

PRIME ACQUISIZIONI SULL'IMPIEGO DI UN DRONE AGRICOLO NELL'IRRORAZIONE DEI MELETI IN TRENTINO

D. BONDESAN¹, M. MESSMER¹, C. RIZZI¹, N. GASPERETTI², D. ZANINI²

¹ Fondazione Edmund Mach, via E. Mach 1, 38098 San Michele all'Adige (TN)

² ND Survey SRL, Via Enrico Leonardi, 92, 38019 Ville d'Anaunia (TN)

daniel.bondesan@fmach.it

RIASSUNTO

Il presente lavoro ha avuto come principale obiettivo la valutazione comparativa di un drone agricolo nella formazione dei depositi sulla pianta e delle dispersioni in prossimità del frutteto rispetto all'impiego di una macchina irroratrice dotata di convogliatore a torretta ed ugelli a turbolenza. Per fare ciò sono stati posizionati dei captatori di carta assorbente a diverse altezze e profondità delle piante in un frutteto di varietà Golden al terzo anno dall'impianto ed i filari sono stati irrorati con una soluzione di tartrazina. Inoltre, alcune piastre Petri ed aste con captatori sono state poste a diverse distanze dai filari di bordocampo per determinare le dispersioni. I depositi sulle piante sono risultati mediamente più elevati sulla pagina fogliare inferiore nel caso dell'irroratrice nella configurazione utilizzata. Oltre al minor deposito sulla parte inferiore delle foglie, il drone ha fatto registrare i depositi più bassi nella parte interna basale delle piante. Relativamente alle dispersioni a terra ed in aria, per le configurazioni in prova, il drone ha fatto registrare dispersioni sensibilmente più basse rispetto all'irroratrice, operando con entrambe le attrezzature in condizioni di quasi totale assenza di vento. Successive verifiche hanno permesso di individuare modalità d'impiego dell'aeromobile a pilotaggio remoto migliorative in termini di deposito.

Parole chiave: basso volume, miscela concentrata, spray fine, ugello rotativo

SUMMARY

FIRST RESULTS ON THE USE OF AN AGRICULTURAL DRONE IN APPLE ORCHARDS SPRAYING IN TRENTINO (NORTHERN ITALY)

The main objective of this study was to evaluate the effectiveness of an agricultural drone in deposit formation and dispersion near the orchard, compared to a sprayer equipped with a tower air conveyor and swirl nozzles. To do this, absorbent paper collectors were positioned at various heights and depths of the trees in a Golden orchard in its third year after planting, and the rows were sprayed with a tartrazine solution. Additionally, Petri dishes and rods with collectors were placed at various distances from the edge rows to determine spray mixture dispersion. Vegetation deposits were found to be higher on the lower leaf surface for the sprayer in its configuration. In addition to lower deposits on the underside of the leaves, the drone recorded the lowest deposits on the inner basal part of the plants. Regarding ground and air dispersion, for the tested configurations, the drone recorded significantly lower dispersion than the sprayer, operating with both equipment in conditions of almost complete absence of wind. New tests allowed us to identify ways of using the UAV that would improve its spray deposit performance.

Keywords: low volume, concentrate mix, fine spray, rotary nozzle

INTRODUZIONE

L'impiego dei droni in agricoltura è recentemente diventato un argomento di intensa discussione. Pur non essendo ancora possibile utilizzare questa tecnologia per la distribuzione dei prodotti fitosanitari su larga scala, essendo considerata un mezzo aereo a tutti gli effetti e quindi non autorizzato ai sensi della normativa UE (Directive 2009/128 CE), la sua prospettiva

d'impiego consentirebbe notevoli vantaggi soprattutto nella difesa fitosanitaria delle coltivazioni in aree montane impervie, ma non solo. Pertanto, i droni per l'irrorazione sono stati limitati per l'uso in agricoltura, ma i recenti progressi li rendono adatti ad applicazioni pratiche (Giles et al, 2016). Infatti, abbinati a telecamere ad alta risoluzione per il monitoraggio, questi droni possono eseguire operazioni di irrorazione sulla base di mappe di applicazione, eseguendo interventi mirati molto precisi. Sebbene la dimostrazione sia stata ampiamente realizzata in ambiti sperimentali, l'implementazione pratica su larga scala è ancora in sospeso (Paulus et al., 2025). In alcuni paesi europei, ad esempio Germania e Svizzera (Herbst et al., 2023; Anken et al., 2025) è già in atto un processo di apertura verso queste tecnologie, limitandone l'uso a contesti difficili da gestire con altri mezzi di difesa, come i terreni coltivati in zone fortemente declivi.

Rispetto ai primi aeromobili agricoli a pilotaggio remoto, che altro non erano che velivoli in scala derivati da veri e propri aeroplani o elicotteri nati per i trattamenti in agricoltura, i moderni droni agricoli, rappresentano un'evoluzione che poco ha a che fare con la vecchia generazione degli anni '80, impiegata per i trattamenti aerei. Si tratta pur sempre di sistemi che si librano in volo su spazi aerei e quindi soggetti a regolamentazioni ENAC e normative specifiche (Reg. UE 2018/1139; Reg. Delegato UE 2019/945; Reg. di Esecuzione UE 2019/947), ma diversamente dal passato, rappresentano vere e proprie tecnologie di precisione in grado di trattare in modo mirato anche piccole porzioni di terreno o singole piante con estrema accuratezza, grazie a sistemi GPS RTK e sensori LIDAR evoluti.

A fronte delle sempre più numerose emergenze fitosanitarie presenti sul territorio nazionale (Gotta et al., 2023; Prodorutti et al., 2024; Calì et al., 2025), che si sommano alle sempre maggiori fragilità di territori esposti all'azione dei cambiamenti climatici, oltre all'orientamento dell'Unione verso un nuovo Green Deal, l'agricoltura delle aree montane è alla ricerca di soluzioni innovative per affrontare efficacemente queste sfide. L'impiego del drone quale sistema di trattamento di precisione potrebbe risultare una soluzione per applicazioni a basso impatto, potendo ormai contare su ugelli rotativi in grado di polverizzare le gocce a dimensioni compatibili con quelle degli ugelli anti-deriva. Pertanto, le prime prove sperimentali svolte in Trentino nel 2025 con questo sistema di distribuzione sono orientate a confrontare i depositi ottenibili sulla vegetazione e fuori bersaglio di un drone agricolo rispetto a una irroratrice da frutteto.

MATERIALI E METODI

Valutazione comparativa dei depositi ottenibili sulla vegetazione

Per confrontare i depositi ottenibili sulla chioma dai due diversi sistemi di applicazione in valutazione si è operato in un frutteto di varietà Golden delicious con piante allevate a spindel al terzo anno dall'impianto. La fase vegetativa era caratterizzata da frutti in fase di ingrossamento di circa 40 mm, con piante alte circa 3 m.

Su quattro zone distinte della chioma sono stati applicati, mediante punti metallici per cucitrice, dei captatori di carta assorbente a diverse altezze e profondità, su entrambi i lembi fogliari (esposto al trattamento ed opposto) di sei foglie per ciascuna zona. Le quattro zone di campionamento erano collocate a circa 50 cm d'altezza sulla parte bassa e circa 10-15 cm dal tronco (parte interna) fino a circa 50-60 cm (parte esterna), mentre i captatori nella parte mediana erano posti ad un'altezza di circa 150 cm e quelli della parte alta a circa 190 cm, nella parte esterna. I quattro filari in prossimità del bordo del campo sono stati irrorati, simulando un trattamento (passata unica tra) con una soluzione tracciante, a concentrazione nota, contenente tartrazina. Ad asciugatura avvenuta i campioni (captatori di carta assorbente senza foglie) sono

stati raccolti ed ordinati in provette da laboratorio per la successiva fase analitica, con un totale di 48 campioni per ciascun sistema di applicazione.

Il drone (DJI Agras T25) era regolato per operare ad una velocità di crociera di 7 km/h con due ugelli rotativi azionati ad una velocità di rotazione compatibile per produrre gocce di dimensioni nominali di 280 µm di diametro ed un volume di applicazione pari a 150 L/ha. L'altezza di volo era impostata a 3 m sopra le piante. L'irroratrice con convogliatore d'aria a torretta era equipaggiata con 18 ugelli Albuz ATR bianchi operanti a 7 bar, lavorava ad una velocità di avanzamento di 7 km/h, per erogare un volume di miscela pari a 158 L/ha.

Valutazione comparativa delle dispersioni in condizioni di quasi totale assenza di vento

Per la valutazione comparativa delle dispersioni si è operato nel medesimo frutteto appena descritto. Quindi, sono state poste alcune piastre Petri a diverse distanze dai filari di bordocampo per determinare le dinamiche di deposizione fuori bersaglio. Inoltre, alcune aste con cartoncini assorbenti – distanziati un metro l'uno dall'altro e posti ad altezze da 1 a 6 metri – sono state utilizzate per valutare le dinamiche di dispersione in aria. Coerentemente con quanto previsto dai regolamenti locali sulle modalità di effettuazione dei trattamenti fitosanitari, si è cercato di operare in condizioni di quasi totale assenza di ventosità (velocità media < 1 m/s) anche per favorire una maggiore confrontabilità fra i dati raccolti.

Valutazione comparativa tra diverse modalità operative e regolazioni del drone

In un frutteto di varietà Royal Gala allevato a Guyot sono state successivamente messe a confronto diverse modalità operative e regolazioni del drone, allo scopo di individuare soluzioni migliorative, in termini di deposito sulla vegetazione, rispetto a quelle inizialmente prese in considerazione. Su quattro distinte zone della chioma sono stati applicati, dei captatori di carta assorbente a diverse altezze e profondità, su entrambi i lembi fogliari di otto foglie per ciascuna zona, per un totale di 64 campioni per ciascuna modalità di trattamento. La tesi di riferimento era quella con volo sul filare ad un'altezza di 3 m, ad una velocità di avanzamento di 7 km/h. Si è quindi operato in modo analogo a quanto descritto nel primo sottoparagrafo del presente paragrafo, per quanto attiene alle regolazioni di numero di ugelli azionati e dimensioni delle gocce. Le modalità utilizzate si differenziavano soprattutto in riferimento al passaggio del drone: sopra i filari, lateralmente ad essi (sopra l'interfilare) o trasversalmente. I principali parametri delle tesi testate sono riportati in tabella 1.

Tabella 1. Regolazioni e caratteristiche delle tesi testate nel confronto tra diverse modalità di trattamento nel frutteto di varietà Royal Gala allevato a Guyot

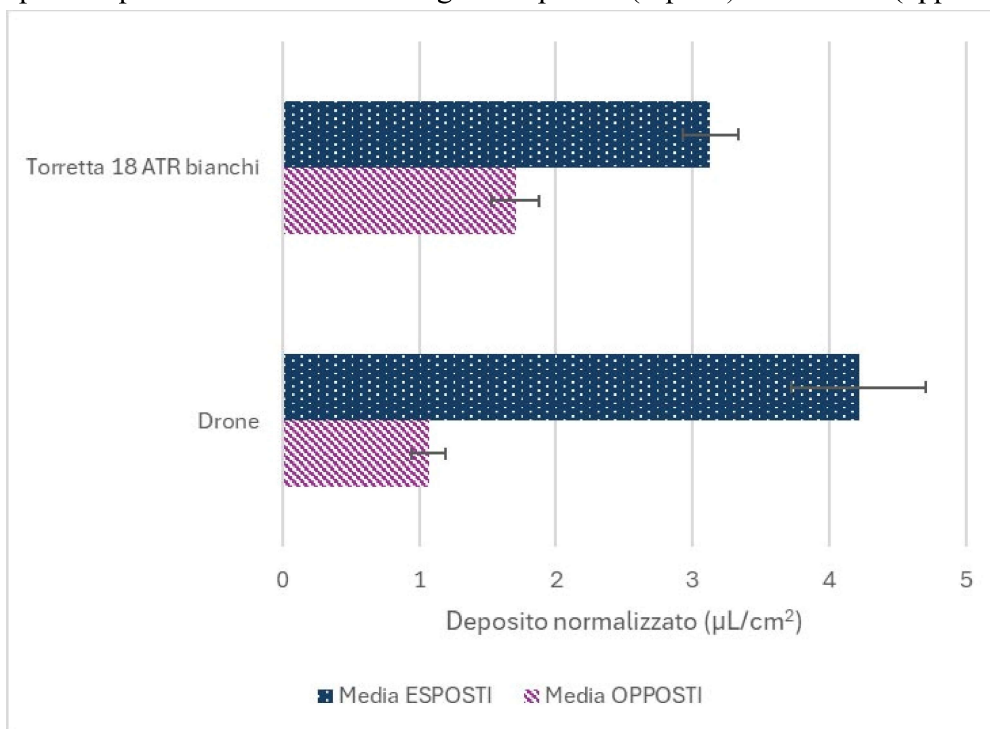
Tesi/modalità operativa	Velocità di avanzamento (km/h)	Tipologia piante	Interfilare (m)	Volume di applicazione (L/ha)
1 – Trasversale	7,0	Asse singolo	2,0	146,9
2 – Su filare, veloce	7,0	Biasse	2,1	149,7
3 – Su interfilare	7,0	Biasse	2,1	146,7
4 – Su filare, lento	5,0	Biasse	2,1	145,3

RISULTATI E DISCUSSIONE

Valutazione comparativa dei depositi ottenibili sulla vegetazione

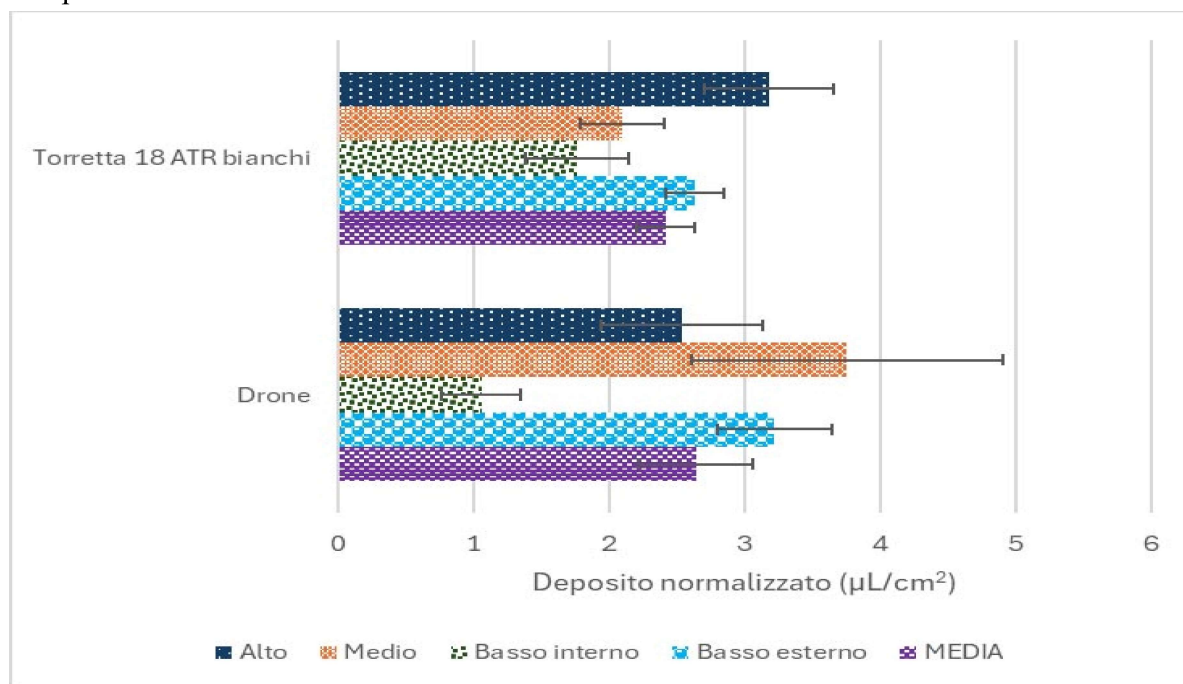
In figura 1 e 2 sono riassunti i risultati del confronto tra i depositi rinvenuti sui captatori posti sulla vegetazione con i due sistemi di distribuzione testati. In figura 1 sono rappresentate le medie ed i rispettivi errori standard calcolati su tutti i campioni raccolti nelle diverse zone della chioma, suddivisi per posizione sui lembi fogliari (esposti al trattamento ed opposti), mentre in figura 2 sono esplicitati i valori medi dei depositi ritrovati sui captatori per ciascuna posizione di campionamento con le due attrezzature in valutazione. Appare da subito evidente come i depositi prodotti sulla pagina inferiore delle foglie (opposti) nel caso del drone risultino più bassi rispetto a quelli generati dall'irroratrice ad aero-convezione dotata di convogliatore a torretta, inferiori mediamente di circa il 37%. Al contempo i ritrovamenti sulla parte esposta delle foglie sono risultati mediamente maggiori di circa il 35%.

Figura 1. Confronto tra depositi mediamente prodotti con le due attrezzature testate sui captatori disposti rispettivamente sui lembi fogliari superiori (esposti) ed inferiori (opposti)



Complessivamente il drone ha prodotto depositi mediamente superiori di circa il 9% rispetto all'irroratrice ad aero-convezione dotata di convogliatore a torretta. Tuttavia, la zona di campionamento in cui i depositi prodotti dal drone sono risultati in assoluto più scarsi rispetto all'irroratrice dotata di convogliatore a torretta è stata quella basale interna, con un calo di circa il 40%, denotando una notevole difficoltà di penetrazione da parte del flusso di goccioline nella vegetazione. Anche per la zona di campionamento più alta delle piante è stata evidenziata una riduzione media di circa il 20% per il drone rispetto all'irroratrice. Mentre nella parte mediana il drone ha fatto registrare un notevole aumento dei depositi medi, con una variazione percentuale positiva di poco al di sotto dell'80%, sebbene con una notevole variabilità e grazie soprattutto ai depositi sulla pagina superiore delle foglie.

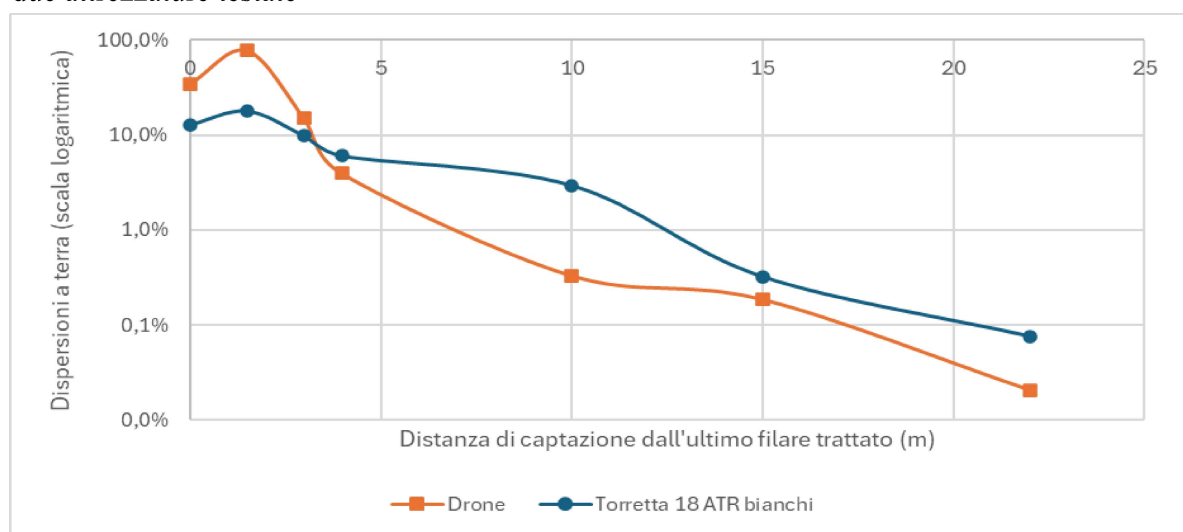
Figura 2. Confronto tra i depositi medi ritrovati sui captatori per ciascuna posizione di campionamento con le due attrezzature in valutazione



Valutazione comparativa delle dispersioni in condizioni di quasi totale assenza di vento

In figura 3 sono rappresentati gli andamenti delle perdite a terra delle due attrezzature messe a confronto. Sebbene si notino valori di picco particolarmente elevati per il drone in prossimità del filare – probabilmente in parte sovrastimati a causa della reale superficie captante delle capsule Petri con bordi rialzati e flusso della miscela rivolta verso terra – la curva mostra un’inversione di tendenza tra i 3 ed i 4 metri dal bordo del campo. Essa si mantiene poi costantemente al di sotto di quella dell’irroratrice fino ai 22 m, distanza massima a cui erano stati posti i captatori a terra.

Figura 3. Andamenti delle perdite a terra rinvenute nel confronto tra le dispersioni prodotte dalle due attrezzature testate



Relativamente alle dispersioni prodotte in aria (figura 4 e 5) è possibile osservare una sensibile riduzione dei ritrovamenti fatti registrare dal drone rispetto a quelli prodotti dall'irroratrice ad aero-convezione. Infatti, con l'unica eccezione rinvenuta a 4 metri di distanza dal filare di bordocampo, ad 1 metro d'altezza, gli andamenti delle curve dell'irroratrice hanno sempre superato quelli del drone, per tutte le distanze ed altezze di captazione. Da ciò emerge come questo mezzo per l'applicazione dei prodotti fitosanitari possa risultare conveniente anche in contesti in cui sia necessario preservare dalla contaminazione da prodotti fitosanitari zone sensibili alla loro deriva, grazie alla possibilità di erogare gocce di dimensioni controllate – ad es. medie o grossolane, quindi meno soggette a deriva – attraverso la regolazione degli ugelli rotativi in dotazione sui modelli di drone più recenti. Infatti, i risultati di altri studi hanno dimostrato che l'effetto del design del drone sulla deriva dello spray è relativamente basso rispetto a quello del tipo di ugello utilizzato e che gli ugelli a cono tradizionali (gocce fini) producono più deriva rispetto a quelli ad iniezione d'aria (spray grossolano) a ventaglio (Herbst et al., 2020). Inoltre, risulta opportuno osservare come le dispersioni registrate sul piano verticale a 4 m di distanza dal filare di bordocampo, sembrano suggerire che i parametri di regolazione scelti per l'irroratrice non fossero ottimali rispetto all'altezza della coltura, avendo determinato un picco di dispersioni all'altezza di 4 m, con valori molto elevati fino a 6 m.

Figura 4. Dispersioni a terra ed in aria prodotte dalle due attrezzature a confronto a 4 e 10 m dal filare di bordo campo

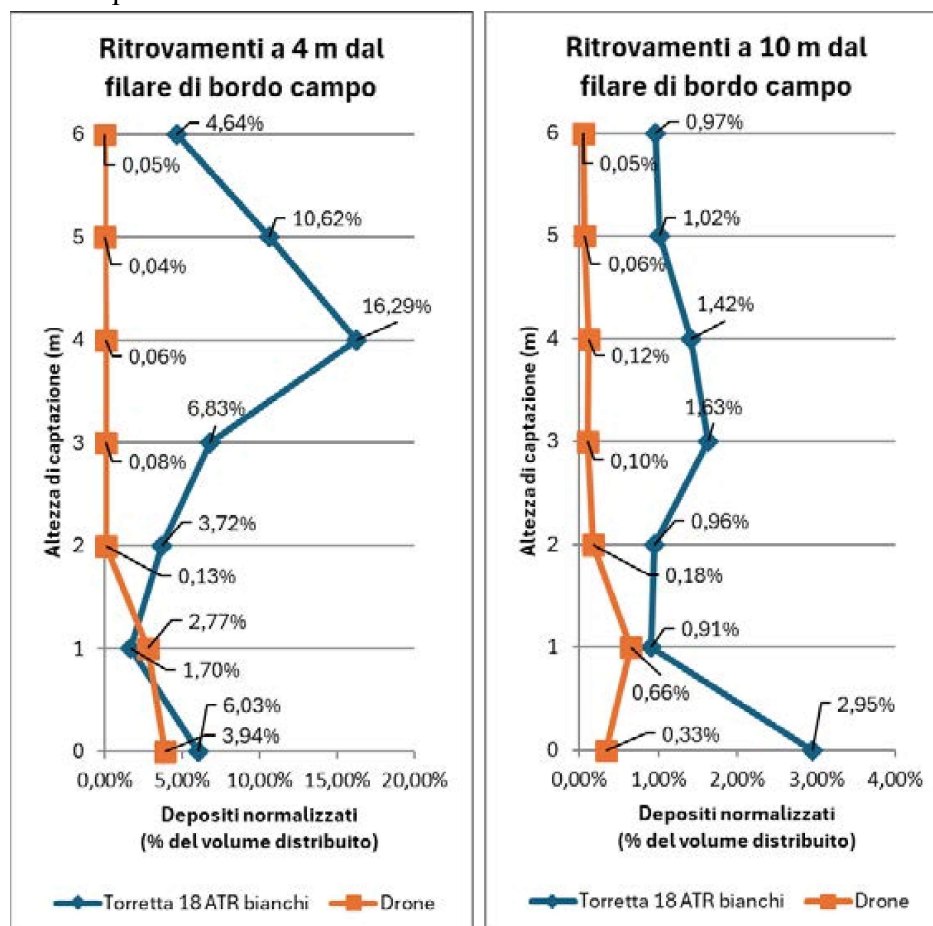
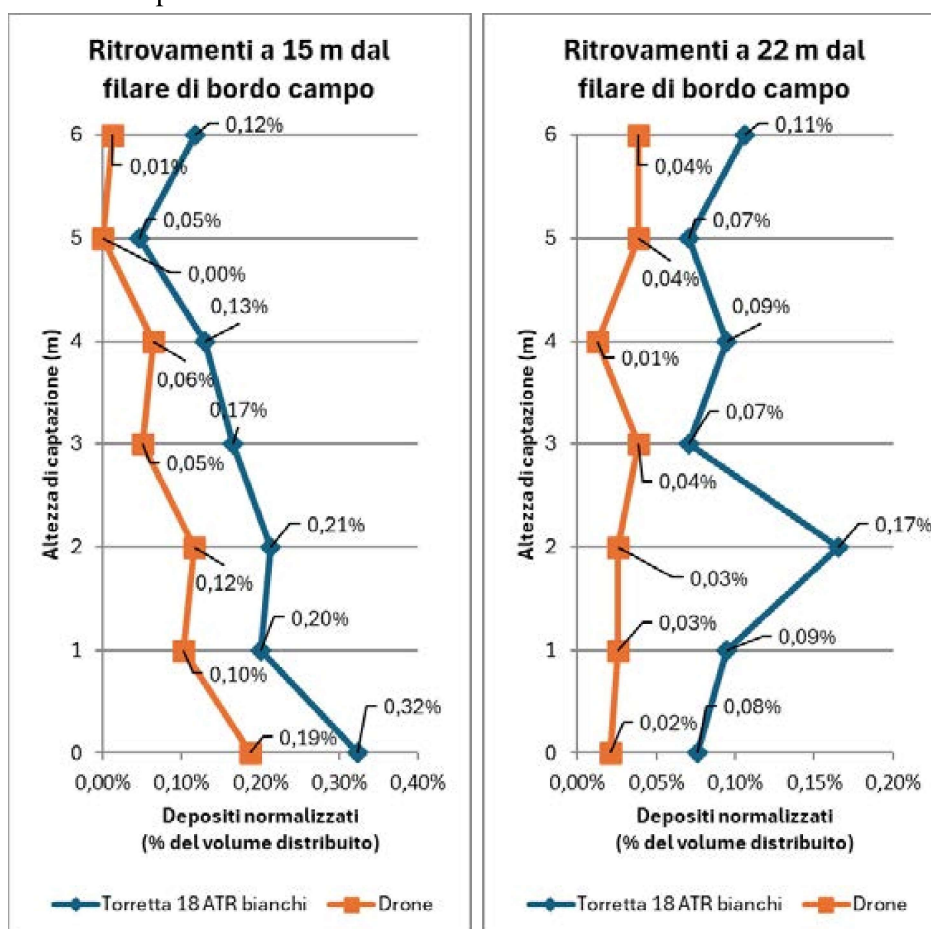


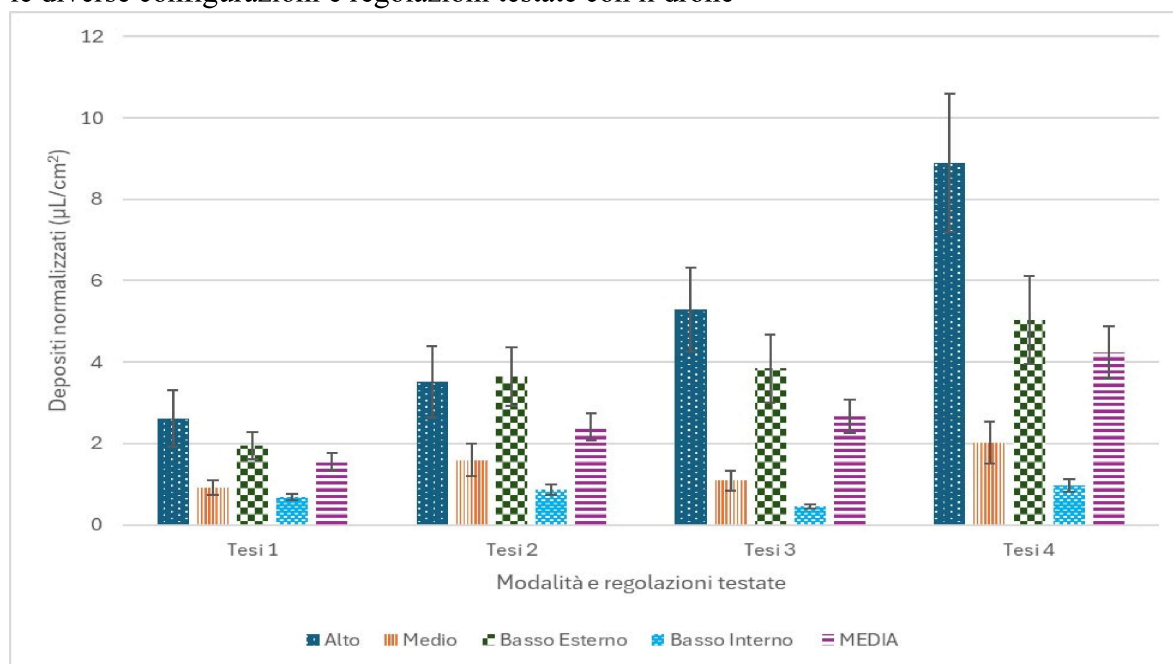
Figura 5. Dispersioni a terra ed in aria prodotte dalle due attrezzature a confronto a 15 e 22 m dal filare di bordo campo



Valutazione comparativa tra diverse modalità operative e regolazioni del drone

In figura 6 sono raffigurati i diagrammi dei depositi ottenuti con le diverse modalità operative adottate nel confronto. Rispetto alla regolazione di riferimento, con traiettoria sopra il filare e velocità di crociera di 7 km/h, la modalità con traiettoria trasversale ai filari, ha prodotto risultati di deposito generalmente più scarsi. Ciò risulta compatibile con altre esperienze condotte su vite (Biglia et al., 2022). La modalità con avanzamento interfilare ha prodotto incrementi tendenziali sulla parte alta e mediana della pianta, ma meno marcati nella zona basale interna ed esterna. La regolazione con velocità di crociera ridotta a 5 km/h ha consentito invece di ottenere incrementi generalmente più significativi per tutte le zone di captazione indagate (+76% medio). Ciò risulta in linea con alcune esperienze simili condotte su colture ad alto fusto e non (Ahmad et al., 2020; Wang et al., 2020; Sassu et al., 2024; Cinquemani, 2025) e fa emergere quanto sia importante la regolazione dei parametri di distribuzione (Biglia et al., 2022; Garcera et al., 2022) anche nel caso del drone per ottimizzare l'efficienza di applicazione della miscela. Sebbene i maggiori incrementi siano riscontrabili sulle zone della vegetazione in cui essi erano già più alti rispetto ad altre meno esposte al trattamento – +153% circa nella parte alta delle piante – grazie alla regolazione della velocità più bassa è stato possibile incrementare, seppur di pochi punti percentuali (circa 12,7%), anche i depositi nelle zone più profonde e difficili da raggiungere (parte basale interna delle piante).

Figura 6. Confronto tra i depositi medi ritrovati per ciascuna posizione di campionamento per le diverse configurazioni e regolazioni testate con il drone



CONCLUSIONI

I modelli più recenti di droni agricoli rappresentano vere e proprie tecnologie di precisione in grado di trattare in modo mirato i singoli o singole porzioni di filari di un frutteto. Il presente studio ha voluto mettere in luce alcune potenzialità di questi mezzi come possibili alternative alle irroratrici tradizionali. Le prime valutazioni sulle perdite fuori bersaglio hanno rivelato la possibilità di contenere le dispersioni di miscela in aria e più in prossimità del bordo del campo rispetto all'irroratrice ad aeroconvezione, adottando una regolazione del drone che prevedeva l'impiego di uno spray più grossolano rispetto a quello degli ugelli a cono vuoto montati sull'irroratrice. I primi risultati emersi dallo studio sulla formazione dei depositi in pianta hanno permesso di individuare alcuni limiti di questa tecnologia – nello specifico, parte inferiore delle foglie e zona basale interna delle piante – e di orientare gli studi successivi sulla regolazione e le modalità di trattamento per rendere più efficiente questo sistema come mezzo per la difesa delle colture. Le successive verifiche hanno permesso di individuare modalità d'impiego del drone in grado di incrementare il deposito medio sulla pianta. Futuri studi consentiranno di approfondire ulteriormente le modalità in grado di migliorare le prestazioni del drone nel produrre depositi sufficienti ed omogeneamente distribuiti sulla vegetazione al fine di garantire adeguati risultati di efficacia biologica dei trattamenti ed efficienza di applicazione.

Ringraziamenti

L'attività ivi descritta è stata supportata e realizzata con il contributo dell'Accordo di Programma Ricerca della Provincia Autonoma di Trento.

LAVORI CITATI

Ahmad F., Qiu B., Dong X., Ma J., Huang X., Ahmed S., Chandio F. A. 2020. Effect of operational parameters of UAV sprayer on spray deposition pattern in target and off-target zones during outer field weed control application. *Computers and Electronics in Agriculture* Vol. 172, 105350.

- Biglia A., Grella M., Bloise N., Comba L., Mozzanini E., Sopegno A., Pittarello M., Dicembrini E., Eloi Alcatrão L., Guglieri G., Balsari P., Ricauda Aimonino D., Gay P. 2022. UAV-spray application in vineyards: Flight modes and spray system adjustment effects on canopy deposit, coverage, and off-target losses. *Science of the Total Environment* 845, 157292.
- Cali M., Cappelletti E., Iacono S., Baschieri T., Bugiani R., Baroncelli R., Prodi A. 2025. Molecular and Morphological Insights into Emerging Colletotrichum Species Causing Apple Bitter Rot and Glomerella Leaf Spot in Northern Italy. *Plant Disease*, <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-24-2671-RE>.
- Cinquemani T. 2025. Altezza, velocità, volumi... cinque riflessioni sull'uso dei droni per l'irrorazione. *Agronotizie*, https://agronotizie.imagelinenetwork.com/difesa-e-diserbo/2025/01/10/altezza-velocita-volumihellip-cinque-riflessioni-sull-uso-dei-droni-per-l-irrorazione/86344?utm_source=notifiche&utm_medium=email&utm_campaign=notifica-azienda-7724&utm_content=kANArticolo-86344.
- Garcera C., Moltó E., Izquierdo H., Balsari P., Marucco P., Grella M., Gioelli F., Chueca P. 2022. Effect of the Airblast Settings on the Vertical Spray Profile: Implementation on an On-Line Decision Aid for Citrus Treatments. *Agronomy*, 12, 1462. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061462>.
- Giles D. K., Billing R., Singh W. 2016. Performance results, economic viability and outlook for remotely piloted aircraft for agricultural spraying. *Aspects of Applied Biology* 132, *International Advances in Pesticide Application*, pp. 15-21.
- Gotta P., Ciampitti M., Cavagna B., Bosio G., Gilioli G., Alma A., Battisti A., Mori N., Mazza G., Torrini G., Paoli F., Santoiemma G., Simonetto A., Lessio F., Sperandio G., Giacometto E., Bianchi A., Roversi P.F., Marianelli L. 2023. Popillia japonica –Italian outbreak management. *Front. Insect Sci.* 3:1175138. doi: 10.3389/finsc.2023.1175138.
- Herbst A., Bonds J.A.S., Wang Z., Wang C., Zeng A., He X. 2020. The influence of Unmanned Agricultural Aircraft System design on spray drift. *Aspects of Applied Biology* 144, *International Advances in Pesticide Application*, pp. 263-270.
- Herbst A., Glaser M., Bartsch K.-U. 2023. Spray drift from application of plant protection products with drones in vineyards. *Journal of Cultivated Plants / Journal für Kulturpflanzen*, 2023, Vol 75, Issue 5/6, 151 pp.
- Paulus S., Wree P., Al Masri A., Barreto A. 2025. Spraying Drones - Ready for practical agriculture. In: *Poster Proceedings of the 15th European Conference on Precision Agriculture*, June 29 – July 3, Barcelona, Spain. pp. 147-148. e-book publication. Universitat Politècnica de Catalunya. ISBN: 979-13-87613-57-0. <https://doi.org/10.5821/ebook-9791387613570>.
- Prodorutti D., Gualandri V., Phillion V., Stensvand A., Coller E., Pertot I. 2024. Pseudothecium development and ascospore discharge in Venturia asperata and V. inaequalis: relation to environmental triggers. *Phytopathologia Mediterranea* 63(3): 431-442. doi: 10.36253/phyto-15739.
- Sassu A., Psiroukis V., Bettucci F., Ghiani L., Fountas S., Gambella F. 2024. Unmanned aerial system plant protection products spraying performance evaluation on a vineyard. *Precision Agriculture* 25:2082–2112. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10155-8>.
- Wang C., Wang S., He X., Song J., Liu Y., Zeng A, Gao W. 2020. Design and test of aerial bipolar contact electrostatic spray system for UAV chemicals application in orchards. *Aspects of Applied Biology* 144, *International Advances in Pesticide Application*, pp. 279-287.