utilizzando l'atomizzatore (ATM) risulti significativamente maggiore rispetto a quella prodotta dai due erogatori dell'impianto a punto fisso (StripNetX e GyroNet), a parità di volume distribuito. Anche l'omogeneità di copertura tra parte alta e bassa della pianta risulta migliore utilizzando l'atomizzatore. Ciò deriva anche dal fatto che, le goccioline fini e l'assistenza dell'aria, su piante di dimensioni contenute (come quelle presenti nel frutteto sperimentale) producono una copertura fogliare uniforme sull'intero profilo della pianta e tra le due lamine fogliari.

In condizioni reali, l'utilizzo di volumi di applicazione elevati, tipici dell'impianto sovrachioma (volume normale) può consentire di sopperire alle differenze riscontrate, tenuto conto anche delle dimensioni dello spray prodotto dall'impianto sovrachioma, come già messo in evidenza da Mozzanini et al., 2023.

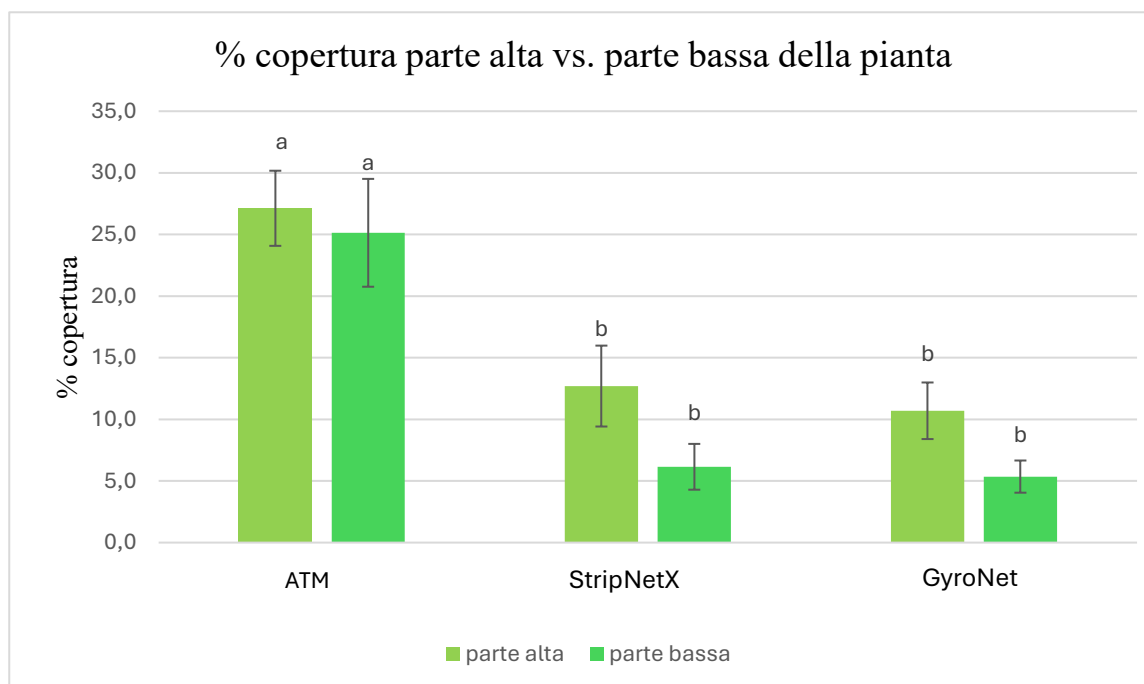


Fig.3.1 Percentuale media di copertura delle cartine idrosensibili poste ad altezze distinte (1,80 m e 0,60 m) su entrambi i lembi fogliari, per ciascun sistema di applicazione (atomizzatore e impianto fisso con StripNetX e GyroNet)

3.2. Prova di efficacia biologica verso *Cydia pomonella* e *Adoxophyes orana*

Il dato raccolto è certamente influenzato, per quanto riguarda soprattutto *C. pomonella*, dall'elevata mortalità osservata sul testimone non trattato. In *Tab.3.1* si può osservare l'efficacia biologica dei due trattamenti insetticidi effettuati su organi diversi della pianta (foglie per *A. orana* e frutti per *C. pomonella*). Se per i trattamenti rivolti alla chioma il grado di efficacia è risultato soddisfacente, sia per l'atomizzatore che per l'impianto sovrachioma, relativamente ai trattamenti rivolti alla protezione del frutto, l'atomizzatore ha mostrato un'efficacia maggiore.

Tesi	Mortalità <i>A. orana</i> (%)	Mortalità <i>C. pomonella</i> (%)
StripNetX	100,0	51,5
GyroNet	97,7	43,4
ATM	97,7	100,0

Tab.3.1 Confronto di efficacia biologica dei trattamenti verso i due fitofagi target, calcolata utilizzando la formula di Schneider-Orelli

Dalla prova relativa all'efficacia biologica nel controllo di *C. pomonella* (*Fig.3.2*), si nota che i dati di efficacia ottenuti con i diversi sistemi di applicazione risultano negativamente influenzati dall'elevata mortalità naturale riscontrata sul testimone non trattato. Avendo escluso la presenza di residui di insetticida sulle mele del testimone non trattato dovuti a deriva delle altre tesi (LOD < 0,001 ppm di emamectina benzoato), sembra ipotizzabile che, tra le possibili cause dell'elevata mortalità naturale delle larve, vi sia la provenienza della popolazione da materiale allevato in laboratorio, su substrato artificiale, pertanto meno propenso, rispetto alle popolazioni naturali, a nutrirsi di mele.

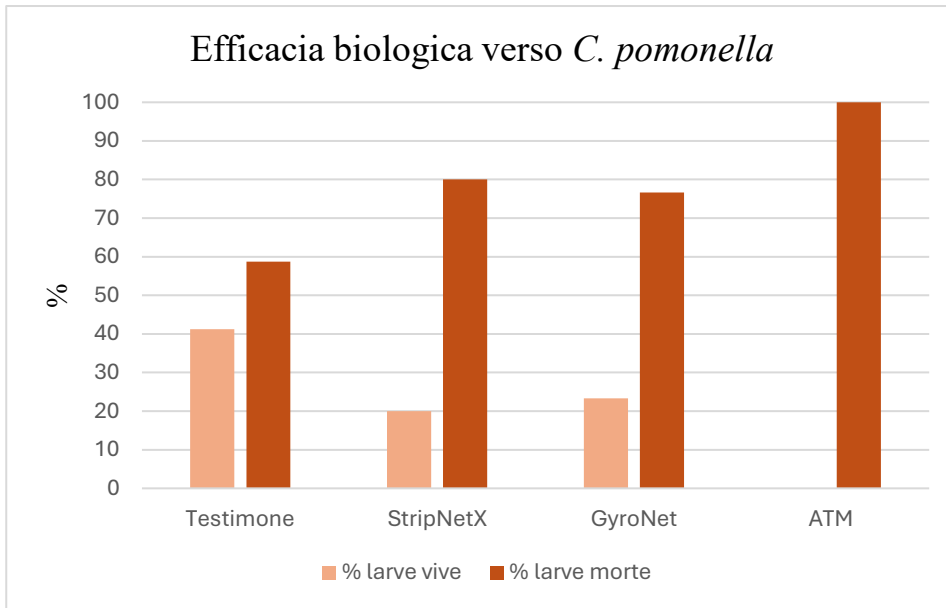


Fig.3.2 Risultati della prova di efficacia biologica nel controllo di *C. pomonella*, distribuendo l'insetticida Affirm mediante l'impianto fisso (StripNetX e GyroNet) e l'atomizzatore (ATM)

Nel grafico seguente (*Fig.3.3*) sono raffigurati i risultati ottenuti dalla prova di efficacia biologica per il controllo del tortricide ricamatore *A. orana*. Sebbene anche in questa prova il testimone non trattato presenti un'elevata mortalità (28,75 %), le prestazioni dell'impianto fisso, in termini di mortalità delle larve, sono comparabili con quelle ottenute utilizzando l'atomizzatore.

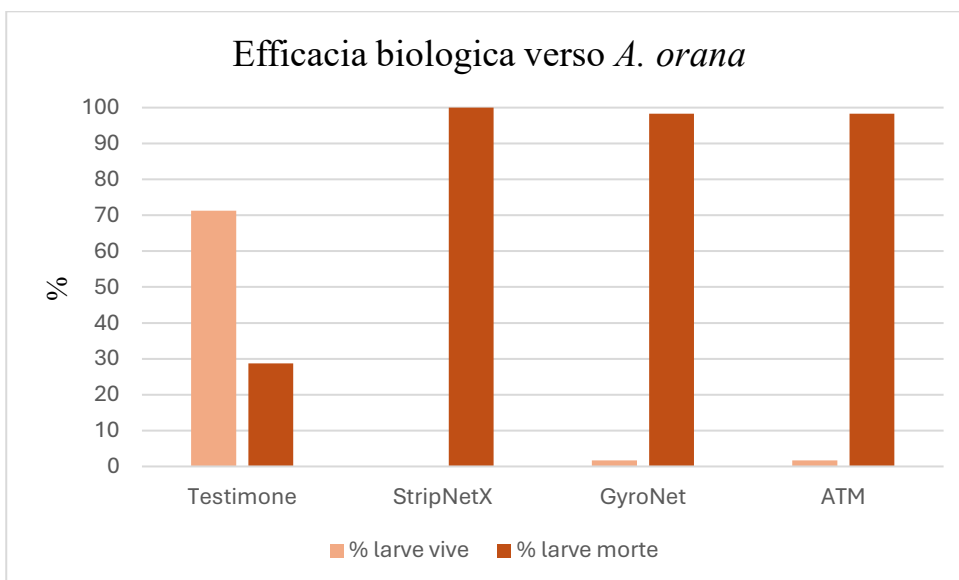


Fig.3.3 Risultati della prova di efficacia biologica dell'insetticida Laser nel controllo di *A. orana*, confrontando le prestazioni dell'impianto fisso (StripNetX e GyroNet) con quelle dell'atomizzatore (ATM)

3.3. Deposito di PF su foglie e frutti

I dati ottenuti dall'analisi di laboratorio eseguiti per determinare la quantità dei tre principi attivi (captano, spinosad e trifloxystrobin) su foglie e frutti mostrano una significativa differenza di deposito tra i due organi vegetali campionati. Per quanto riguarda il deposito fogliare (Fig.3.4), per tutte e tre le sostanze attive, non si riscontrano differenze statisticamente significative tra il deposito ottenuto dagli erogatori dell'impianto fisso (StripNetX e GyroNet) e quello ottenuto dall'atomizzatore (ATM). Nel caso di spinosad, si può notare una tendenziale riduzione del deposito prodotto dall'impianto rispetto all'atomizzatore. Tuttavia, tale tendenza non ha mostrato cali di efficacia per il principio attivo spinosad si può dedurre che, tendenzialmente, l'atomizzatore sembra produrre un deposito più elevato. Tuttavia, tale tendenza non ha causato cali di efficacia, come evidenziato dalla prova eseguita per il controllo di *A. orana*.

Sui frutti, invece, vi è una differenza di deposito statisticamente significativa, che risulta più marcata per il captano (Fig.3.5).

In generale, il deposito riscontrato sui frutti è risultato minore rispetto a quello presente sulle foglie. Per ovviare a tali differenze si può ipotizzare l'impiego di coadiuvanti specifici o ricorrere a tecniche di applicazione alternative.

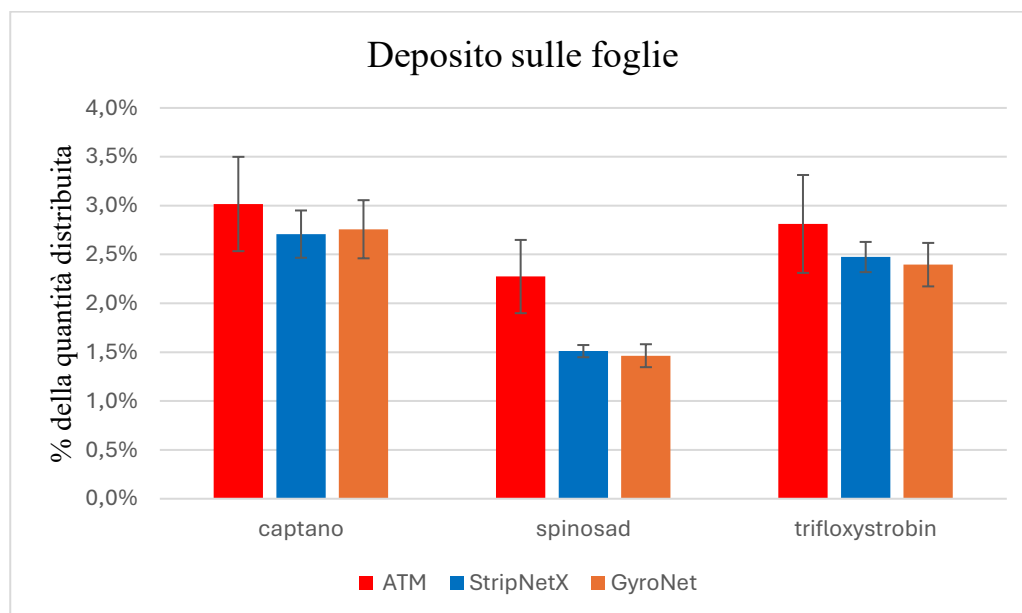


Fig.3.4 Quantità dei principi attivi rinvenuta sulla vegetazione, utilizzando i diversi sistemi di applicazione

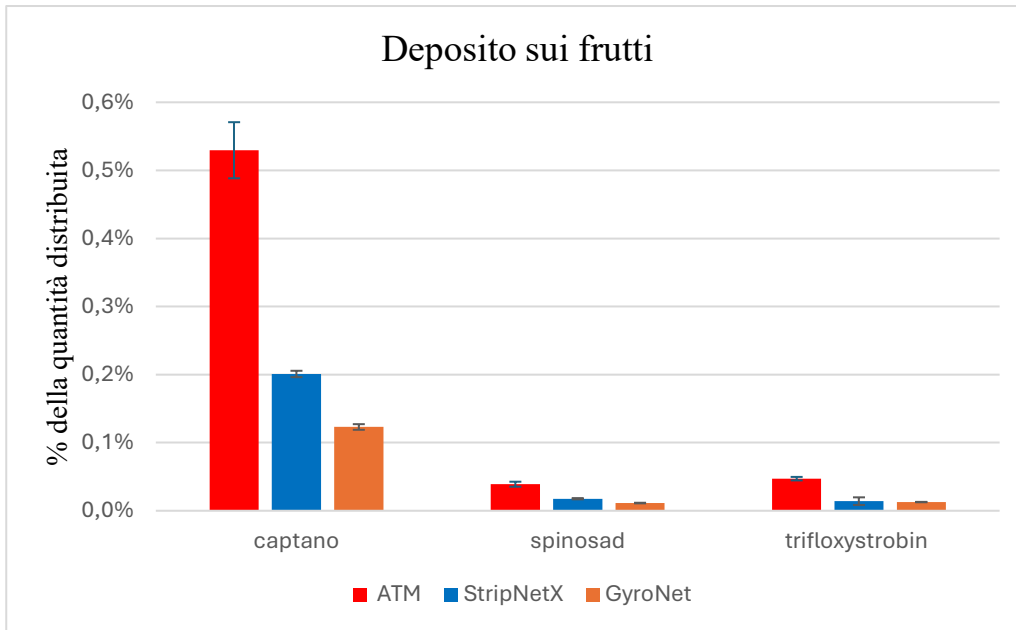


Fig.3.5 Quantità dei principi attivi rinvenuta sui frutti, utilizzando i diversi sistemi di applicazione

3.4. Deriva, perdite a terra e ripartizione dei depositi sulla vegetazione

Dalla prova effettuata nel frutteto sperimentale di Denno (*Fig.3.6*) si nota che il deposito presente sulle cartine assorbenti adese alla vegetazione è significativamente differente tra la tesi trattata con l'atomizzatore (ATM) e quella trattata con l'impianto fisso (StripNet). Ciò è in contrasto con quanto osservato per i principi attivi presenti sulle foglie, con riferimento alla prova descritta precedentemente. Tuttavia, è verosimile che ciò sia dovuto all'effetto di dilavamento del tracciante alimentare in soluzione acquosa distribuito con un alto volume, rispetto alla miscela applicata con atomizzatore a volume più basso. Inoltre, le formulazioni dei prodotti fitosanitari contengono coadiuvanti specifici per aumentare l'adesività dei principi attivi, che quindi non sembrano risentire delle differenze di volume di applicazione. Analogamente, per la prova realizzata in presenza di vento (*Fig.3.7*), i risultati sono simili.

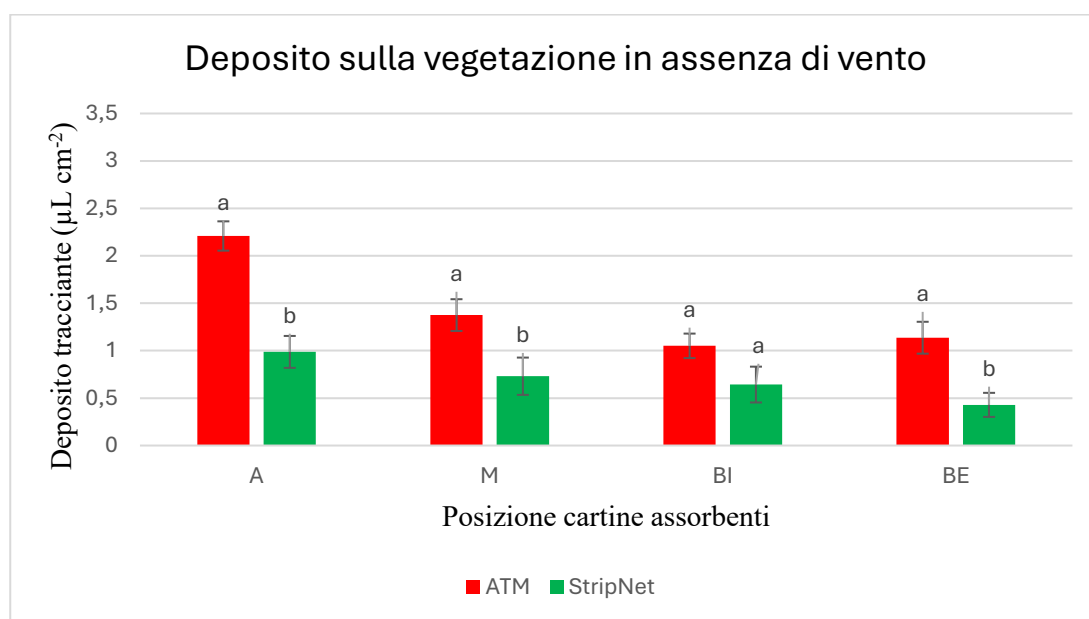


Fig.3.6 Deposito di tartrazina rilevato sulle cartine assorbenti poste a diverse altezze sulla vegetazione, effettuando il trattamento in assenza di vento

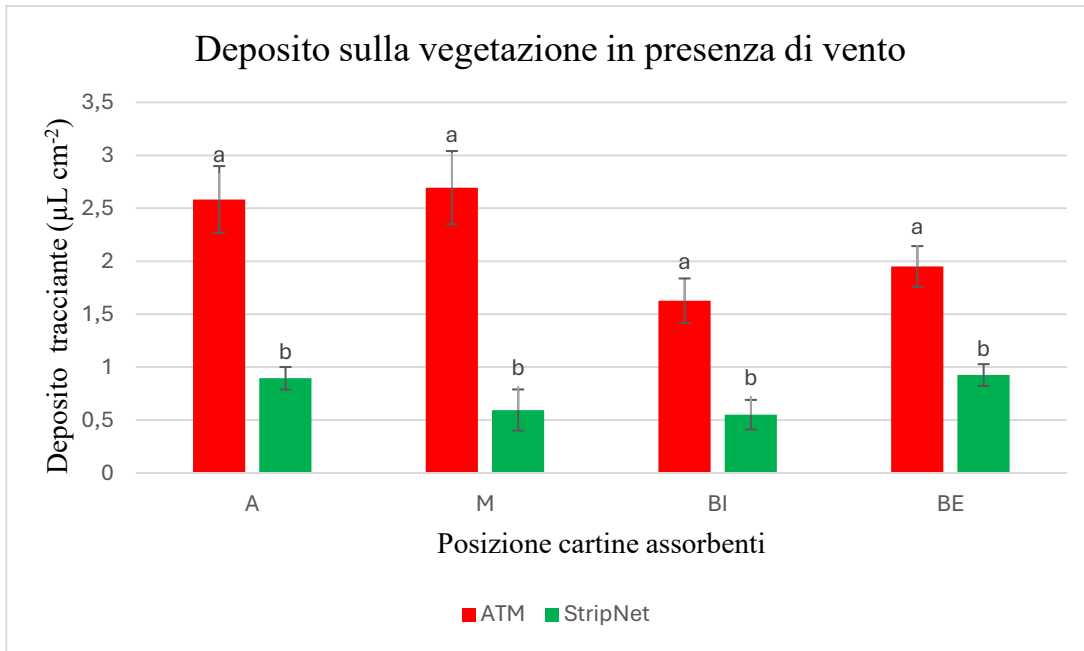


Fig.3.7 Deposito di tartrazina rilevato sulle cartine assorbenti poste a diverse altezze sulla vegetazione, effettuando il trattamento in presenza di vento

Dalla prova effettuata per determinare l'entità delle perdite al suolo per deriva si nota che, utilizzando l'atomizzatore, le perdite sono maggiori rispetto all'utilizzo dell'impianto fisso. Dall'andamento della curva dei depositi prodotti dall'impianto fisso (*Fig.3.8*), è possibile osservare come la concentrazione di tracciante non sia più analiticamente apprezzabile già dai primi metri di distanza dall'ultimo filare trattato, in condizioni di assenza di vento.

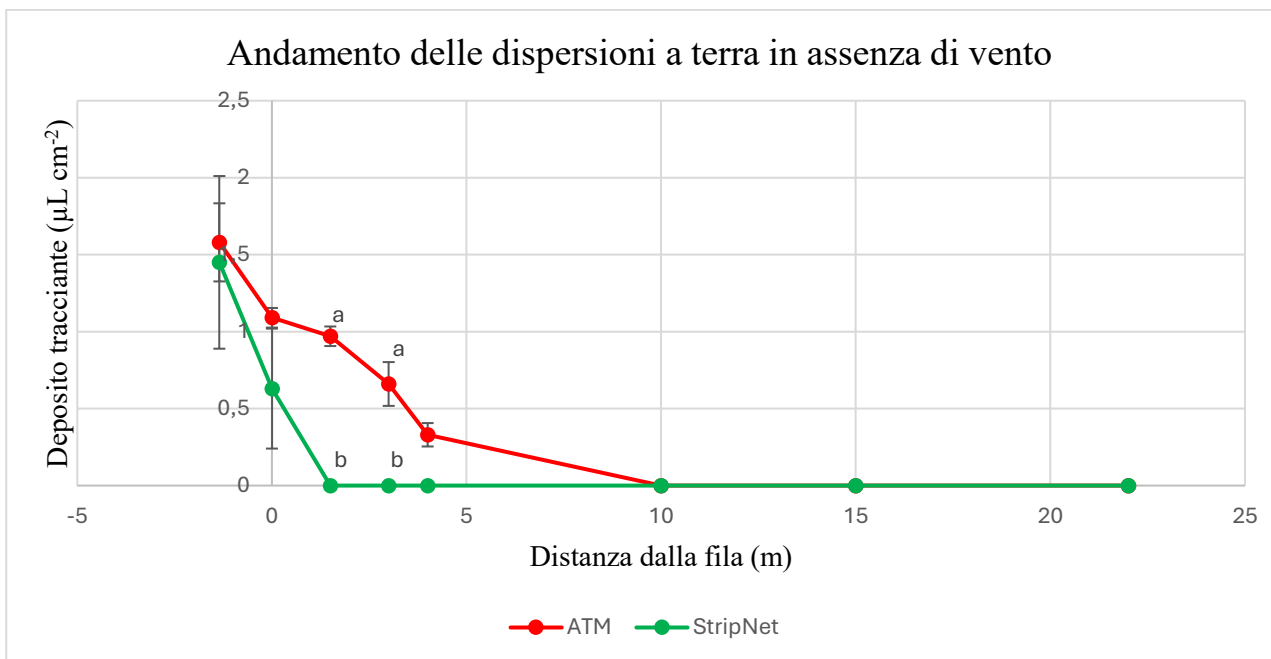


Fig.3.8 Dispersioni rilevate a terra fino a 22 m dal filare di bordocampo, comprendendo le perdite sottofilare e nell'interfila, in assenza di vento

Il grado di polverizzazione più fine, così come il trasporto delle goccioline generato dalla corrente d'aria del ventilatore dell'atomizzatore, determinano la presenza di tracciante anche nelle piastre Petri poste a distanze maggiori.

Tale effetto è apprezzabile anche osservando le dispersioni prodotte dall'atomizzatore ritrovate in aria a 4 metri di distanza dal filare di bordocampo, dove invece non si riscontrano depositi con l'utilizzo dell'impianto sovrachioma (Fig.3.9). Dalle quantità di deposito di tracciante rilevate sulle cartine assorbenti poste sulle aste metalliche si osserva appunto che, a 4 metri di distanza dall'ultima fila trattata, l'impianto fisso non produce una deriva aerea rilevabile. Utilizzando l'atomizzatore, invece, il tracciante è stato ritrovato fino ad un'altezza di 2 m.

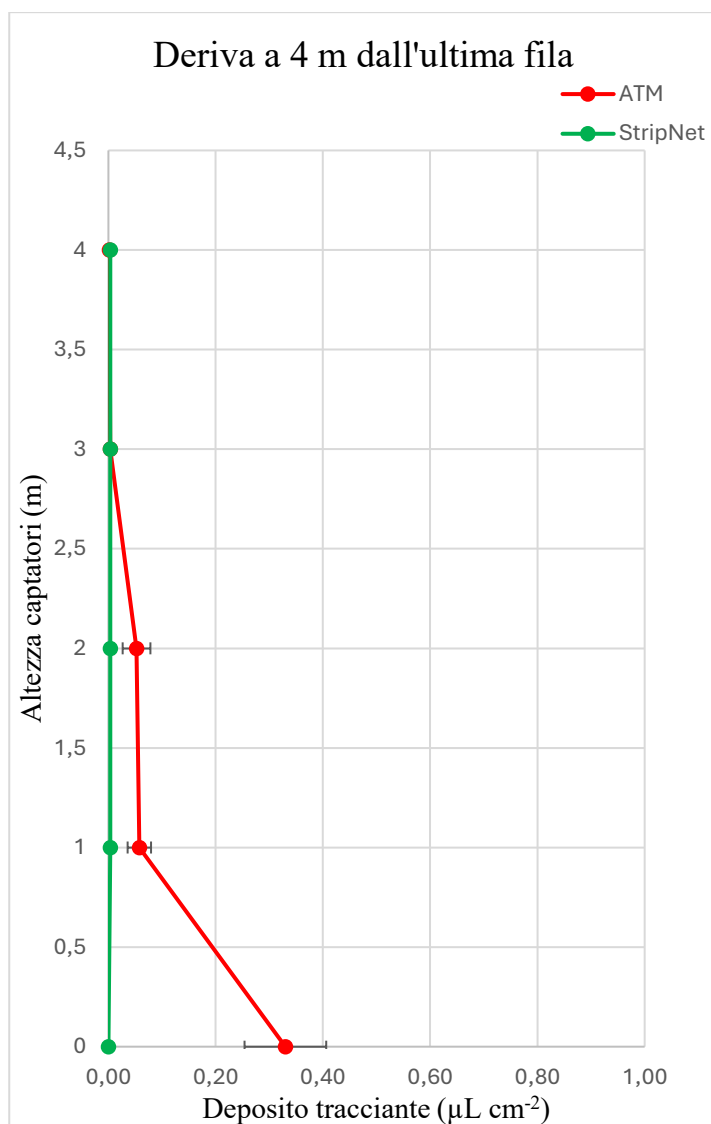


Fig.3.9 Deriva intercettata dalle piastre Petri e dalle cartine assorbenti poste sulle aste metalliche collocate a 4 m di distanza dal filare di bordocampo

Un'ulteriore conferma di quanto appena descritto è raffigurata in *Fig.3.10*. Il grafico rappresenta la quantità dei principi attivi (captano, spinosad e trifloxystrobin) depositata sui frutti in seguito alla deriva proveniente dal trattamento effettuato sul filare confinante con quello da cui sono stati raccolti i frutti analizzati. Il grafico in questione si riferisce alla prova descritta nel paragrafo 2.3.3. Tuttavia, si può notare come, anche in questo caso, la deriva prodotta dall'atomizzatore sia maggiore rispetto a quella prodotta dall'impianto fisso.

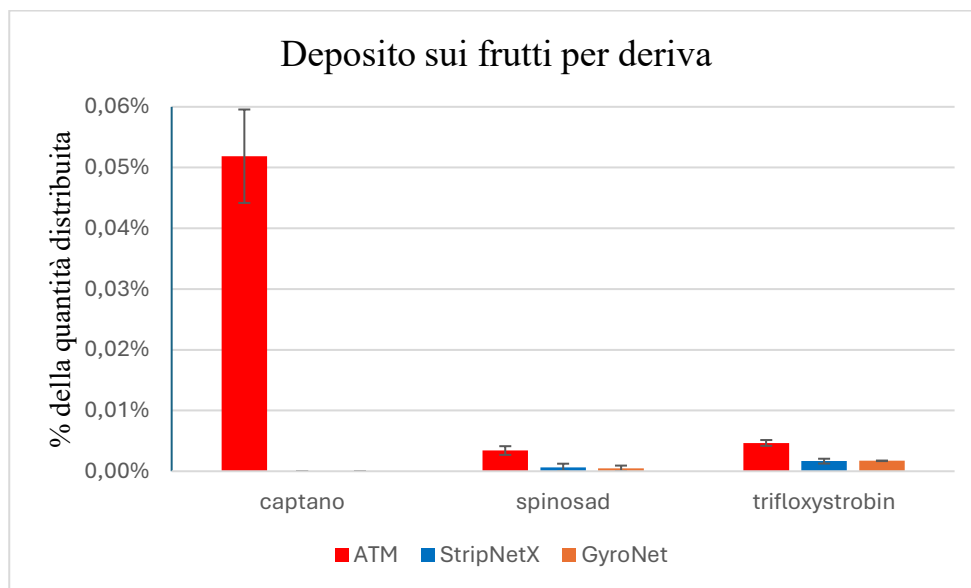


Fig.3.10 Quantità dei principi attivi rilevata per deriva sui frutti, utilizzando i diversi sistemi di applicazione

Dall'andamento delle dispersioni a terra in presenza di un leggero vento (*Fig.3.11*) è possibile notare che l'entità delle perdite per deriva rilevate a terra è maggiore rispetto al trattamento effettuato in condizioni di aria ferma, sia utilizzando l'atomizzatore che l'impianto fisso. Dal grafico è possibile osservare che, nonostante la quantità di deposito totale sia simile tra i due sistemi di applicazione, le perdite per deriva rilevate a terra hanno un andamento differente tra le due tesi a confronto. Utilizzando l'impianto fisso, anche in presenza di ventosità, si può vedere che i depositi si concentrano nei primi metri di distanza dalla vegetazione, mentre, utilizzando l'atomizzatore, i depositi a terra sono minori vicino alla fila trattata ma rimangono apprezzabili anche a distanze maggiori. Nel grafico di *Fig.3.12* si pone in evidenza il fatto che il deposito prodotto dall'impianto a punto fisso, a 50 cm di distanza dal filare di bordocampo, è nettamente superiore rispetto a quello ritrovato con l'utilizzo dell'atomizzatore. Ciononostante, questo dato conferma il fatto che utilizzando l'impianto fisso, anche in presenza di vento, le perdite per deriva a terra sono concentrate in prossimità della vegetazione trattata. Ciò è dovuto, oltre che all'assenza di aria per il trasporto della miscela, anche al fatto che le goccioline prodotte dall'impianto fisso possiedono un diametro

maggiore rispetto a quelle prodotte dall'atomizzatore, per cui si depositano a terra più velocemente. Al contrario, la quantità di deriva a terra prodotta dall'atomizzatore è minore rispetto all'impianto fisso nei primi metri, ma tracce di tartrazina sono state rilevate anche nelle piastre Petri poste a 15 m di distanza dall'ultimo filare trattato.

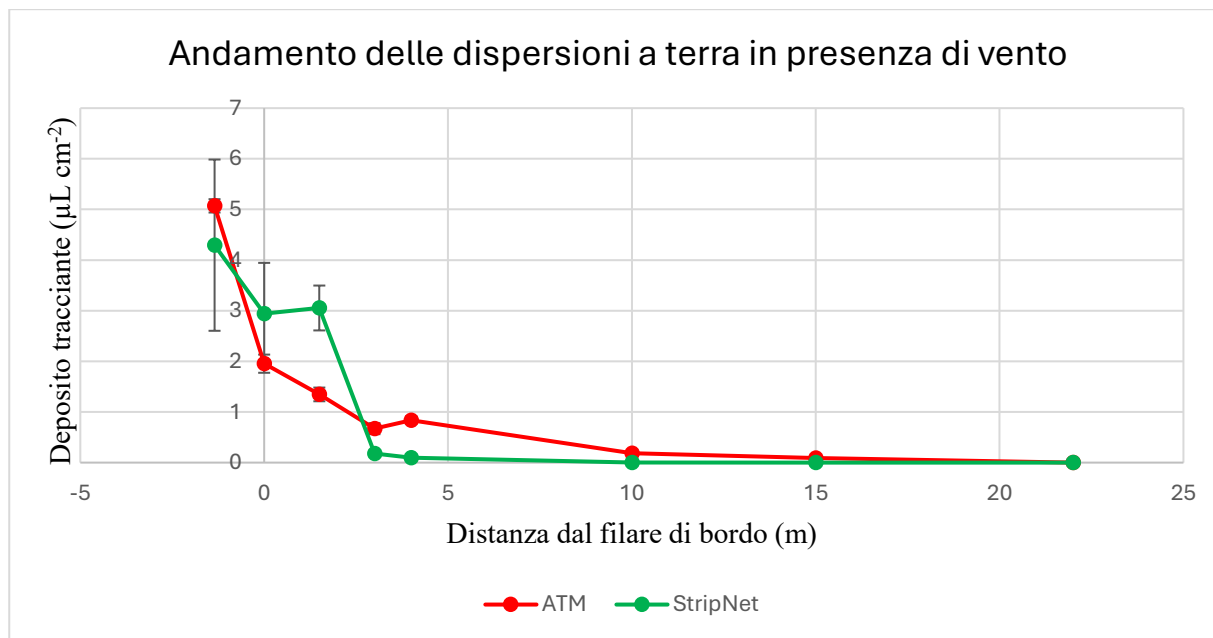


Fig.3.11 Dispersioni rilevate a terra fino a 22 m dal filare di bordocampo, comprendendo le perdite sottofilare e nell'interfila, in presenza di vento

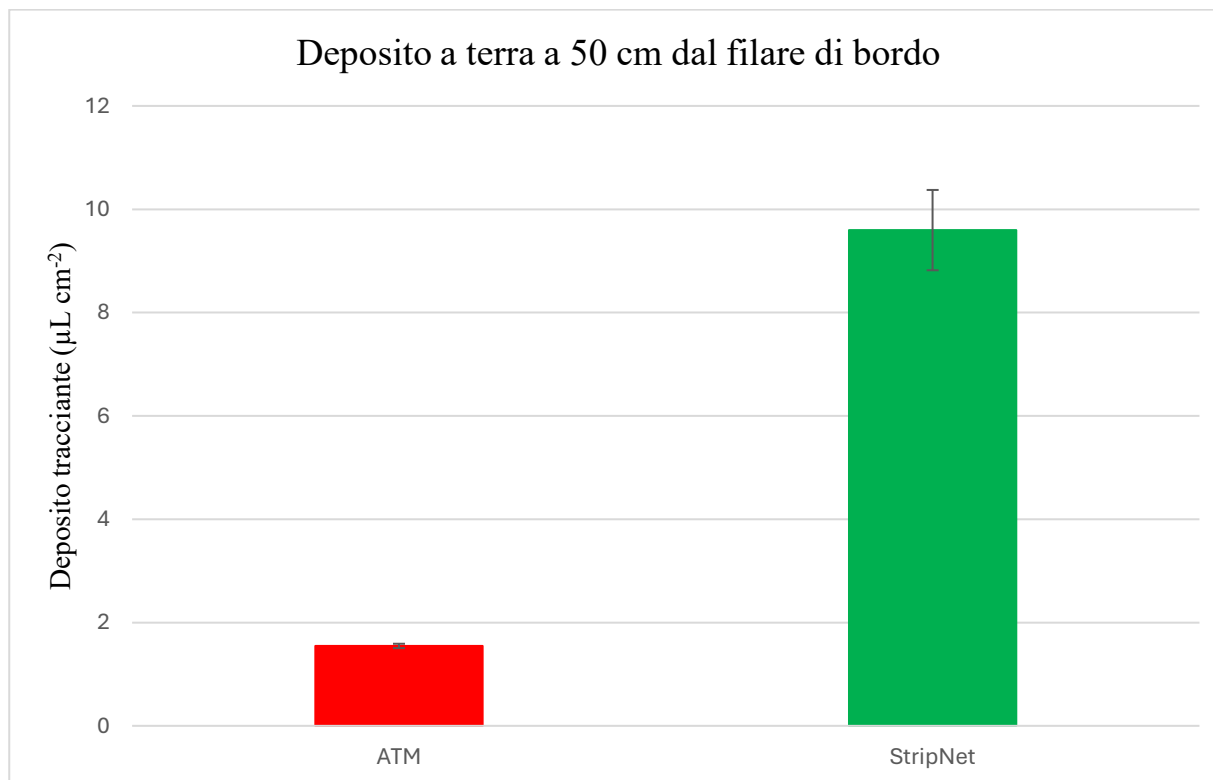


Fig.3.12 Confronto tra i due sistemi sul deposito di tartrazina rilevato a 50 cm di distanza dall'ultima fila trattata

In presenza di vento le differenze tra l'impianto fisso e l'atomizzatore tradizionale, in termini di deriva aerea, vengono accentuate. La curva di deriva rappresentata nel grafico di Fig.3.13 è stata costruita mediando, ad ogni distanza dalla fila, le quantità di deposito di tartrazina determinate sulle cartine assorbenti poste a varie altezze da terra, per poter osservare l'andamento che assume la deriva aerea allontanandosi progressivamente dal confine dell'appezzamento. Analogamente a quanto osservato per le perdite per deriva rilevate a terra, si nota che la deriva aerea prodotta dall'atomizzatore è rilevabile anche a molti metri di distanza dal filare di bordo. La deriva aerea prodotta dall'impianto fisso, invece, risulta lievemente apprezzabile esclusivamente sui captatori posti sulle prime aste metalliche, situate a 4 metri di distanza dall'ultima fila trattata.

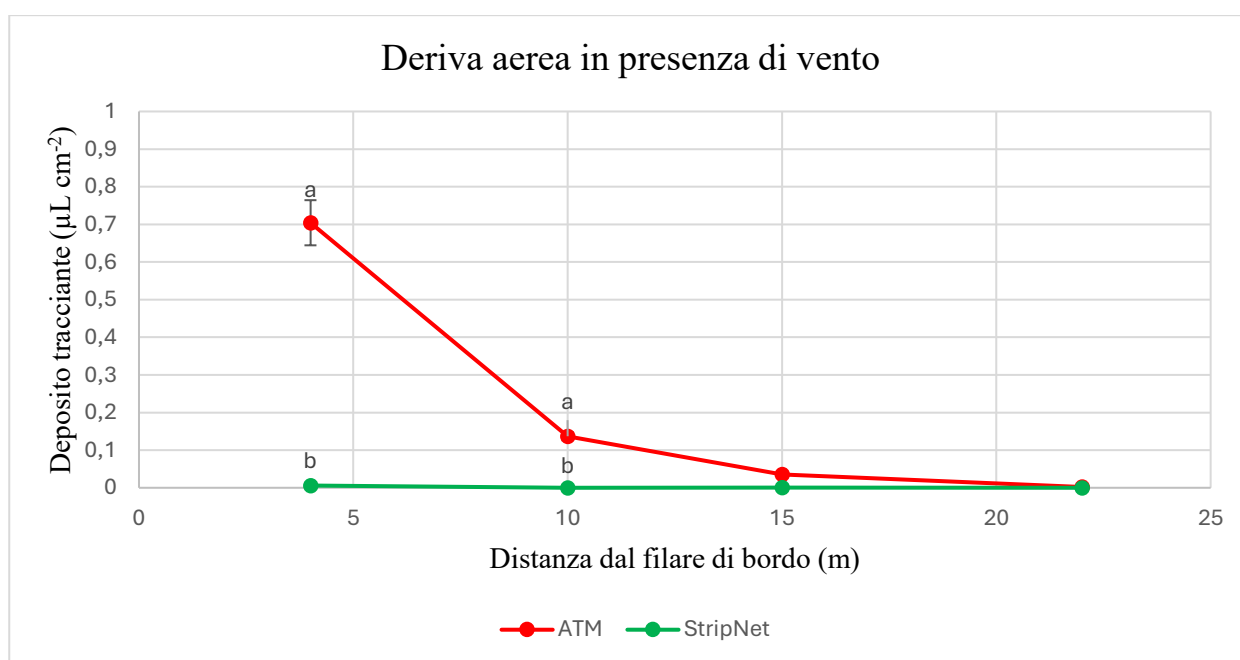


Fig.3.13 Deriva aerea complessiva, rilevata in presenza di vento

I grafici sottostanti (da Fig.3.14 a Fig.3.17) illustrano invece, uno per ogni distanza rispetto al filare di bordocampo, l'andamento dello sviluppo della deriva da 0 a 4 m di altezza. Complessivamente, appare evidente che il flusso di goccioline prodotte dall'atomizzatore, fino a 4 m di altezza, è nettamente più consistente rispetto all'impianto fisso, almeno fino ai 15 metri di distanza dall'appezzamento trattato.

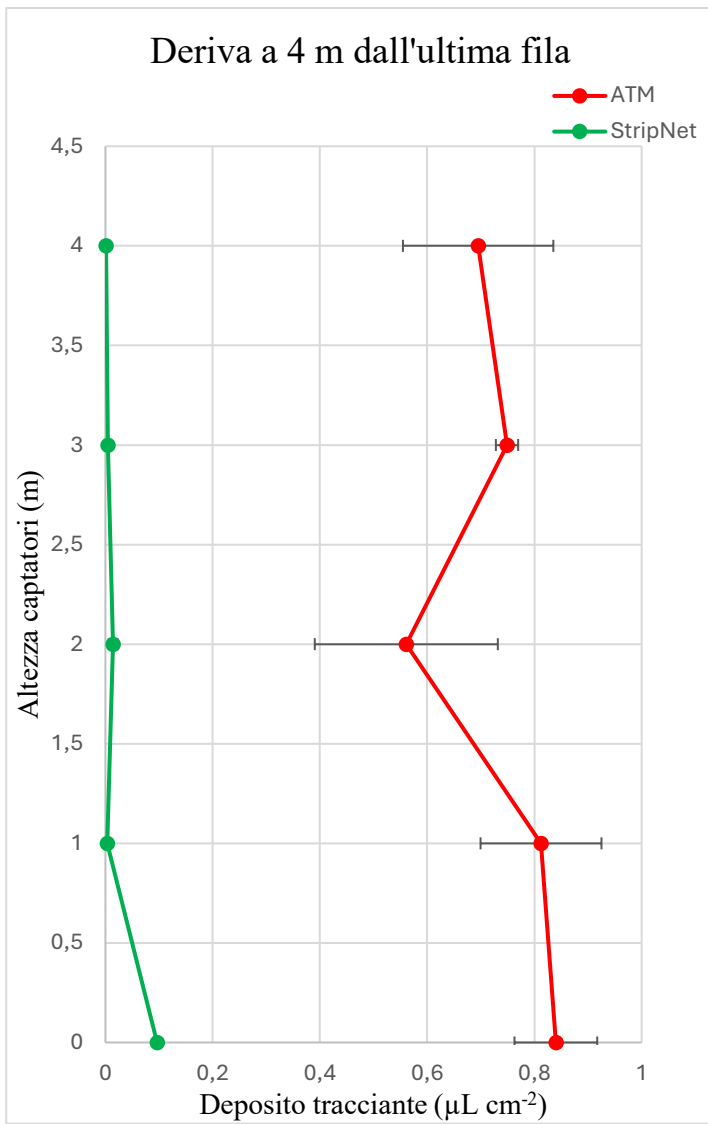


Fig.3.14 Andamento verticale della deriva a 4 metri di distanza dall'ultimo filare trattato

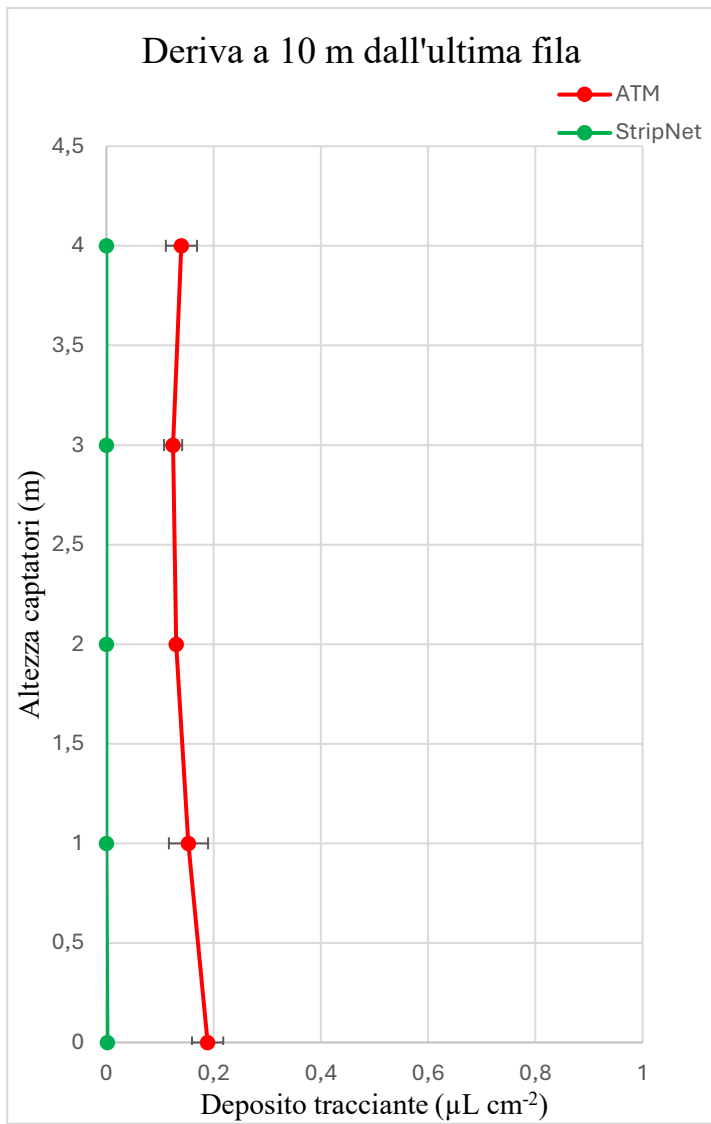


Fig.3.15 Andamento verticale della deriva a 10 metri di distanza dall'ultimo filare trattato

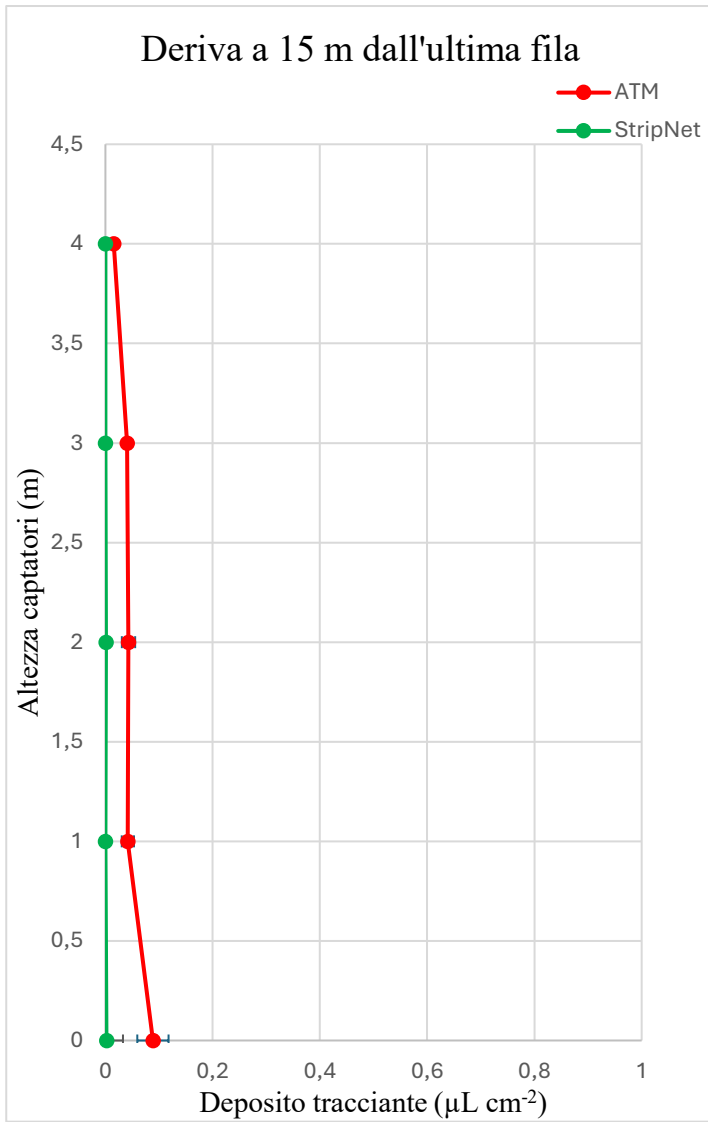


Fig.3.16 Andamento verticale della deriva a 15 metri di distanza dall'ultimo filare trattato

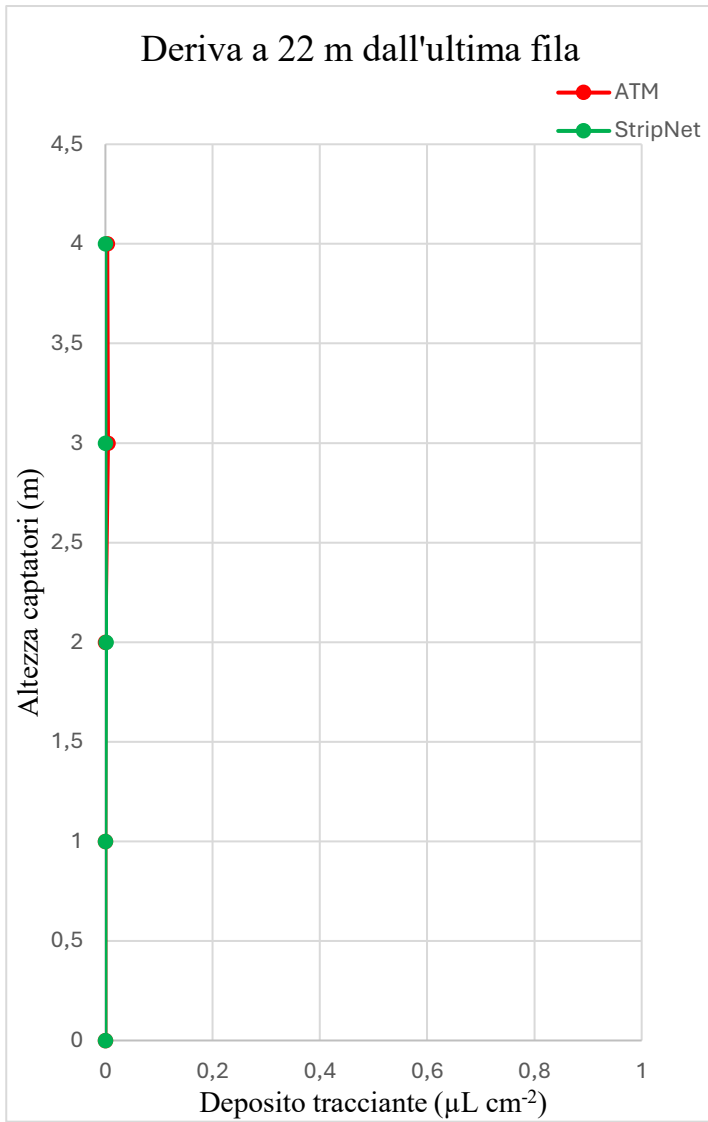


Fig.3.17 Andamento verticale della deriva a 22 metri di distanza dall'ultimo filare trattato

4. CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti durante le sperimentazioni effettuate nel corso del lavoro di tesi, appare evidente che, utilizzando l'impianto a punto fisso, la deriva di prodotti fitosanitari sia decisamente contenuta rispetto alla deriva prodotta da una macchina irroratrice tradizionale. Sia i risultati analitici relativi ai depositi rinvenuti sui frutti raccolti dai filari confinanti con quelli in cui è stato eseguito il trattamento, sia i dati ottenuti dalla prova effettuata nel frutteto sperimentale di Denno, portano a concludere che le perdite di prodotto, a seguito del trattamento effettuato mediante l'impianto fisso, sono più limitate rispetto a quelle riscontrate dall'utilizzo dell'atomizzatore. Dalla simulazione di un trattamento fitosanitario, effettuata utilizzando la tartrazina come tracciante, emerge che le perdite a terra dell'impianto fisso sono maggiori rispetto a quelle rilevate utilizzando l'atomizzatore tradizionale. Questo è spiegato dal fatto che lo spray prodotto dall'impianto fisso, al contrario di quanto avviene per l'atomizzatore, non è trasportato da un flusso d'aria. Inoltre, le goccioline prodotte dagli erogatori montati sull'impianto sovrachioma sono mediamente meno soggette a deriva rispetto a quelle irrorate dagli ugelli dell'atomizzatore, per cui cadono a terra più rapidamente. Le goccioline che determinano la deriva prodotta utilizzando l'atomizzatore, invece, non sono destinate a depositarsi al suolo nei primi metri dall'appezzamento; questo può determinare problemi di contaminazione di colture confinanti e, soprattutto in prossimità di zone sensibili, può essere una fonte di inquinamento.

I risultati relativi alla percentuale di copertura fogliare, mostrano una sostanziale differenza tra l'omogeneità di copertura ottenuta dall'impiego dell'atomizzatore rispetto all'impianto fisso, sebbene, per poter confrontare i diversi sistemi di applicazione, siano stati distribuiti volumi di acqua minori rispetto a quelli adoperati solitamente con l'impianto fisso. Appare evidente, data l'assenza di aria nel sistema di distribuzione, che il getto prodotto dagli erogatori dell'impianto fisso, posti sopra la chioma delle piante, sia limitato nel coprire entrambe le lamine fogliari in maniera uniforme, come invece avviene utilizzando l'atomizzatore. Inoltre, il grado di copertura fogliare ottenuto con l'impianto sovrachioma risulta maggiore sulla parte apicale delle piante rispetto a quella basale. In condizioni reali, l'utilizzo di volumi di applicazione elevati, tipici dell'impianto sovrachioma (volume normale) può consentire di sopperire, almeno in parte, alle differenze riscontrate, tenuto conto anche delle dimensioni dello spray prodotto dall'impianto sovrachioma.

Dai dati di deposito di tartrazina sulla vegetazione si può osservare come l'impiego dell'atomizzatore determini un deposito fogliare più elevato rispetto a quanto rilevato in seguito all'utilizzo dell'impianto fisso. Tuttavia, il deposito in chioma di principi attivi veri e propri è risultato simile sia con l'atomizzatore che con l'impianto sovrachioma. Altresì, la prova relativa al controllo di *A. orana* ha prodotto risultati incoraggianti, in quanto l'efficacia biologica del trattamento è risultata ottima

utilizzando entrambi i sistemi di applicazione. Presumibilmente, la tartrazina, distribuita in soluzione acquosa e non in formulazione come nel caso dei prodotti fitosanitari, non è in grado di essere trattenuta sulla superficie fogliare. La presenza di adesivanti nei prodotti fitosanitari consente, probabilmente, di non risentire dell'effetto delle differenze tra i volumi di applicazione impiegati utilizzando l'impianto fisso rispetto all'atomizzatore.

Dalla prova di efficacia biologica nel controllo di *C. pomonella*, malgrado l'elevato tasso di mortalità delle larve riscontrato nel testimone, si prefigura una maggior efficacia dell'atomizzatore rispetto all'impianto fisso. Questo è avvalorato dall'analisi strumentale dei depositi dei principi attivi determinati sui frutti, la quale evidenzia un valore maggiore su quelli trattati con l'atomizzatore. L'esiguo livello di deposito sui frutti, utilizzando l'impianto fisso, è dovuto plausibilmente al fatto che questi, rispetto alle foglie, hanno una forma diversa e sono più raggruppati; pertanto, risultano meno esposti al getto prodotto dagli erogatori. Nel caso di insetti carpo-fagi come *C. pomonella* sono emerse possibili criticità nell'utilizzo dell'impianto sovrachioma. Pertanto, ulteriori prove sperimentali potranno consentire di valutare l'impiego di coadiuvanti specifici per incrementare i depositi sui frutti e garantire quindi un adeguato controllo dei carpo-fagi.

5. BIBLIOGRAFIA

- Abubakar, Y., Tijjani, H., Egbuna, C., Adetunji, C. O., Kala, S., Kryeziu, T. L., Ifemeje, J. C., & Patrick-Iwuanyanwu, K. C. (2020). Pesticides, History, and Classification. In *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control* (pp. 29–42). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819304-4.00003-8>
- Andergassen, C., Pichler, D., & Brunner, P. (2018). Bibaum®-prove di definizione del sesto d'impianto ottimale. *Frutta e Vite-Rivista Specializzata Del Centro Di Consulenza*, 42(1), 5–10.
- Angeli, G., & De Ros, G. (2022). Farm to Fork: impatti possibili in aziende melicole trentine. *L'Informatore Agrario*, 33, 57–60.
- Anwar, M. R., Liu, D. L., Macadam, I., & Kelly, G. (2013). Adapting agriculture to climate change: a review. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(1–2), 225–245.
<https://doi.org/10.1007/s00704-012-0780-1>
- Bach, M., Röpke, B., & Frede, H.-G. (2005). Pesticides in rivers – Assessment of source apportionment in the context of WFD. *European Water Management Online*.
- Balasundram, S. K., Shamshiri, R. R., Sridhara, S., & Rizan, N. (2023). The Role of Digital Agriculture in Mitigating Climate Change and Ensuring Food Security: An Overview. *Sustainability*, 15(6), 5325. <https://doi.org/10.3390/su15065325>
- Baldoin, C., Causin, R., Loddo, D., Otto, S., Duso, C., & Zanin, G. (2016). Design and first testing of a prototype of a fixed spraying system for sloping vineyards. *Asp. Appl. Biol.*, 132, 397–404.
- Balsari, P., & Marucco, P. (2004). *Sprayer adjustment and vine canopy parameters affecting spray drift: the Italian experience*.
- Balsari, P., Marucco, P., & Oggero, G. (2013). *Le Buone Pratiche per contenere la deriva generata dalle macchine irroratrici*.
- Balsari, P., Marucco, P., & Oggero, G. (2016). *La prevenzione dell'inquinamento, in particolare delle acque, da agrofarmaci: le buone pratiche e gli strumenti operativi individuati dai progetti TOPPS*.
- Barbara, D. J., Roberts, A. L., & Xu, X. -M. (2008). Virulence characteristics of apple scab (*Venturia inaequalis*) isolates from monoculture and mixed orchards. *Plant Pathology*, 57(3), 552–561. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01781.x>
- Biddoccu, M., Ferraris, S., Pitacco, A., & Cavallo, E. (2017). Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties, runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard, North-West Italy. *Soil and Tillage Research*, 165, 46–58.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.017>
- Bleasdale, A. J., & Whyatt, J. D. (2024). Classifying early apple scab infections in multispectral imagery using convolutional neural networks. *Artificial Intelligence in Agriculture*.
<https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.10.001>

- Bondesan, D., Grella, M., Rizzi, M., Mozzanini, E., Balsari, P., Angeli, G., & Ioriatti, C. (2024). Sistemi a punto fisso per la difesa del melo dalla ticchiolatura (*Venturia inaequalis*): primi risultati. *Giornate Fitopatologiche 2024*, 433–440.
- Bondesan, D., Rizzi, C., Angeli, G., & Ioriatti, C. (2012a). Evaluation of spray drift in apple orchards of Trentino: comparison of different solutions to reduce environmental contamination. *IOBC-WPRS Bull.*, 91.
- Bondesan, D., Rizzi, C., Angeli, G., Wolf, S., Wohlhauser, R., & Bassi, R. (2012b). Valutazione delle prestazioni di ugelli antideriva nella difesa del melo in Trentino. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 2, 119–128.
- Bott, S., Branz, A., Morten, M., Pellegrini, F., Springhetti, A., Cristoforetti, A., Dorigoni, A., Gobber, M., Mazzoni, V., Mescalchin, E., & Zanzotti, R. (2019). *Frutticoltura biologica: guida pratica alla coltivazione biologica del melo* (Fondazione Edmund Mach, Ed.; 2nd ed., Vol. 2).
- Brühl, C. A., Engelhard, N., Bakanov, N., Wolfram, J., Hertoge, K., & Zaller, J. G. (2024). Widespread contamination of soils and vegetation with current use pesticide residues along altitudinal gradients in a European Alpine valley. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 72. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01220-1>
- Brun, L., Didelot, F., & Parisi, L. (2008). Effects of apple cultivar susceptibility to *Venturia inaequalis* on scab epidemics in apple orchards. *Crop Protection*, 27(6), 1009–1019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.12.009>
- Butler Ellis, M. C., Swan, T., Miller, P. C. H., Waddelow, S., Bradley, A., & Tuck, C. R. (2002). PM—Power and Machinery. *Biosystems Engineering*, 82(3), 289–296. <https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0069>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Connell, D. W., Connell, D. W., Vowles, P. D., Warne, M. S. J., & Hawker, D. W. (2005). *Basic concepts of environmental chemistry* (6th ed., Vol. 230). Boca Raton, FL, USA:: CRC Press.
- Dalpiazz, A. (2014). Innovazione e organizzazione, le uniche risposte per uscire dalla crisi. *Rivista Di Frutticoltura e Di Ortofloricoltura*, 76(11), 4–11.
- Damos, P., Colomar, L.-A., & Ioriatti, C. (2015). Integrated Fruit Production and Pest Management in Europe: The Apple Case Study and How Far We Are From the Original Concept? *Insects*, 6(3), 626–657. <https://doi.org/10.3390/insects6030626>
- De Ruiter, H., Holterman, H. J., Kempenaar, C., Mol, H. G., de Vlieger J. J., & van de Zande, J. C. (2003). Influence of Adjuvants and Formulations on the Emission of Pesticides to the Atmosphere. *Dutch Research Programme Pesticides and the Environment (DWK)*.
- Dorigoni, A. (2015). Come ottenere un frutteto semi-pedonabile. *L'Informatore Agrario*.
- Dorigoni, A. (2019). Allevamento a Guyot: un nuovo sistema di coltivazione per melo e pero. *Frutta e Vite*.

- Dorigoni, A., Lezzer, P., Dallabetta, N., Serra, S., & Musacchi, S. (2011). Bi-axis: an alternative to splendor spindle for apple orchards. *Acta Horticulturae*, 903, 581–588.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.80>
- Dorigoni, A., & Micheli, F. (2018). Guyot training: a new system for producing apples and pears. *Eur. Fruit Mag*, 2, 18–23.
- FAO. (2019). *Sustainable approaches for plant health*.
- Felsot, A. S., Unsworth, J. B., Linders, J. B. H. J., Roberts, G., Rautman, D., Harris, C., & Carazo, E. (2010). Agrochemical spray drift; assessment and mitigation—A review*. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 46(1), 1–23.
<https://doi.org/10.1080/03601234.2010.515161>
- Fenik, J., Tankiewicz, M., & Biziuk, M. (2011). Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(6), 814–826.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.02.008>
- Garcia, F. P., Ascencio, S. Y. C., Gaytán-Oyarzún, J. C., Hernandez, A., & Alavarado, P. V. (2012). Pesticides: classification, uses and toxicity. Measures of exposure and genotoxic risks. *Journal of Research in Environmental Science and Toxicology*, 279–293.
- George, D. R., Finn, R. D., Graham, K. M., & Sparagano, O. A. (2014). Present and future potential of plant-derived products to control arthropods of veterinary and medical significance. *Parasites & Vectors*, 7(1), 28. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-28>
- Grieshop, M., Gut, L., Wise, J., Smith, P. O., Sundin, G., Miller, S., Flore, J., Lang, G., & Perry, R. (2015). Development of solid set delivery systems for high density apples. *NY Fruit Quart*, 23, 16–20.
- Hampson, C. R., Quamme, H. A., & Brownlee, R. T. (2002). Canopy growth, yield, and fruit quality of Royal Gala apple trees grown for eight years in five tree training systems. *HortScience*, 37(4), 627–631.
- Hatt, S., & Osawa, N. (2019). Beyond “greening”: which paradigms shape sustainable pest management strategies in the European Union? *BioControl*, 64(4), 343–355.
<https://doi.org/10.1007/s10526-019-09947-z>
- Hedin, P. A., & Hollingworth, R. M. (1997). *New Applications for Phytochemical Pest-Control Agents* (pp. 1–12). <https://doi.org/10.1021/bk-1997-0658.ch001>
- Hilz, E., & Vermeer, A. W. P. (2013). Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. *Crop Protection*, 44, 75–83.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.10.020>
- Hobson, P. A., Miller, P. C. H., Walklate, P. J., Tuck, C. R., & Western, N. M. (1993). Spray Drift from Hydraulic Spray Nozzles: the Use of a Computer Simulation Model to Examine Factors Influencing Drift. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 54(4), 293–305.
<https://doi.org/10.1006/jaer.1993.1022>
- Höller, I., & Guerra, W. (2021). Portinnesti per il melo: le prospettive. *Frutta e Vite-Rivista Specializzata Del Centro Di Consulenza*, 45(1), 24–28.

- Hong, S.-W., Zhao, L., & Zhu, H. (2018). CFD simulation of pesticide spray from air-assisted sprayers in an apple orchard: Tree deposition and off-target losses. *Atmospheric Environment*, *175*, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.12.001>
- Ioriatti, C., & Lucchi, A. (2016). Semiochemical Strategies for Tortricid Moth Control in Apple Orchards and Vineyards in Italy. *Journal of Chemical Ecology*, *42*(7), 571–583. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0722-y>
- Kannan, N., Read, Q., & Zhang, W. (2024). An algae-based polymer material as a pesticide adjuvant for mitigating off-target drift. *Heliyon*, *10*(16), e35510. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35510>
- Kim, K.-H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of The Total Environment*, *575*, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Marchand, P. A., & Robin, D. (2019). Evolution of Directive (EC) No 128/2009 of the European Parliament and of the Council Establishing a Framework for Community Action to Achieve the Sustainable Use of Pesticides. *Journal of Regulatory Science*, 1–7. <https://doi.org/10.21423/JRS-V07MARCHAND>
- Massetani, F., Neri, D., & Colombo, R. (2006). Forme di allevamento e sistemi di impianto del meleto. *Phytomagazine*, *17*, 39–48.
- Mouron, P., Heijne, B., Naef, A., Strassemeyer, J., Hayer, F., Avilla, J., Alaphilippe, A., Höhn, H., Hernandez, J., Mack, G., Gaillard, G., Solé, J., Sauphanor, B., Patocchi, A., Samietz, J., Bravin, E., Lavigne, C., Bohanec, M., Golla, B., ... Bigler, F. (2012). Sustainability assessment of crop protection systems: SustainOS methodology and its application for apple orchards. *Agricultural Systems*, *113*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.07.004>
- Mozzanini, E., Grella, M., Marucco, P., Balsari, P., & Gioelli, F. (2023). Characterization of irrigator emitter to be used as solid set canopy delivery system: which is best for which role in the vineyard? *Pest Management Science*, *79*(2), 584–597. <https://doi.org/10.1002/ps.7228>
- Mozzanini, E., Grella, M., Marucco, P., Hoheisel, G.-A., Biglia, A., Balsari, P., & Gioelli, F. (2024). Hydraulic-based fixed spray delivery system: Homogeneity distribution among emitters and internal cleaning performances evaluation. *Crop Protection*, *175*, 106440. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106440>
- Müller, K., Bach, M., Hartmann, H., Spittler, M., & Frede, H. (2002). Point- and Nonpoint-Source Pesticide Contamination in the Zwester Ohm Catchment, Germany. *Journal of Environmental Quality*, *31*(1), 309–318. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.3090>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, *234*, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Musacchi, S., Sheick, R., Mia, M. J., & Serra, S. (2023). Studies on physiological and productive effects of multi-leader training systems and Prohexadione-Ca applications on apple cultivar 'WA 38'. *Scientia Horticulturae*, *312*, 111850. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111850>
- 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>

- Owen-Smith, P., Wise, J., & Grieshop, M. J. (2019). Season Long Pest Management Efficacy and Spray Characteristics of a Solid Set Canopy Delivery System in High Density Apples. *Insects*, *10*(7), 193. <https://doi.org/10.3390/insects10070193>
- Perriot, B., Pasquier, D., Hudebine, Y., Verpont, F., Vergès, A., Codis, S., Douzals, J.-P., Bedos, C., Grimhler, S., Sellam, M., & Naud, O. (2024). Spray drift in field crops: A dataset to analyse the influence of air induction nozzles, hedges, and their combination on the reduction of sedimentary drift, aerial drift and exposure of bystanders. *Data in Brief*, *54*, 110366. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110366>
- Pradel, M., David, R., & Gaudin, F. (2024). O-AMIE: A tool combining systems engineering and life cycle assessment to eco-design agricultural practices and assess their environmental impacts. *Computers and Electronics in Agriculture*, *227*, 109558. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109558>
- Robinson, T. L., Lakso, A. N., & Ren, Z. (1991). Modifying Apple Tree Canopies for Improved Production Efficiency. *HortScience*, *26*(8), 1005–1012. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.8.1005>
- Sacchetti, G., Calliera, M., Marchis, A., Lamastra, L., & Capri, E. (2012). The stakeholder-consultation process in developing training and awareness-raising material within the framework of the EU Directive on Sustainable Use of Pesticides: The case of the EU-project BROWSE. *Science of The Total Environment*, *438*, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.079>
- Sahni, R. K., Ranjan, R., Khot, L. R., Hoheisel, G.-A., & Grieshop, M. J. (2022). Reservoir Units Optimization in Pneumatic Spray Delivery-Based Fixed Spray System for Large-Scale Commercial Adaptation. *Sustainability*, *14*(17), 10843. <https://doi.org/10.3390/su141710843>
- Sayed, R., & Mousavi, M. R. (2011). Nanotechnology in Agriculture and Food Production. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*.
- Sharda, A., Karkee, M., Zhang, Q., Ewlanow, I., Adameit, U., & Brunner, J. (2015). Effect of emitter type and mounting configuration on spray coverage for solid set canopy delivery system. *Computers and Electronics in Agriculture*, *112*, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.07.012>
- Simon, S., Brun, L., Guinaudeau, J., & Sauphanor, B. (2011). Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agronomy for Sustainable Development*, *31*(3), 541–555. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0003-7>
- Sinha, R., Ranjan, R., Khot, L. R., Hoheisel, G., & Grieshop, M. J. (2019). Drift potential from a solid set canopy delivery system and an axial–fan air–assisted sprayer during applications in grapevines. *Biosystems Engineering*, *188*, 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.015>
- Sittig, S., & Sur, R. (2023). Runoff mitigation on agricultural fields via micro-dams – Literature review and derivation of runoff curve number reductions. *Environmental Research*, *238*, 117128. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117128>
- Sittig, S., & Sur, R. (2024). Runoff and erosion mitigation via conservation tillage and cover crops – derivation of model input parameters from literature. *Environmental Challenges*, *17*, 101015. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101015>

- Sittig, S., Sur, R., & Baets, D. (2022). Runoff mitigation via micro-dams and conservation tillage— Numerical modeling of runoff and erosion from maize field trials. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(5), 1348–1363. <https://doi.org/10.1002/ieam.4546>
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D’Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- 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>
- Straffelini, E., Pijl, A., Otto, S., Marchesini, E., Pitacco, A., & Tarolli, P. (2022). A high-resolution physical modelling approach to assess runoff and soil erosion in vineyards under different soil managements. *Soil and Tillage Research*, 222, 105418. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105418>
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Tustin, D. S., Cashmore, W. M., & Bensley, R. B. (2001). Pomological and physiological characteristics of Slender Pyramid central leader apple (*Malus domestica*) planting systems grown on intermediate vigour, semi-dwarfing, and dwarfing rootstocks. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 29(3), 195–208. <https://doi.org/10.1080/01140671.2001.9514178>
- Tustin, D. S., & van Hooijdonk, B. M. (2016). Can light interception of intensive apple and pear orchard systems be increased with new approaches to tree design? *Acta Horticulturae*, 1130, 139–144. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.20>
- van Lexmond, M. B., Bonmatin, J.-M., Goulson, D., & Noome, D. A. (2015). Worldwide integrated assessment on systemic pesticides. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3220-1>
- Vergès, A., Codis, S., Trinquier, E., Perriot, B., Pasquier, D., Hudebine, Y., Verpont, F., Douzals, J.-P., Bedos, C., Grimbuhler, S., Sellam, M., & Naud, O. (2024). Spray drift in viticulture: A dataset to analyse the influence of spray application techniques, hedges and their combination on the reduction of sedimentary drift, aerial drift and exposure of bystanders. *Data in Brief*, 57, 110819. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110819>
- Wenneker, M., Beltman, W., Werd, H., van Zeeland, M. G., van der Lans, A., & van der Weide, R. Y. (2010). Quantifying point source entries of pesticides in surface waters. *International Advances in Pesticide Application*.
- Zhu, H., Zondag, R. H., Derksen, R. C., Reding, M., & Krause, C. R. (2008). Influence of Spray Volume on Spray Deposition and Coverage within Nursery Trees. *Journal of Environmental Horticulture*, 26(1), 51–57. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-26.1.51>

6. SITOGRAFIA

<https://unric.org/it/agenda-2030/>

<https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>

<https://www.iss.it/-/sostanze-chimiche-duplica-2>

<https://www.venetoagricoltura.org/upload/pubblicazioni/GUIDA%20PRODOTTI%20FITOSANITARI%20ED.2015/Cap3-Scheda3-7.pdf>

<https://www.agric.wa.gov.au/grains/snapcard-spray-app>