

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA, ANIMALI, ALIMENTI, RISORSE NATURALI
E AMBIENTE**

TESI DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**DISERBO DI PRECISIONE NEL MAIS: SARCHIATURA CON
TRATTORE E ROBOT A CONFRONTO**

Relatore:

Prof.ssa Roberta Masin

Correlatore:

Dott. Nebojša Nikolić

Laureando:

Alex Magnarello

Matricola n° 2007822

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

RIASSUNTO

Il controllo meccanico delle malerbe è una pratica agricola alternativa all'uso di fitofarmaci, che presenta vantaggi in termini di sostenibilità ambientale ed economica. Tuttavia, richiede una notevole quantità di lavoro e risorse, che possono essere ridotti grazie all'impiego di tecnologie innovative come i robot agricoli. Questa tesi si propone di confrontare le prestazioni del robot rispetto alla tradizionale trattrice agricola. I robot autonomi sono macchinari intelligenti e indipendenti, che sfruttano sensori, telecamere e sistemi di guida per operare nei campi senza l'intervento umano. La trattrice agricola invece fa parte delle attrezzature agricole tradizionali, che possono essere dotate di sistemi di automazione parziale.

La tesi si basa su una revisione della letteratura scientifica e su un esperimento condotto nella coltivazione del mais. L'esperimento svolto ha valutato l'efficacia della sarchiatura effettuata dal robot rispetto alla trattrice agricola e i risultati hanno mostrato che il robot autonomo ha avuto efficacia paragonabile a quella del trattore. Va sottolineato che il trattamento è stato un po' tardivo, con infestanti in stadio fenologico avanzato, a causa dell'abbondante piovosità di inizio stagione. Considerando anche che è stato il primo anno di sperimentazione, questo risultato risulta soddisfacente. Tuttavia, una maggiore tempestività di intervento potrebbe migliorare l'efficienza del controllo. Si prevede che ulteriori esperimenti saranno necessari per valutarne l'effettiva efficacia del robot in diverse condizioni, ma è possibile concludere dai risultati di questa tesi che i robot per il diserbo meccanico sono una soluzione promettente per l'agricoltura di precisione. Questi sistemi autonomi applicati all'agricoltura, sebbene siano già disponibili sul mercato, sono ancora attualmente in una fase di sviluppo che richiede ulteriori miglioramenti e adattamenti per soddisfare le esigenze e le preferenze degli utenti.

ABSTRACT

Mechanical weed control is an alternative agricultural practice to the use of pesticides, which has advantages in terms of environmental and economic sustainability. However, mechanical weed control requires a considerable amount of labour and resources, which can be reduced through the use of innovative technologies such as agricultural robots.

This thesis aims to compare the performance of the robot against the traditional agricultural tractor. Autonomous robots are intelligent, independent machines that use sensors, cameras and guidance systems to operate in the field without human intervention. The farm tractor, on the other hand, is part of traditional agricultural equipment, which can be equipped with partial automation systems.

The thesis is based on a review of scientific literature and an experiment conducted in maize cultivation. The experiment performed evaluated the efficacy of weeding carried out by the robot compared to the agricultural tractor. The results showed that the autonomous robots had comparable efficacy in weeding to that of the tractor. It should be emphasized that the treatment was delayed, with weeds in an advanced phenological stage, due to abundant rainfall at the beginning of the season. Considering that it was also the first year of experimentation, the result is satisfactory. However, greater timeliness of intervention could improve control efficiency. Further experiments are expected to be necessary to assess the actual efficacy of the robot in different conditions, but it can be concluded from the results of this thesis that robots for mechanical weeding are a promising solution for precision agriculture. These autonomous systems applied to agriculture, although already available on the market, are still currently in a developmental phase that requires further improvements and adaptation to meet the user needs and preferences.

SOMMARIO

RIASSUNTO.....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUZIONE.....	6
1.1 <i>Zea mays</i>	6
1.2 Le avversità di <i>Zea mays</i>	8
1.3 Piante infestanti e tecniche di controllo.....	10
1.5 Effetti negativi del diserbo.....	15
1.6 Robot agricoli.....	16
1.7 Scopo della tesi.....	19
2. MATERIALI E METODI.....	20
2.1 Robotti 150D.....	20
2.3 Campo sperimentale e lavorazioni svolte.....	23
2.4 Rilevamenti e misurazioni.....	27
2.5 Analisi statistiche.....	29
3. RISULTATI E DISCUSSIONI.....	30
4. CONCLUSIONE.....	40
BIBLIOGRAFIA.....	41

1. INTRODUZIONE

L'agricoltura è una delle attività umane più antiche e fondamentali, ma anche una delle più soggette a cambiamenti e innovazioni, in risposta alle sfide poste da fattori economici, sociali, ambientali e tecnologici (Balocchi, 2023). Tra le innovazioni più recenti e promettenti nel settore agricolo, vi è l'introduzione dei robot, ovvero di macchine automatizzate in grado di svolgere diverse funzioni in modo autonomo o semiautonomo, con il supporto di sensori, attuatori, algoritmi e comunicazioni. I robot agricoli possono avere molteplici applicazioni, tra cui la semina, la raccolta, la potatura, la mungitura, la zootecnia, la gestione del suolo e delle colture, il monitoraggio e il controllo delle malattie e delle infestanti (Meccagri, 2021).

In questo scenario, i robot agricoli possono offrire una soluzione innovativa e sostenibile, in grado di eseguire operazioni di monitoraggio, identificazione e trattamento delle infestanti in modo autonomo, preciso ed efficiente, riducendo i costi, i consumi e gli sprechi, migliorando la qualità e la sicurezza, e preservando le risorse naturali (Meccagri, 2021). Tra le colture che possono beneficiare maggiormente dell'utilizzo dei robot agricoli per il controllo delle infestanti, vi è il mais, che è una delle colture più importanti a livello mondiale, ma anche una delle più esposte al problema delle infestanti, che possono ridurre notevolmente la resa e la qualità del prodotto (Nespolo, 2022).

1.1 *Zea mays*

Zea mays, nota anche come mais, è originario del Centro America, dove è stato domesticato circa 10.000 anni fa dalle popolazioni indigene, che lo consideravano una pianta sacra e lo usavano come alimento di base.

Il mais si diffuse successivamente in Nord America, Sud America, Europa, Africa e Asia, grazie alle esplorazioni e agli scambi commerciali tra i vari continenti. Oggi il mais rappresenta uno dei cereali più importanti a livello mondiale, La produzione mondiale di mais raggiungerebbe i 1.147,5 milioni di tonnellate nel 2022-2023.

I principali paesi produttori di mais sono Stati Uniti, Cina, Brasile e Argentina, che insieme coprono oltre il 60% della produzione globale (USDA Foreign Agricultural Service, 2022).

Il mais (Figura 1) è una pianta annuale appartenente alla famiglia delle graminacee. Caratterizzato da un fusto eretto che può svilupparsi fino a 3 metri di altezza, presenta foglie lanceolate disposte in modo alternato lungo il fusto. La pianta di mais produce due tipi di infiorescenze separate: le pannocchie maschili e le spighe femminili. Le spighe sono avvolte da foglie protettive, denominate involucri, e racchiudono i chicchi di mais, ovvero i semi della pianta. Questi chicchi possono variare di colore, a seconda della varietà, e spaziare dal bianco, giallo, rosso, blu, nero fino a presentare sfumature multicolori. Ha molteplici usi, che vanno dall'alimentazione alla produzione di energia, dalla medicina all'industria (Maggiore & Agostini, 2018).

Il mais, con la sua ricca storia e una vasta diversità genetica, ha dimostrato grande adattabilità a varie condizioni ambientali e climatiche, sebbene predilige un clima temperato-caldo e terreni fertili e ben drenati. Questa pianta offre un elevato valore nutrizionale, essendo ricca di amido, proteine, vitamine, minerali e fibre. Può essere consumato in diverse forme: direttamente, come farina per produrre pane, pasta, dolci e frittelle; trasformato in polenta, un piatto tipico in alcune regioni italiane, ottenuta dalla cottura della farina di mais con acqua e sale; oppure trasformato in popcorn, chicchi di mais riscaldati che si gonfiano, diventando soffici e croccanti al momento della preparazione (Graizzaro, 2023).

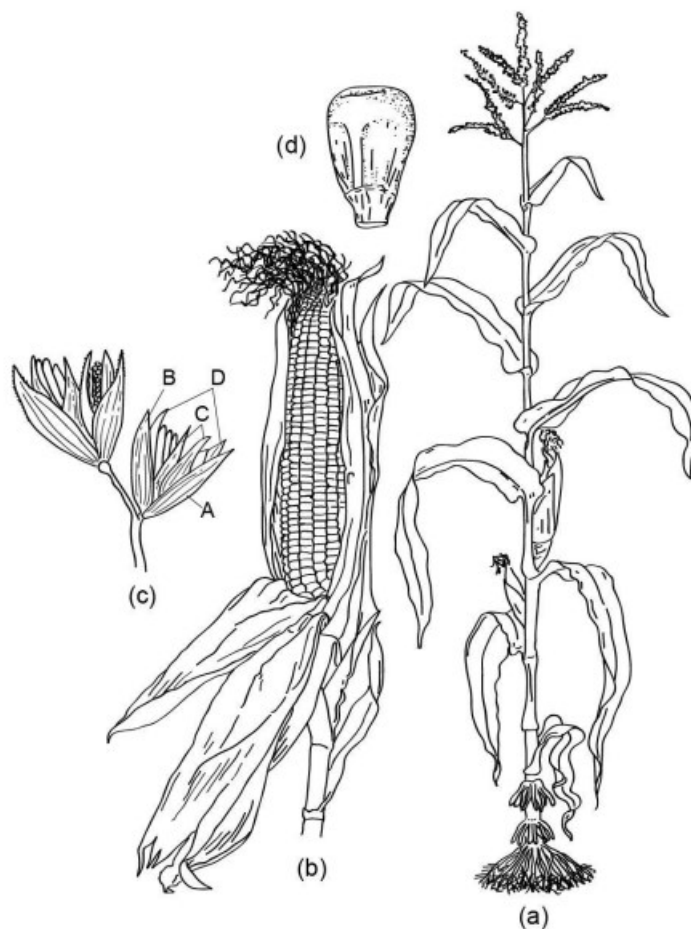


Figura 1. *Zea mays* a= pianta intera; b= spiga con brattee; c= spighette del pennacchio; A, B= glume; C, D= glumette; d= cariosside (Macolino, 2023)

Il mais riveste un ruolo fondamentale nell'alimentazione animale, adoperato come mangime soprattutto per bovini, suini, pollame e cavalli. Una fonte di energia, proteine, amminoacidi, vitamine e minerali per gli animali, contribuendo a migliorare la qualità di carne, latte e uova. Utilizzato in diverse forme, intero, macinato, in silos, insilato, ecc. (Miraglia & Brera, 2006; Toscan et al., 2015).

Il mais va oltre l'alimentazione, svolgendo un ruolo importante in diversi settori dell'economia e della società. Utilizzato per produrre energia, sia elettrica che termica, sfruttando la combustione dei residui della coltura

o la fermentazione dell'amido in etanolo. Il bioetanolo di mais rappresenta un combustibile ecologico che riduce le emissioni di gas serra (Giovanni, 2008), anche negli impianti di biogas, sfruttando la biomassa per generare biogas. Questo potrà poi essere utilizzato dall'impianto di cogenerazione per la produzione di energia elettrica e calore sottoforma di acqua calda (utilizzabile per teleriscaldamento) come in passato, oppure il biogas può essere purificato ed utilizzato come gas metano (immesso in rete) e CO₂ come si sta cercando di fare nei nuovi impianti (Interger S.p.A., 2023).

Nel mondo industriale, il mais si trasforma in olio, amido, zucchero, alcol, bioetanolo e altre sostanze. L'olio trova impiego nella frittura, conservazione, produzione di margarina, saponi e cosmetici. L'amido è fondamentale nella produzione di carta, tessuti, adesivi, dolcificanti e gelatine. Lo zucchero serve per sciroppi, caramelle, bevande, mentre l'alcol viene utilizzato in liquori, farmaci e solventi (Maggiore & Agostini, 2018). Il mais svolge un ruolo ecologico, contribuendo a produrre materie plastiche biodegradabili composte da polilattato (PLA), un polimero derivato dall'acido lattico, ottenuto dalla fermentazione dello zucchero di mais. Il PLA è utilizzato in imballaggi, bottiglie, sacchetti, stoviglie, giocattoli, filamenti per stampanti 3D (Maggiore & Agostini, 2018). Anche nel campo medico, il mais è sfruttato per la produzione di antibiotici, vaccini, sieri e altri farmaci.

In sintesi, rappresenta una risorsa fondamentale che offre opportunità e benefici all'umanità, sia come fonte di cibo, reddito, salute e sviluppo, meritando di essere valorizzato e preservato.

1.2 Le avversità di *Zea mays*

Il mais necessita di una gestione colturale finalizzata a massimizzare la produzione con caratteristiche qualitative elevate. Infatti, queste ultime sono fortemente influenzate dalle condizioni di sviluppo della coltura e dalla presenza di stress competitivi e nutrizionali a cui può andare incontro.

Le principali avversità del mais si possono dividere in tre categorie: fitopatologiche, entomologiche e infestanti (Panis, 2023; PANNACCI, 2005).

- Le avversità fitopatologiche sono quelle causate da agenti patogeni di natura fungina, batterica, virale o derivante da nematodi che possono attaccare le diverse parti della pianta, provocando malattie che si manifestano con sintomi variabili, come marciumi, macchie fogliari, carie, muffe, virosi e galle (Bergstrom & Nicholson, 1999). Alcune di queste malattie possono anche produrre metaboliti secondari tossici, come le micotossine, che rendono la granella inadatta al consumo (Miraglia & Brera, 2006). Tra le avversità fitopatologiche più diffuse e dannose per il mais si può citare la fusariosi, causata da diverse specie di *Fusarium*, che colpisce sia le parti aeree che le radici del mais, provocando marciumi della spiga, del fusto e del tutolo, carie della granella e produzione di micotossine, come la fumonisina e la deossinivalenolo. Le micotossine sono sostanze tossiche prodotte da alcuni funghi

che possono infettare il mais e causano diversi effetti nocivi sulla salute, come disturbi gastrointestinali, immunologici, neurologici e cancerogeni. Possiamo avere la presenza anche di peronospora, oidio, ruggine, carie (Blandino et al., 2009).

- Le avversità entomologiche sono quelle causate da insetti che possono danneggiare il mais sia direttamente, nutrendosi delle sue parti vegetative o riproduttive, sia indirettamente, veicolando agenti patogeni o favorendo le infezioni fungine (CRAVEDI, 2007).

Tra le avversità entomologiche più comuni e nocive per il mais si possono menzionare:

- La piralide (Figura 2), causata da *Ostrinia nubilalis*, che è una larva lepidottera che penetra nel fusto del mais, causando il suo indebolimento e la sua rottura, e che può anche infettare la spiga, causando la perdita di granella e la contaminazione da micotossine (Bing & Lewis, 1991).



Figura 2: *Ostrinia nubilalis* (Wikipedia, 2018)

- Il diabrotica (Figura 3), causato da *Diabrotica virgifera virgifera*, che è un coleottero che si nutre delle radici del mais, causando il loro danneggiamento e la loro riduzione, provocando allettamenti. L'adulto attacca le foglie e le spighe, nutrendosi delle setole causa la riduzione della resa e della qualità (Meinke et al., 2009).



Figura 3: *Diabrotica virgifera* (Ticino, 2023)

- L'elateride o ferretto (Figura 4), causato da *Agriotes spp.*, è un coleottero la cui larva si nutre delle radici del mais, soprattutto nelle prime fasi, causando il loro danneggiamento e la loro riduzione, ma solitamente portano a morte la pianta (Parker & Howard, 2001).



Figura 4: *Agriotes spp.* (Noah, 2023)

1.3 Piante infestanti e tecniche di controllo

Le infestanti sono piante indesiderate che competono con le colture per lo spazio, la luce, l'acqua e i nutrienti, causando danni diretti o indiretti. Le infestanti possono essere classificate in base a diversi criteri, tra cui il ciclo biologico, la morfologia, la famiglia botanica, il grado di infestazione, il tipo di danno e il metodo di controllo. Le infestanti possono essere annuali, biennali o perenni, a seconda della durata del loro ciclo vitale; possono essere monocotiledoni o dicotiledoni. Ci sono diverse famiglie botaniche, tra cui le più comuni sono le Chenopodiaceae, le Asteraceae, le Brassicaceae, le Cyperaceae, le Poaceae, le Fabaceae, le Polygonaceae e le Solanaceae (Bayer, 2017). Si differenziano infestanti primarie, secondarie o terziarie, a seconda della

frequenza e dell'intensità con cui si manifestano. Possono causare danni diretti, interferendo con la crescita e lo sviluppo delle colture, o indiretti, ospitando parassiti o malattie, o alterando la qualità del prodotto (Vidotto, 2013).

- Le Poaceae annuali sono piante monocotiledoni con ciclo biologico simile a quello del mais, che si sviluppano prevalentemente nelle semine anticipate, quando le condizioni termiche sono favorevoli.

Tra le Poaceae annuali più comuni e dannose per il mais si annoverano:

- *Echinochloa spp.*;
- *Digitaria spp.*;
- *Setaria spp.*;

- Le Poaceae perenni sono piante monocotiledoni che si riproducono sia per seme che per gemme profonde nel terreno portate da rizomi, bulbi, tuberi. Tra le Poaceae perenni la specie più comune e dannosa per il mais è:

- *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Figura 5)

Queste piante competono con il mais per luce, acqua e nutrienti, riducendo la sua biomassa e la sua resa. Inoltre, il sorgo selvatico presenta una notevole capacità di propagazione vegetativa tramite rizomi sotterranei, che gli conferiscono una elevata persistenza e difficoltà di eradicazione (Adama, 2022a).

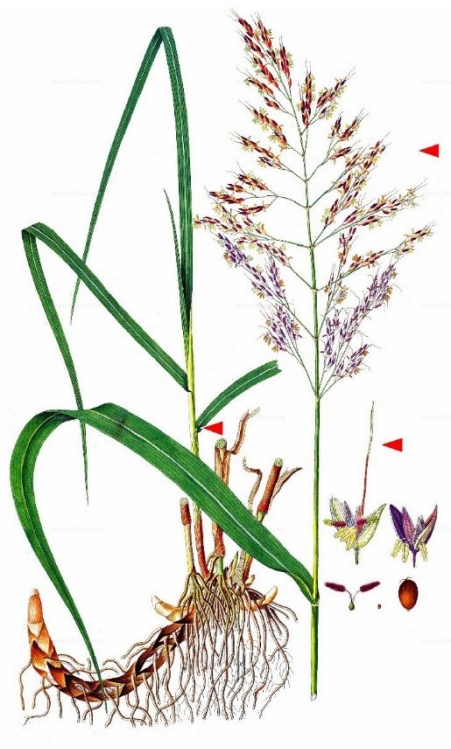


Figura 5: *Sorghum halepense* (L.) Pers. (I-flora, 2023)

- Le dicotiledoni annuali sono piante che si sono adattate anche ad avere un ciclo biologico più breve di quello del mais, si manifestano sia nelle semine anticipate che tardive o nei terreni poveri di concimazione.

Tra le dicotiledoni annuali più frequenti e nocive per il mais si citano:

- *Amaranthus spp.*;
- *Chenopodium spp.*;
- *Polygonum spp.*;
- *Papaver rhoeas L.*;
- *Veronica spp.*
- *Solanum nigrum L.* (Figura 6);

Queste piante interferiscono con lo sviluppo del mais, soprattutto nelle fasi iniziali, e possono causare problemi di raccolta e di qualità dell'insilato, in quanto possono alterare il pH, la fermentazione e il contenuto di sostanze azotate (Adama, 2022b).



Figura 6. *Solanum nigrum* L. (Matarrese, 2022)

- Le dicotiledoni perenni sono piante con ciclo biologico pluriennale, che possono infestare il mais in qualsiasi fase del suo ciclo, ma sono più problematiche nelle semine tardive o nei terreni umidi.

Tra le dicotiledoni perenni più diffuse e dannose per il mais si elencano:

- *Convolvulus spp.* (Figura 7);
- *Cyperus spp.*;

Queste piante hanno una elevata capacità di sopravvivenza e di propagazione, grazie alla presenza di organi di riserva sotterranei (rizomi, tuberi, bulbi). Possono ridurre la resa e la qualità del mais, oltre a favorire la presenza di insetti e malattie (Bayer, 2017; Ferrero, 2018).



Figura 7. *Convolvulus spp.* (Wikipedia, 2023)

Tutte queste infestanti possono provocare diversi effetti negativi sul mais, sia diretti che indiretti, tra cui:

- Riduzione della fotosintesi e della crescita della coltura: le infestanti possono ombreggiare il mais, riducendo la quantità di luce che riceve e, di conseguenza, la sua capacità di effettuare la fotosintesi e di accumulare biomassa. Inoltre, possono sottrarre al mais acqua e nutrienti, limitando la sua crescita e il suo sviluppo. Questi effetti sono più evidenti nelle fasi iniziali di sviluppo, quando la coltura è più sensibile alla competizione (Colombo, 2019).
- Interferenza con le operazioni meccaniche: le infestanti possono ostacolare le operazioni meccaniche di semina, raccolta e lavorazione del terreno, rendendole più difficili e dispendiose. Ad esempio, le Poaceae annuali possono impedire una corretta distribuzione dei semi di mais, causando una scarsa uniformità della coltura. Oppure, le dicotiledoni annuali possono intasare le macchine da raccolta, provocando perdite di prodotto e danni alle attrezzature. Infine, le graminacee annuali possono rendere necessarie più lavorazioni del terreno, per eliminare le infestanti e preparare il letto di semina, aumentando i consumi di carburante (Adama, 2022b).

- Diffusione di malattie e parassiti: le infestanti possono fungere da ospiti o vettori di diversi agenti patogeni, come funghi, batteri, virus, insetti e nematodi, che possono infettare il mais e causare gravi malattie. Ad esempio, le Poaceae annuali possono trasmettere il virus del mosaico del mais, attraverso insetti vettori, provocando una riduzione della fotosintesi e della produzione di amido, compromettendo la qualità del prodotto. Oppure, l'amaranto che è una dicotiledone annuale che può ospitare il fungo *Fusarium*, che produce delle micotossine, sostanze tossiche per l'uomo e gli animali, che possono contaminare il mais e renderlo inutilizzabile (Miraglia & Brera, 2006).
- Alterazione della qualità del mais: le infestanti possono influenzare negativamente la qualità della cariosside, sia per la presenza di semi di infestanti che per la contaminazione da micotossine. I semi di infestanti possono mescolarsi al mais durante la raccolta e la lavorazione, riducendo il peso specifico e il contenuto di amido del prodotto. Inoltre, i semi di infestanti possono alterare il sapore, il colore e l'odore del mais, rendendolo meno appetibile per l'uomo e gli animali (Toscan et al., 2015).

Questi appena elencati sono i principali motivi per cui si effettua il controllo delle malerbe nella coltura di mais, ma come in tante altre colture. Infatti, come già accennato, le infestanti sono una delle principali minacce per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura, in quanto le infestanti possono causare perdite di resa fino al 50% o più, a seconda della specie, della densità, della distribuzione e del periodo di competizione (Pannacci, 2004). Sin dal passato si è cercato di controllare le infestanti, notando che le colture con una minor percentuale di malerbe risultava più produttiva e con minori problemi di fitopatie (Vidotto, 2013). Il controllo delle infestanti si basa principalmente su due metodi: il controllo meccanico e il controllo chimico.

Il controllo meccanico si effettua mediante arature, erpicature, fresature, sarchiature o estirpazioni, che hanno lo scopo di eliminare le infestanti prima o dopo la semina, o durante lo sviluppo della coltura (Fogliatto, 2016). Il controllo meccanico nel mais richiede una buona preparazione del terreno, una corretta esecuzione delle operazioni, una adeguata tempistica e frequenza degli interventi, e una attenta valutazione dei costi e dei benefici. Tuttavia, presenta alcuni vantaggi, tra cui la riduzione dell'uso di prodotti chimici, il miglioramento della struttura e della fertilità del suolo, la prevenzione della compattazione, e la facilitazione delle operazioni successive. Ciò nonostante presenta anche alcuni svantaggi, tra cui la necessità di elevate quantità di lavoro, carburante e macchinari, il rischio di danneggiare le piante di mais, la difficoltà di raggiungere le infestanti tra le file o nelle fasi avanzate della coltura, e la limitata efficacia contro le infestanti perenni o resistenti (Pelosi, 2017).

Molto utilizzato nel mais è anche il controllo chimico, si effettua mediante l'applicazione di erbicidi che possono essere ad azione selettiva, utilizzato per liberare le colture da piante infestanti mirando dei processi specifici per bloccare lo sviluppo o portare alla morte della pianta bersaglio. Oppure ad azione non selettiva, erbicidi a contatto capaci di distruggere indiscriminatamente la vegetazione (Ferrero, 2018). Il diserbo chimico può essere effettuato in pre-emergenza, ovvero prima della comparsa delle piante infestanti per bloccare la

loro emergenza e lo sviluppo negli stadi iniziali. Oppure in post-emergenza, ovvero dopo l'emergenza delle piante infestanti. In questo caso lo scopo è quello di terminare le piante già presenti in campo mirando processi specifici all'interno della pianta (erbicidi selettivi), o distruggendo la superficie delle piante (erbicidi non selettivi) (Vidotto, 2013). Il controllo chimico nel mais richiede una buona conoscenza delle caratteristiche degli erbicidi, delle infestanti e delle colture, una corretta scelta dei prodotti, una adeguata modalità e dose di applicazione, una opportuna tempistica e frequenza degli interventi, e una attenta valutazione dei costi e dei benefici. Il controllo chimico presenta alcuni vantaggi, tra cui la rapidità e l'efficacia dell'azione, la possibilità di controllare le infestanti in qualsiasi fase della coltura, la riduzione del lavoro, del carburante e dei macchinari, e la facilitazione delle operazioni successive (Pelosi, 2017). Il controllo chimico presenta anche alcuni svantaggi, tra cui l'elevato costo dei prodotti, l'impatto ambientale e sanitario, il rischio di contaminazione del suolo, dell'acqua e dei prodotti, il pericolo di tossicità per le piante di mais, la possibilità di sviluppo di resistenza o tolleranza delle infestanti, e la necessità di rispettare i tempi di carenza e le normative vigenti per ridurre al minimo impatto ambientale e rischi per la salute (Gentilini, 2012).

1.5 Effetti negativi del diserbo

Le molecole degli erbicidi ma come tanti altri fitosanitari, dopo la loro scoperta, sono stati utilizzati (soprattutto nel passato) da personale poco informato su quello che distribuiva. Questo ha causato gravi danni sia alle persone ma anche all'ecosistema. Basti pensare che queste molecole venivano utilizzate come arma bellica, trovandole tuttora presenti nei terreni in quelle zone (Capriglia, 2008). Quello che li rende così pericolosi è la loro persistenza nel suolo, nelle acque e nel cibo che mangiamo. Infatti, una delle cause di malattie è il bioaccumulo nei tessuti (Gentilini, 2012). Un'indagine svolta dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) ha fatto notare che i residui di questi fitosanitari raggiungono le falde e tra questi ci sono molecole come la Triazina una molecola revocata molto tempo fa (ISPRA, 2023). Gli effetti nocivi esercitati sull'organismo possono essere di tipo endocrine disruptors (EDC), cioè che hanno la capacità di interferire con il funzionamento del sistema endocrino causando disfunzioni ormonali e della tiroide, e di conseguenza anche tutte quelle vie metaboliche che governano (Gentilini, 2012).

Un altro aspetto da non sottovalutare sono gli effetti sulla resistenza delle piante infestanti. La resistenza delle infestanti ai fitosanitari è un fenomeno che si verifica quando una popolazione di infestanti, sottoposta a ripetuti trattamenti con lo stesso fitosanitario o con fitosanitari con lo stesso meccanismo d'azione, seleziona gli individui che sono in grado di sopravvivere e riprodursi. Questi individui trasmettono i geni della resistenza alla progenie, aumentando la frequenza della resistenza nella popolazione. Questo fenomeno, noto come resistenza delle piante infestanti, è in costante aumento a livello globale e rappresenta una minaccia per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura. Tra le infestanti del mais che hanno mostrato resistenza ai fitosanitari, si possono citare alcune graminacee, come *Echinochloa crus-galli*, il *Sorghum halepense*,

Alopecurus myosuroides e *Avena sterilis*, e alcune dicotiledoni, come *Abutilon theophrasti*, il *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, il *Polygonum persicaria* e il *Solanum nigrum*. Il problema è che quasi tutte queste malerbe sono proprio infestanti del mais.

La protezione delle colture da parassiti, malattie e piante infestanti rappresenta una sfida costante per gli agricoltori, che devono garantire la qualità e la quantità dei loro prodotti. Tuttavia, l'uso dei fitosanitari, ovvero le sostanze chimiche impiegate per combattere gli organismi nocivi, è sempre più limitato dalle normative vigenti, che mirano a tutelare la salute umana e l'ambiente (Repubblica et al., 2014).

Perché questo avvenga c'è bisogno di una linea comune in tutta l'UE e in tutto il mondo che faccia utilizzare gli stessi criteri e le stesse etichette per identificare e descrivere i pericoli chimici. Il regolamento (CE) n. 1272/2008 relativo alla classificazione, all'etichettatura e all'imballaggio di sostanze e miscele (CLP) è stato adottato nel 2008. Queste poi sono state abrogate nel giugno 2015 e il 19 dicembre 2022 la Commissione ha proposto una revisione del regolamento, incentrata sulla comunicazione dei pericoli, sulle vendite online e sulle notifiche ai centri antiveleni. Infatti, il 31 marzo 2023 è stato adottato un atto delegato (regolamento (UE) 2023/707) che definisce le classi di pericolo, compresi gli interferenti endocrini. Nel 2009 è stato adottato un pacchetto sui pesticidi, composto dalla direttiva 2009/128/CE che ha imposto agli Stati membri l'obbligo di adottare piani d'azione nazionali (NAP) per definire gli obiettivi quantitativi, gli obiettivi generali, le misure e i tempi per la riduzione dei rischi e dell'impatto dell'utilizzo dei pesticidi sulla salute umana e sull'ambiente dal regolamento (CE) n. 1107/2009 relativo all'immissione sul mercato dei prodotti fitosanitari (Parlamento Europeo, 2023).

Nell'ambito del Green Deal europeo e in particolare della strategia "Dal produttore al consumatore" e di quella per la biodiversità, la Commissione adotterà provvedimenti per ridurre del 50 % l'utilizzo dei pesticidi chimici e il pertinente rischio, compreso l'utilizzo dei pesticidi più pericolosi, entro il 2030. A questo scopo il 22 giugno 2022 la Commissione ha approvato la proposta di revisione della direttiva sull'utilizzo sostenibile dei pesticidi che promuove un utilizzo maggiore di soluzioni alternative per proteggere i raccolti dai parassiti e dalle malattie (Commissione Europea, 2023). Questo scenario implica la necessità di trovare alternative efficaci e sicure ai fitosanitari convenzionali, come ad esempio i prodotti di origine biologica, le tecniche di lotta integrata e biologica, o le innovazioni tecnologiche per il controllo meccanico (Repubblica et al., 2014).

1.6 Robot agricoli

I robot agricoli sono macchine automatizzate che possono svolgere diverse operazioni agricole, come la semina, la raccolta, la potatura, la fertilizzazione e il diserbo. Questi robot possono aumentare l'efficienza, la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura, riducendo i costi di manodopera, il consumo di risorse e l'impatto ambientale (Balocchi, 2023).

I robot agricoli possono essere classificati in base al loro livello di autonomia, alla loro funzione e alla loro forma. Il livello di autonomia si riferisce al grado di intervento umano necessario per controllare il robot, ad esempio alcuni robot sono completamente autonomi e possono navigare, riconoscere e manipolare gli oggetti senza supervisione, mentre altri richiedono una guida remota o una programmazione predefinita.

I robot agricoli sono una tecnologia emergente che presenta diverse sfide e opportunità per il settore agricolo. Tra le sfide ci sono i costi elevati di sviluppo e manutenzione, la necessità di standardizzazione e regolamentazione, la sicurezza e l'affidabilità, la compatibilità con le infrastrutture esistenti e l'accettazione sociale (Claudia & Pasquale, 2018). Tra le opportunità ci sono la riduzione della dipendenza dalla manodopera, l'aumento della qualità e della quantità dei prodotti, la riduzione dell'uso di pesticidi e fertilizzanti, la conservazione delle risorse naturali e la mitigazione dei cambiamenti climatici. Tutto questo può avvenire perché in agricoltura esiste un'ampia variabilità dei terreni.

La variabilità dei terreni in agricoltura è un fenomeno che dipende da diversi fattori, come la composizione chimica, la tessitura, la struttura, la profondità, la pendenza, l'umidità, la temperatura e la vita microbica del suolo. Questi fattori influenzano le proprietà fisiche, chimiche e biologiche del terreno, determinando la sua fertilità e la sua capacità di sostenere le colture. La variabilità dei terreni comporta delle sfide per l'agricoltore, che deve adeguare le sue pratiche colturali alle diverse condizioni del suolo, al fine di ottimizzare la produzione e ridurre gli impatti ambientali.

Per affrontare la variabilità dei terreni, l'agricoltore può avvalersi di questi strumenti e metodi innovativi, come l'agricoltura di precisione, che consiste nell'applicare dosi e modalità di intervento variabili in funzione delle esigenze specifiche di ogni zona del campo. Per fare ciò, è necessario conoscere con accuratezza le caratteristiche del suolo, attraverso la mappatura georeferenziata, l'analisi chimica e la modellazione matematica. Questi dati permettono di creare delle mappe di prescrizione, che guidano l'agricoltore nella semina, nella concimazione, nell'irrigazione e nella difesa fitosanitaria.

L'agricoltura di precisione, basata sulla conoscenza e sul monitoraggio della variabilità dei terreni, viene resa possibile essenzialmente dall'utilizzo contestuale di tre tecnologie:

- **Sensori:** possono essere prossimali o remoti e sono strumenti addetti ad acquisire informazioni sull'ambiente circostante. Un esempio di parametro molto importante sono le onde elettromagnetiche riflesse dalla vegetazione che ci danno dei parametri riguardanti lo stato delle vegetazione, sulla produttività oppure sul terreno. I sensori sono classificati in base alla tipologia di sensore e in base alla macchina su chi vengono montati.
- **Mappe di prescrizione e DSS (Decision Support System):** le mappe di prescrizione sono delle visualizzazioni grafiche che esprimono la variabilità spaziale e temporale di una determinata coltura o di un determinato terreno, al fine di fornire delle indicazioni precise sulle quantità e i tempi di applicazione di input agronomici, quali fertilizzanti, irrigazione, fitofarmaci, ecc. Le mappe di prescrizione si fondano su dati raccolti da sensori, satelliti, droni o altre fonti, e possono essere

integrate con modelli matematici o statistici per simulare gli effetti degli interventi agronomici (Rossi, 2019).

I DSS sono dei sistemi software che integrano dati, modelli e conoscenza esperta per fornire supporto alle decisioni agronomiche. I DSS assistono l'utente nella valutazione di diverse alternative, nella previsione degli scenari futuri, nella risoluzione di problemi complessi e nel monitoraggio dei risultati (D'Antonio et al., 2021).

- **Macchine operatrici per la gestione variabile (GNSS e macchine operatrici a rateo variabile):** le macchine operatrici per la gestione variabile sono in grado di modulare la distribuzione di fattori produttivi, quali seme, concime, acqua e fitofarmaci, in funzione delle esigenze specifiche di ogni porzione di terreno, tenendo conto delle variabili ambientali, climatiche e colturali (Veneto Agricoltura, 2017). Per far ciò, le macchine operatrici per la gestione variabile sono equipaggiate con sistemi di localizzazione satellitare (GNSS), sensori di diverso tipo (per misurare il pH, l'umidità, la temperatura, la biomassa, ecc.), attuatori (per regolare il flusso e la direzione dei fattori produttivi) e software dedicati, che permettono la comunicazione tra le macchine e con una piattaforma cloud, dove vengono elaborati e archiviati i dati raccolti. In questo modo, le macchine operatrici per la gestione variabile possono seguire le indicazioni di mappe di prescrizione, che sono generate a partire dall'analisi dei dati provenienti dal campo e da altre fonti (come immagini satellitari, stazioni meteo, modelli agronomici, ecc.) (Agrimeccanica, 2021). L'obiettivo di queste macchine è di massimizzare la produzione agricola, minimizzando gli sprechi, i costi e l'impatto ambientale.
- **ISO11783:** noto anche come ISOBUS è uno standard internazionale che definisce un protocollo di comunicazione per lo scambio di dati tra veicoli e attrezzature agricole e forestali, basato sul protocollo SAE J1939 (che include il CAN bus). Questo standard consente di realizzare una rete di dati integrata e interoperabile tra dispositivi di diversi produttori, facilitando l'implementazione di funzionalità avanzate come il controllo automatico, la gestione dei dati, la diagnostica e la tracciabilità (Electronics, 2023).

L'implementazione di ISOBUS in trattrici e attrezzature consente di ridurre il numero di terminali specifici per ogni attrezzatura e di controllare qualsiasi attrezzatura da un unico terminale universale, che può essere montato sul veicolo o portato con sé. Il terminale universale fornisce un'interfaccia grafica utente standardizzata per l'operatore, che può accedere alle funzioni e ai parametri di ogni attrezzatura collegata. Inoltre, il terminale universale può comunicare con altri dispositivi ISOBUS, come sensori, moduli di controllo, dispositivi di memorizzazione e trasmissione dati (Agri-Motion, 2023).

1.7 Scopo della tesi

Al fine di migliorare il controllo meccanico delle piante infestanti, ricerca e industria hanno investito per innovare le tecniche di controllo cercando attrezzature che si avvicinassero il più possibile alle colture senza danneggiarle. Negli ultimi anni oltre ai miglioramenti delle trattrici agricole e delle attrezzature, per rendere il lavoro meno faticoso e più efficiente, si è assistito all'introduzione in agricoltura di sistemi automatizzati, come robot autonomi o semi-autonomi. Il Robot Robotti 150D e la sarchiatrice Rotosark di Oliver Agro sono stati il focus di questa tesi.

La ricerca si concentra sull'analisi dell'efficacia del diserbo meccanico, confrontando le prestazioni di un robot autonomo con le trattrici agricole convenzionali. Nello specifico, è stato condotto un esperimento mirato a esaminare e comparare la sarchiatura eseguita dalla sarchiatrice di precisione montata sul robot e quella eseguita con la medesima sarchiatrice portata dalla trattrice agricola. L'analisi ha considerato due diverse velocità di avanzamento al fine di valutare l'influenza di questo fattore sull'efficacia dell'operazione.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Robotti 150D

Robotti 150D è un robot agricolo innovativo, che può lavorare in autonomia su diversi tipi di colture. Questo robot fa parte della famiglia di robot Robotti, sviluppata dalla società danese AgroIntelli (Aarhus, Denmark), che offre soluzioni tecnologiche per l'agricoltura moderna. Robotti 150D è il modello più potente e versatile della gamma, ed è stato progettato per soddisfare le esigenze di agricoltori che vogliono ottimizzare le operazioni agricole e ridurre l'impatto ambientale (Vantage-Italia, 2023).

Robotti 150D è dotato di due motori diesel da 72 CV ciascuno, che alimentano una trasmissione idrostatica, che trasmette a terra la trazione attraverso 4 ruote motrici di cui le due frontali sterzanti, e una presa di forza (PTO) programmabile a 540 o 1000 rpm. Questa configurazione consente al robot di avere una potenza elevata e una trazione ottimale, oltre a una flessibilità nel montaggio degli attrezzi. Robotti 150D può sollevare fino a 750 kg di attrezzi attraverso un tradizionale attacco a tre punti. Ha una carreggiata regolabile da 1,65 a 3,65 metri (scelta in fase di acquisto in quanto non modificabile una volta assemblato), un interasse di 1.55m ed una altezza di 2.15m. Queste caratteristiche lo rendono adatto a lavorare su diverse tipologie di terreno e di coltura, come cereali, ortaggi, erba medica, patate, barbabietole, mais, ecc (Agrario, 2022; Agointelli, 2023).

Il robot è controllato da un computer che segue le istruzioni dell'utente e naviga sul campo con un sistema GPS di tipo RTK (precisione orizzontale pari a +/- 2,5 cm passo passo) (Trimble, 2023). Il computer è collegato a una piattaforma web, chiamata RoboTool, che permette all'utente di programmare le operazioni, monitorare lo stato del robot, visualizzare i dati raccolti e gestire la flotta di robot. Grazie all'avanzato software Robotti è in grado di calcolare le traiettorie di lavoro ottimali e più veloci per la lavorazione in quel preciso areale, con una maggiore efficienza di coltivazione e minori tare. Robotti 150D ha anche una telecamera e dei sensori (laser-scanner LiDAR) che gli consentono di rilevare gli ostacoli e di adattare la velocità e la direzione. Robotti 150D può lavorare in modo autonomo per diverse ore, grazie al suo serbatoio di carburante da 120 litri (Agointelli, 2023; Lazzari, 2022).

Robotti 150D ha un basso consumo di carburante, solo 3-6 litri all'ora, e un peso ridotto, circa 3.100 kg, che lo rendono più ecologico e meno dannoso per il suolo rispetto alle trattrici tradizionali. Il robot può eseguire diverse operazioni, come la semina, la concimazione, il diserbo, la raccolta, la mappatura, la misurazione, ecc. Robotti 150D può anche integrarsi con altri sistemi e dispositivi, come i droni, i sensori, le reti wireless e le applicazioni mobili (Vantage-Italia, 2023).

Per l'avviamento dei lavori come prima cosa c'è bisogno di programmare il piano di lavoro che avviene all'interno della Webapp Agointelli. Qui vengono stabiliti i limiti del campo su cui vengono eseguite le operazioni agricole. Questo permette di controllare il movimento del robot all'interno dell'area tramite

l'antenna GPS, riducendo la possibilità di incontri con ostacoli. Questo si può fare anche con lo stesso robot telecomandandolo tutt'attorno ai confini, cosicché riesca a registrare delle coordinate georeferenziate creandosi lui stesso il perimetro e quindi sia poi autonomo. Finita questa operazione si andranno ad inserire parametri tecnici riguardanti la macchina operatrice che si andrà ad utilizzare (larghezza, lunghezza, rpm della PTO se necessario e se necessita di sollevamento fisso o flottante), la lavorazione stessa (larghezza da lasciare dal confine, la velocità di lavoro). Il robot salva questi parametri, consentendo così, in future esecuzioni della stessa operazione con lo stesso strumento, di evitare la ripetizione di tutte queste fasi (Agrointelli, 2023).

Per manovrare e avviare il robot, è richiesto un telecomando remoto. Per precauzione, durante questa fase, la velocità è limitata a 10 km/h e l'operatore non dovrebbe allontanarsi per più di 150 metri. Questa procedura assicura la supervisione costante del robot; se superata la distanza stabilita, il robot si fermerà, richiedendo un riavvio manuale per riprendere le operazioni (Lazzari, 2022).

Il prezzo di acquisto è attorno ai 200.000 €. È un prezzo notevole visto il rapporto prezzo/potenza (circa 1350€ per CV) rispetto alle tradizionali trattrici agricole che si aggira attorno ai 1000€ per CV (hp) (Tricarico, 2022). C'è da mettere in considerazione però la grande disponibilità di elettronica e innovazione presente nella macchina.



Figura 8: Robotti 150D (Vantage-Italia, 2021)

2.2 Sarchiatrice Rotosark

La sarchiatrice impiegata in questa sperimentazione è la Rotosark, prodotta dall'azienda italiana Oliver Agro S.r.l. da oltre quarant'anni impegnata nella ricerca e nella produzione di attrezzature agricole all'avanguardia. Questa azienda offre una vasta gamma di macchinari personalizzati per soddisfare le specifiche esigenze di ogni cliente (Oliver Agro S.r.l., 2023).

La particolarità di questo marchio è stata la creazione di rotori in acciaio (Figura 9) per la sarchiatura, quest'ultimi sono stati i punti di svolta. Una sarchiatura molto più precisa, minor distanza lasciate tra le piante e l'organo lavorante, così da eliminare il maggior numero di infestanti possibili, ma molto più delicato con le colture in atto.

L'elemento di lavoro con i 2 rotori contrapposti è posto sopra la fila, garantendo una maggiore uniformità e ottenendo una maggiore precisione e vicinanza rispetto ad un elemento posto sull'interfila. Infatti, i rotori Rotoblizz lavorano a soli 2 cm da essa, grazie alla loro forma tonda e al loro posizionamento (uno contrapposto all'altro) mantengono la pianta eretta senza arrecare danni né alla parte epigea né a quella ipogea. Le lame dei rotori ruotando per attrito con il terreno, alla profondità di 3-4 cm, frantumano la crosta superficiale e spostano verso l'interfila i germogli delle infestanti o le stesse (Oliver Agro S.r.l., 2023).

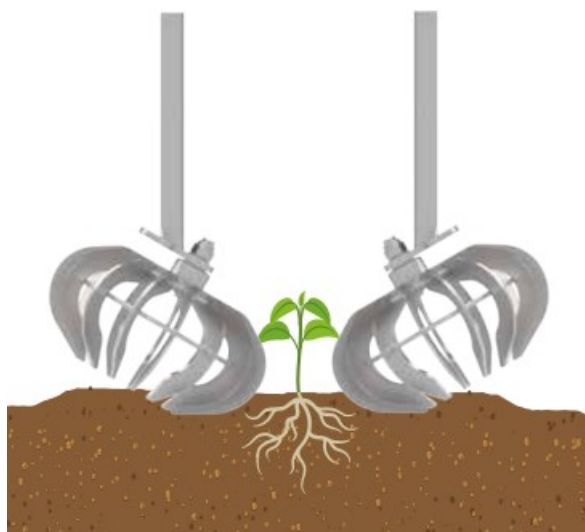


Figura 9. Rotori Rotoblizz con un'inclinazione di 28°rispetto al terreno (Oliver Agro S.r.l., 2023)

Gli elementi (Figura 10) posti sul telaio di supporto sono costituiti da un parallelogramma, una molla, un longarone di supporto per i diversi utensili: due zappe anteriori, i rotori Rotoblizz, una coppia di zappe a coda di rondine. Ci sono anche accessori come i deflettori per il rinalzo della pianta. Il parallelogramma consente un movimento verticale dell'elemento mantenendo pur sempre una profondità equivalente di tutti gli organi. Sulle aste che formano il parallelogramma è agganciata una molla, questa serve per regolare il carico nel caso ce ne fosse bisogno; ad esempio, in terreni con un elevato contenuto di argilla dove gli organi di lavoro

faticano a penetrare. Poste anteriormente ai rotori troviamo delle zappe che hanno la funzione di rompi-crosta, nel mezzo i rotori e come terzo organo abbiamo la coppia di zappe a coda di rondine che hanno la funzione di lavorare il terreno restante nell'interfila.

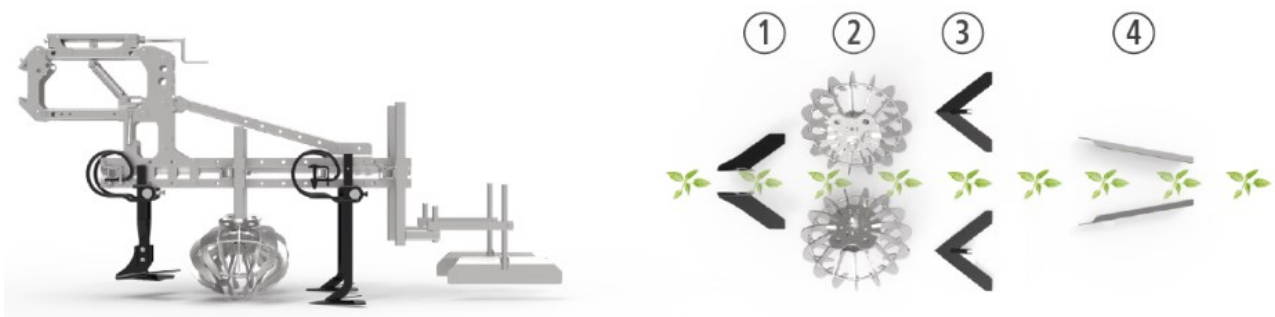


Figura 10. Conformazione elemento sarchiante (Oliver Agro S.r.l., 2023)

2.3 Campo sperimentale e lavorazioni svolte

Il campo sperimentale è situato nell'azienda sperimentale Lucio Toniolo dell'Università di Padova collocata nel comune di Legnaro (Figure 11 e 12). Il terreno ha una tessitura di tipo franco-sabbioso, quindi non particolarmente difficile da coltivare.



Figura 11. Geolocalizzazione campo sperimentale (Google earth)

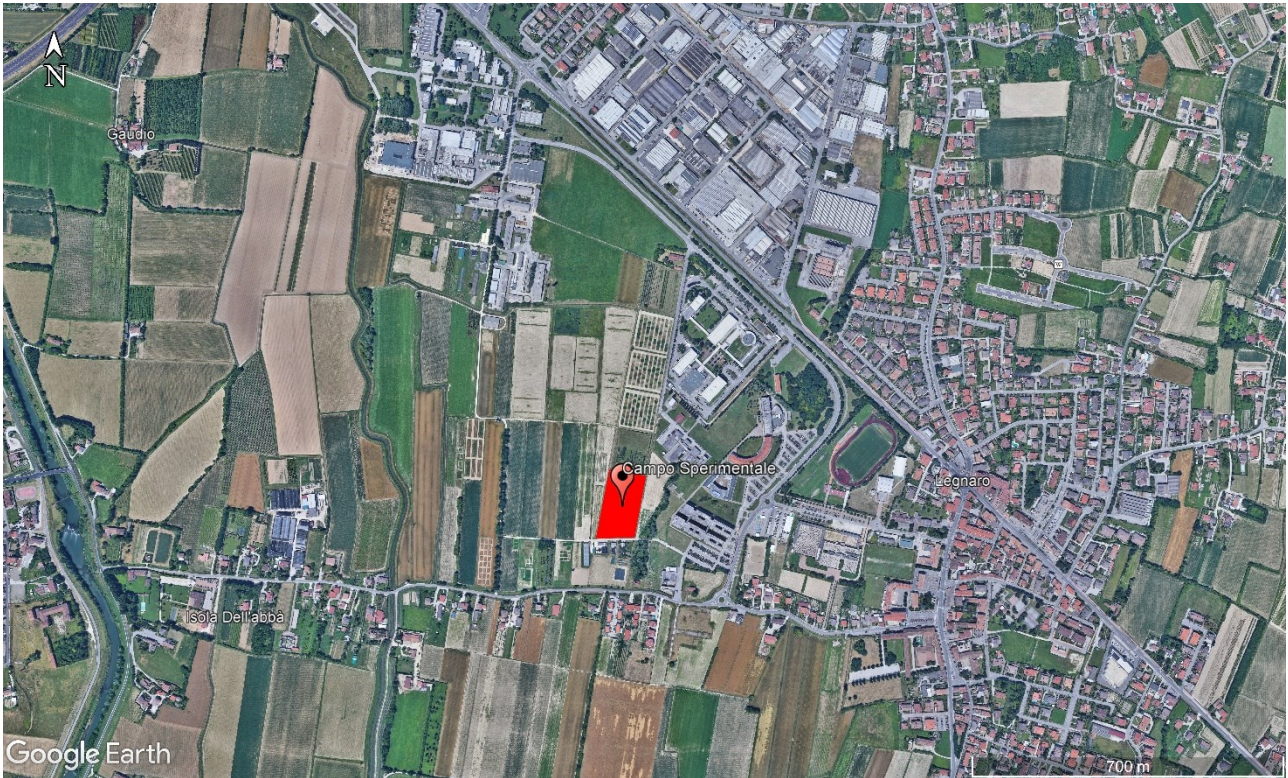


Figura 12. Localizzazione del campo sperimentale nell'Azienda Agricola L. Toniolo

Le temperature massime si aggirano tra i 19° e 31°C e le minime tra -1° e 6°C, quindi si può parlare di un clima temperato. Nel periodo dal 01/04/2023 al 30/09/2023, le precipitazioni medie sono state registrate intorno a 56 mm di pioggia (Weather Spark, 2023), risultando inferiori alle necessità idriche del mais (Assomais, 2018). Per compensare questa carenza, è stato adottato un sistema di irrigazione a goccia.

L'appezzamento ha una conformazione a trapezio rettangolo, con il lato più lungo che raggiunge i 150 metri e il lato più corto di 80 metri. Non presenta elementi che possano intralciare le operazioni, né della trattrice né del robot. Per garantire la massima coerenza è stato creato un disegno sperimentale con due blocchi, il terreno sperimentale è stato diviso in otto sezioni: quattro gestite con il robot e altrettante con il trattore. Sia il robot che il trattore hanno effettuato l'operazione di sarchiatura a due diverse velocità: 3 km/h e 5 km/h. I rilievi sulle malerbe sono stati fatti in tre aree di 1 m² ciascuna, individuate in ogni tesi, coprendo sia le zone perimetrali che quelle centrali. Questa suddivisione ha permesso di rilevare un totale di 24 aree di sperimentazione, 12 si trovavano nelle sezioni gestite dal robot e le restanti 12 nelle sezioni gestite dal trattore.

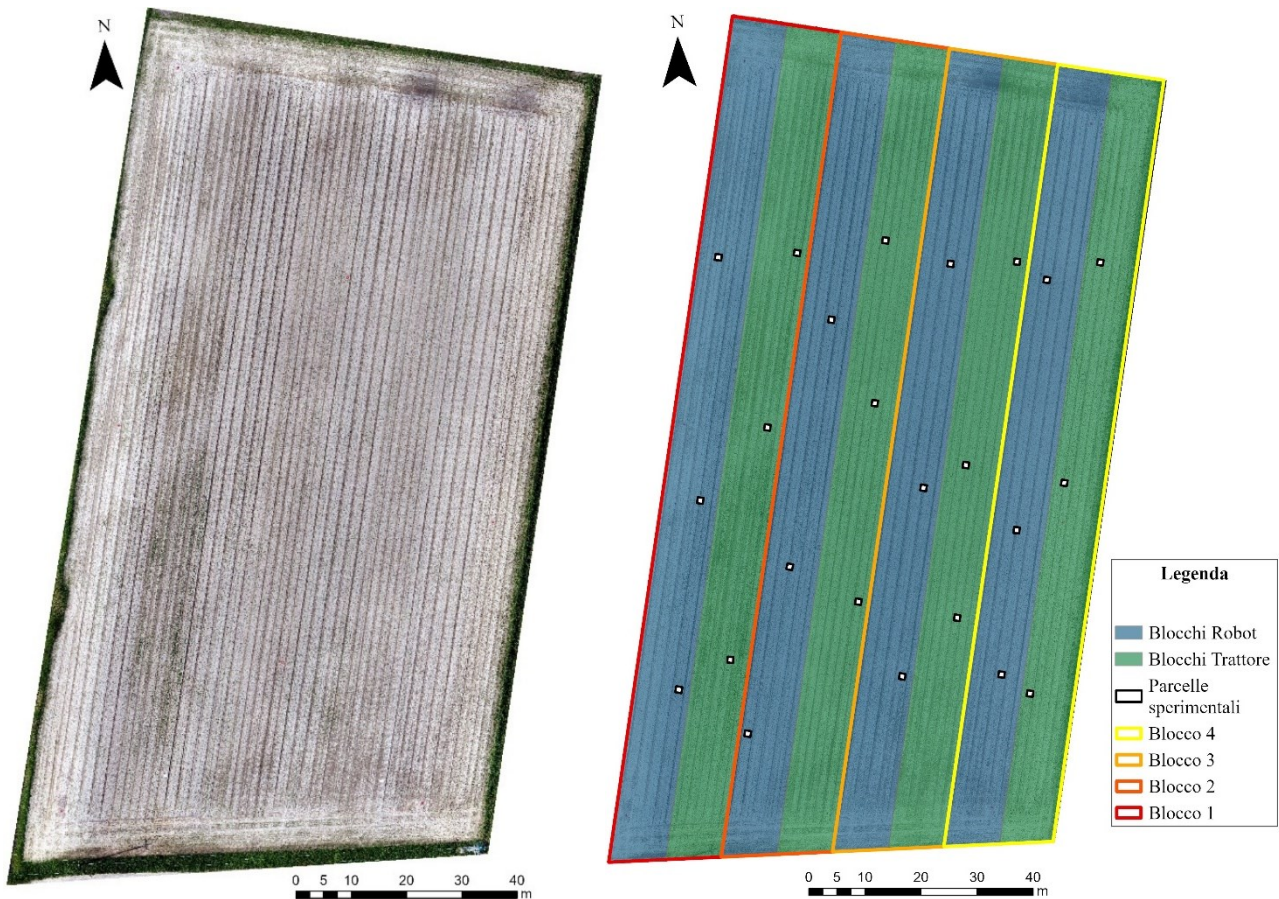


Figura 13. Suddivisione campo sperimentale e parcelle

Una volta tracciato lo schema sperimentale in campo, si è proceduto con la preparazione del letto di semina. L'appezzamento è stato arato completamente dalla trattrice agricola, ma dalle operazioni successive si è tenuto in considerazione la suddivisione trattore-robot. Le lavorazioni di affinamento del terreno, la semina e la sarchiatura si sono svolte sulle rispettive fasce dedicate ad ognuna dei mezzi. Mentre per la trattrice agricola è stato possibile agganciare ed utilizzare attrezzature agricole tradizionali, per il robot è stato necessario adattare le larghezze di lavoro alle limitazioni degli spazi interni del robot. Pertanto, per l'erpice rotante è stata utilizzata una larghezza di 2,1 metri, mentre per la seminatrice sono stati impiegati tre elementi per la semina di precisione con una distanza tra di essi ridotta di 5 centimetri. Di conseguenza, la distanza tra le file di mais era di 70 cm.

La sarchiatura è un metodo meccanico per eliminare le piante infestanti; si esegue tramite strumenti taglienti che tagliano e sminuzzano il terreno in superficie al fine di seppellire le piante infestanti ed esporre al sole le loro parti sotterranee. Il robot è stato equipaggiato con un sarchiatore Oliver "Rotosark" (Figura 14) composto da tre elementi di lavoro, come precedentemente illustrato (Figura 10). Anche in questo caso, come avvenuto per la seminatrice, è stato necessario adattare gli strumenti di lavoro per adattarli all'interfila di 70 cm. Per le operazioni eseguite con il metodo tradizionale, invece, è stata utilizzata una trattrice agricola abbinata a un

sarchiatore Oliver "Rotosark" con una larghezza di lavoro di 3 m (Figura 15). Questo dispositivo ha la particolarità di essere dotato di un telaio mobile guidato dall'operatore lungo le file di mais.

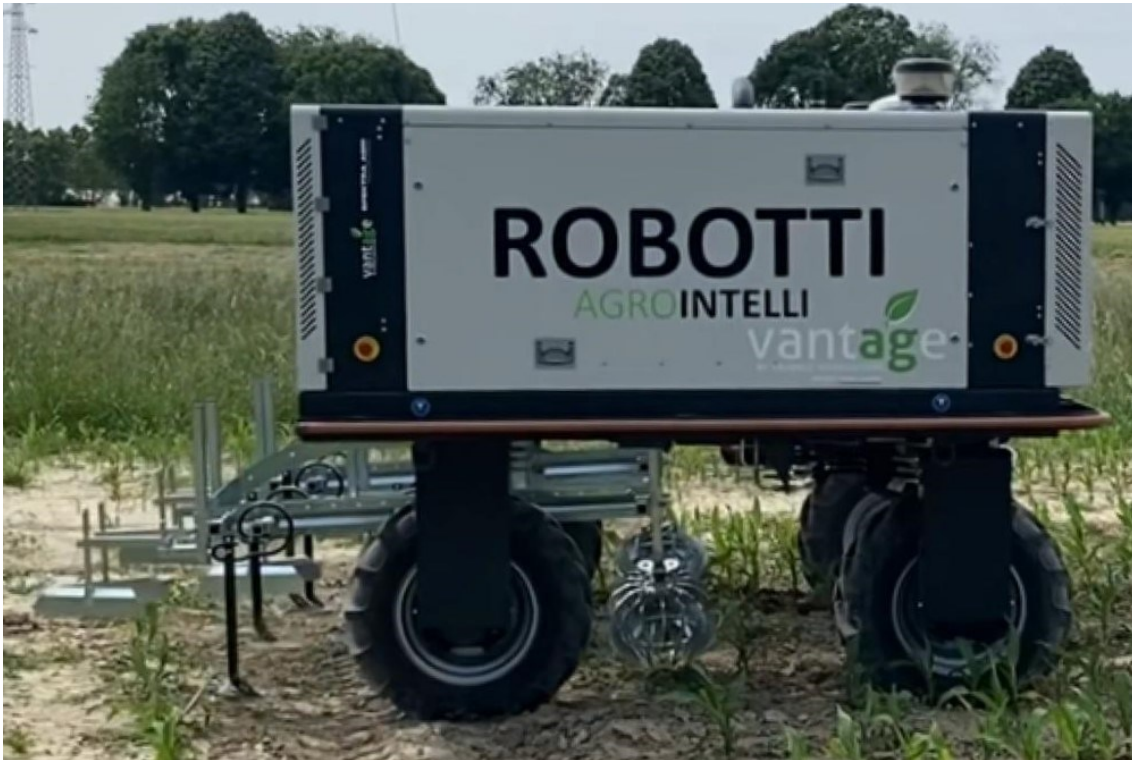


Figura 14. Robotti con sarchiatrice Oliver



Figura 15. Trattore agricola con sarchiatrice Oliver

2.4 Rilevamenti e misurazioni

La semina è stata effettuata in data 28 aprile 2023 e poche settimane dopo l'emergenza del mais, il 30 maggio 2023, le parcelle di 1 m² sono state identificate, misurate e delimitate con calce per stabilire il terreno su cui avrebbero avuto luogo le misurazioni. I rilievi effettuati prima e dopo la sarchiatura sono stati condotti acquisendo immagini di ciascuna delle aree sperimentali tramite la fotocamera da 12 megapixel di un iPhone 11 (Apple Inc., Cupertino, California, USA). Questo metodo di analisi dei dati è conforme con lo studio condotto da Benvenuti et al. (2006), che ne evidenzia l'importanza nella valutazione dell'impatto delle operazioni agricole sulla biodiversità delle infestanti. La raccolta di dati prima e dopo le pratiche agricole è essenziale per comprendere le variazioni nella composizione delle specie e identificare eventuali cambiamenti nella loro densità.



Figura 16. Foto della Parcella n.21 prima (a sinistra) e dopo (a destra) la sarchiatura. (30/04/2023)

Nelle immagini acquisite in campo, le piante infestanti sono state identificate attraverso il riconoscimento visivo di un esperto. Successivamente, le piante infestanti individuate nelle immagini sono state classificate e raggruppate per specie, sfruttando la funzione "Create Features" del software ArcGIS Pro (v3.2.1. ESRI ArcGIS Pro©). Questo processo è stato eseguito separatamente per ciascuna delle parcelle sperimentali. Come si può notare nella figura 17, ogni colorazione identifica una differente specie, mentre le dimensioni del cerchio indicano la grandezza della singola infestante.

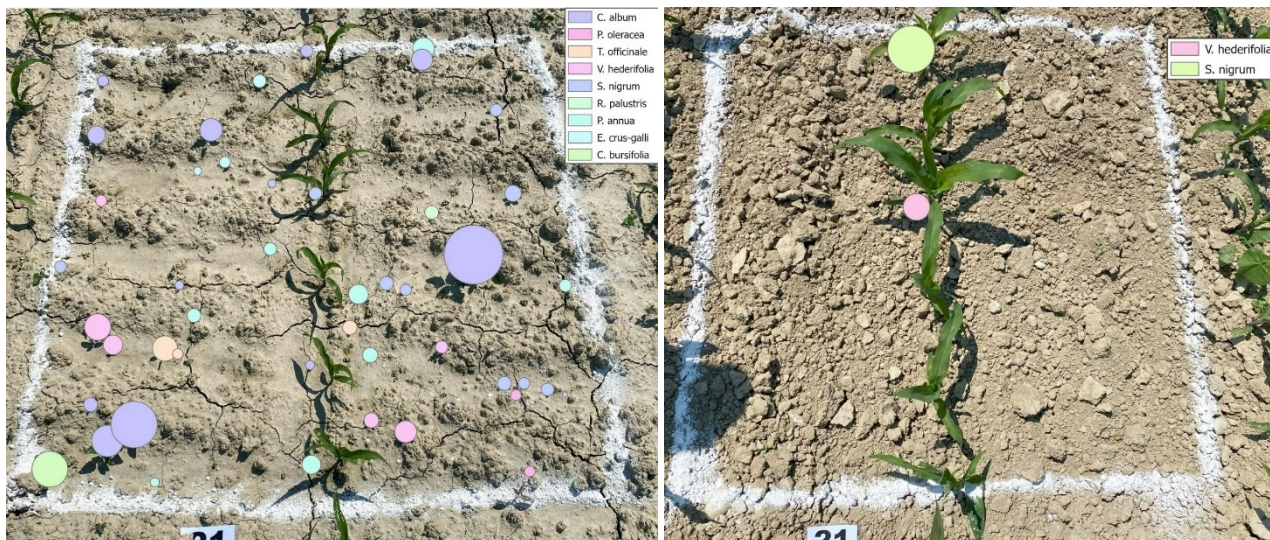


Figura 17. foto della parcella n.21 dopo l'identificazione con il programma GIS

L'utilizzo di questa metodologia ha consentito di ottenere sia la composizione floristica specifica di ciascuna parcella, sia la densità di ogni singola specie presente. Successivamente, al fine di valutare l'efficacia della sarchiatura, è stato eseguito un confronto tra la densità delle specie infestanti rilevate nelle immagini acquisite prima e dopo l'operazione di sarchiatura.

Poco prima del momento della raccolta del mais, in data 14 settembre 2023 è stata condotta un'ulteriore misurazione: tutte le infestanti presenti all'interno delle aree sperimentali sono state rimosse e raccolte. Questo ha permesso di raccogliere ulteriori dati e verificare quali infestanti sono rimaste o si sono sviluppate successivamente alla sarchiatura.



Figura 18. Raccolta infestanti in prossimità della raccolta (14/09/2023)

Dopo la raccolta, è stata eseguita la classificazione, il conteggio e il peso della biomassa di ciascuna specie individuata. Le diverse biomasse di ogni specie sono state suddivise, e tutti i campioni sono stati sottoposti a un processo di essiccazione in stufa a 105°C per 48 ore al fine di determinare il peso della sostanza secca.



Figura 19. Classificazione, conteggio e pesatura biomassa delle infestanti (14/09/2023)

2.5 Analisi statistiche

L'efficacia del diserbo è stata valutata attraverso l'analisi della densità di malerbe prima e dopo la sarchiatura, nonché tramite la misurazione della biomassa finale delle piante infestanti. I dati sono stati analizzati mediante un'analisi della varianza (ANOVA) a due fattori, considerando il mezzo e la velocità come fattori. Le differenze di efficacia nei confronti delle diverse specie sono state valutate mediante il test t. Per esprimere la diversità della composizione floristica, sono stati utilizzati l'indice di Shannon, Evenness e Richness. Tutte le analisi statistiche sono state eseguite tramite il software statistico R (RStudio Team, 2023).

3. RISULTATI E DISCUSSIONI

Dall'esame delle immagini ottenute prima della lavorazione, sono state individuate 19 specie nelle parcelle gestite dal robot e 20 specie in quelle gestite dalla trattrice. In seguito all'analisi delle stesse parcelle dopo la sarchiatura, sono state riscontrate rispettivamente 7 e 8 specie nelle zone lavorate dal robot e dalla trattrice agricola (Tabella 1).

Tabella 1. Specie e densità delle infestanti trovate dalle osservazioni delle parcelle

Mezzo	Specie	Densità specie infestanti	
		Prima N piante/m ²	Dopo N piante/m ²
Robot	<i>Abutilon theophrasti</i>	0,08	0,00
	<i>Amaranthus retroflexus</i>	2,33	0,00
	<i>Chenopodium album</i>	9,50	0,58
	<i>Cirsium arvense</i>	0,50	0,00
	<i>Crepis brusifolia</i>	0,08	0,00
	<i>Datura stramonium</i>	0,75	0,00
	<i>Digitaria sanguinalis</i>	1,67	0,00
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	1,00	0,17
	<i>Persicaria maculosa</i>	1,67	0,25
	<i>Plantago major</i>	3,58	0,00
	<i>Poa annua</i>	2,33	0,00
	<i>Portulaca oleracea</i>	28,58	1,42
	<i>Rorippa palustris</i>	2,67	0,25
	<i>Solanum nigrum</i>	26,33	1,17
	<i>Sonchus oleraceus</i>	0,42	0,00
	<i>Sorghum halepense</i>	0,33	0,00
	<i>Stellaria media</i>	0,08	0,00
	<i>Taraxacum officinale</i>	0,25	0,00
	<i>Veronica hederifolia</i>	6,17	0,67
Trattore	<i>Amaranthus retroflexus</i>	4,17	0,00
	<i>Chenopodium album</i>	12,33	1,42
	<i>Cirsium arvense</i>	0,58	0,00
	<i>Crepis brusifolia</i>	0,17	0,17
	<i>Datura stramonium</i>	1,42	0,00
	<i>Digitaria sanguinalis</i>	0,58	0,00
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,75	0,00
	<i>Persicaria maculosa</i>	2,50	0,08
	<i>Plantago major</i>	5,33	0,17
	<i>Poa annua</i>	2,92	0,00
	<i>Polygonum aviculare</i>	0,33	0,00
	<i>Portulaca oleracea</i>	43,08	2,42
	<i>Rorippa palustris</i>	2,58	0,08

<i>Solanum nigrum</i>	19,75	1,50
<i>Sonchus oleraceus</i>	0,08	0,00
<i>Sorghum halepense</i>	0,08	0,00
<i>Stellaria media</i>	0,25	0,00
<i>Taraxacum officinale</i>	0,42	0,00
<i>Trifolium repens</i>	0,08	0,00
<i>Veronica hederifolia</i>	1,58	0,67

Le immagini acquisite prima della sarchiatura hanno rivelato differenze marginali tra le specie individuate nelle parcelle del robot e della trattrice agricola. Questi risultati sono in linea con uno studio di riferimento condotto da Montelucci (1961), che ha suggerito che la variabilità nella composizione delle specie vegetali può essere influenzata da diversi fattori, tra cui il tipo di attrezzatura utilizzata per la lavorazione del suolo. Utilizzando l'indice di Shannon, che fornisce un'indicazione della diversità delle specie, tenendo conto sia della ricchezza che dell'equità, è stato possibile valutare la biodiversità delle infestanti presenti nelle parcelle gestite dai due rispettivi mezzi (Tabella 2-3).

Tabella 2. Shannon diversity index Robot

Robot	
Shannon diversity index	1,93
Evenness	0,656
Richness (number of species)	19
Total number of individuals	1060
Average population size	55,8

Tabella 3. Shannon diversity index trattore

Trattore	
Shannon diversity index	1,84
Evenness	0,613
Richness (number of species)	20
Total number of individuals	1188
Average population size	59,4

Come si può osservare nelle tabelle 2 e 3, l'indice è leggermente inferiore nelle parcelle della trattrice agricola, ma non sono da ritenere differenze significative nella diversità delle specie. Questo dimostra che la disposizione spaziale delle parcelle non ha influito sull'efficacia della sarchiatura operata dai due mezzi. Per determinare l'efficacia del diserbo a livello specie, sono state scelte le principali infestanti tra quelle elencate nella tabella 1. Questo approccio alla selezione delle principali infestanti, eseguito successivamente, è una pratica consolidata nella valutazione dell'efficacia delle operazioni di diserbo meccanico. Nello studio di Anderson et al. (2002), è stato sottolineato come la scelta di specie specifiche per l'analisi approfondita

possa fornire una visione più dettagliata delle prestazioni delle attrezzature agricole. D'altronde anche Consolini (2022), lo definisce come un passo essenziale per comprendere le dinamiche del controllo delle infestanti. Si può quindi concludere che questo approccio consente di valutare in modo più preciso l'impatto delle operazioni su specie specifiche, facilitando una valutazione più accurata delle prestazioni. I risultati sono presentati nella figura 20 e nella tabella 4.

Tabella 4. T test dell'efficacia per specie

Specie	p-value
<i>Chenopodium album</i>	0,70
<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,90
<i>Persicaria maculosa</i>	0,92
<i>Plantago major</i>	0,34
<i>Portulaca oleracea</i>	0,75
<i>Rorippa palustris</i>	0,84
<i>Solanum nigrum</i>	0,30
<i>Veronica hederifolia</i>	0,82

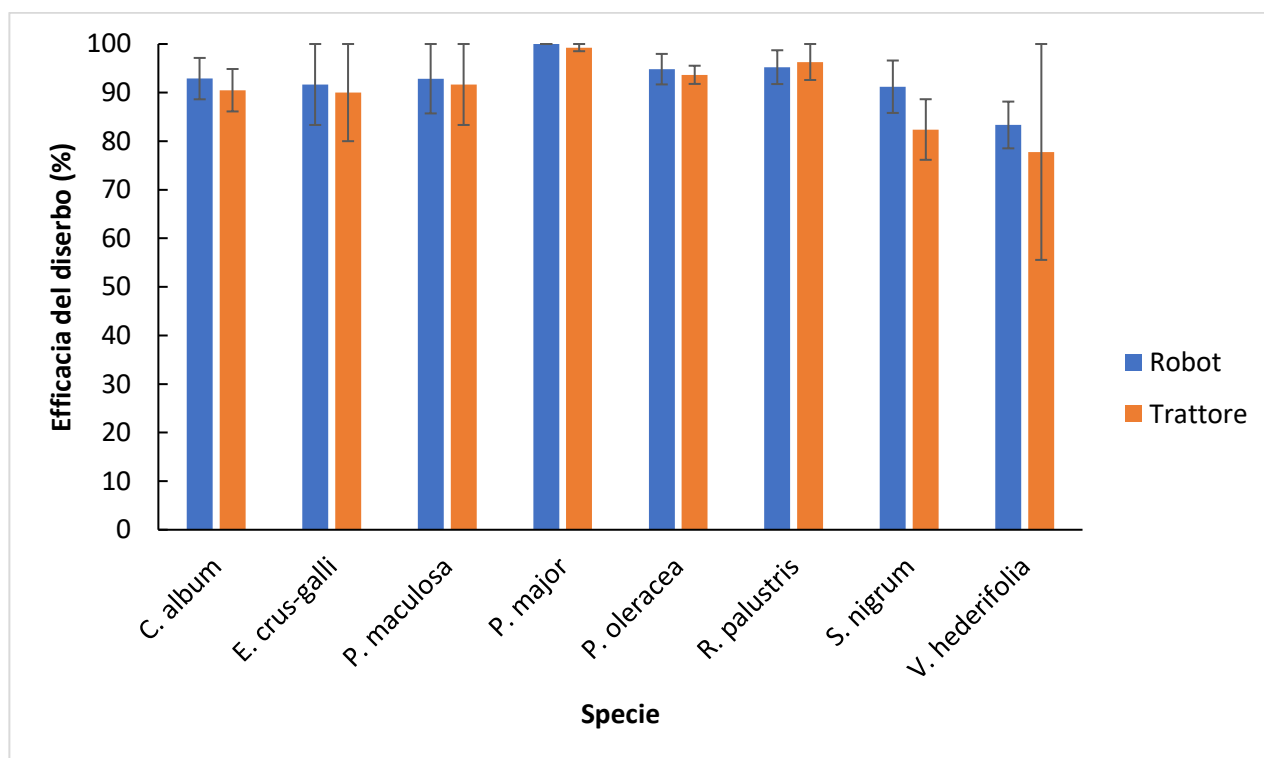


Figura 20. Efficacia diserbo per le diverse specie

Come si può osservare nella tabella 4, non ci sono differenze significative nella gestione specifica di determinate infestanti, ma piuttosto una uniformità di controllo su tutte le specie. I dati presenti nella figura 20 indicano chiaramente che il diserbo meccanico ha raggiunto un'efficienza superiore all'80% in entrambi i

casi. Questo è un ottimo risultato visto l'abbondante piovosità che ha portato a limitare l'entrata in campo ad una sola volta. Infatti, come consigliato dall'azienda Oliver, affinché le attrezzature lavorassero nelle migliori condizioni possibili, il terreno doveva essere soffice, tendenzialmente asciutto con una leggera crosta superficiale. Le infestanti non dovevano superare lo stadio della seconda foglia, poiché ciò avrebbe indicato una radicazione robusta e resa difficoltosa l'eradicazione (Agridea, 2020). Tutte queste caratteristiche avrebbero portato ad effettuare almeno due passaggi o più.

L'osservazione che il diserbo meccanico ha raggiunto un'efficacia superiore all'80%, nonostante il meteo, trova riscontro nei lavori di altri autori (Campagna e Meriggi, 2011). Questi autori hanno sottolineato l'importanza di adattare le pratiche di diserbo alle condizioni meteorologiche, indicando che, se ben pianificate, tali operazioni possono mantenere elevate prestazioni anche in situazioni avverse. Il richiamo alle indicazioni dell'azienda Oliver, in merito alle condizioni ideali del terreno per il funzionamento ottimale delle attrezzature, è in linea con le raccomandazioni di esperti nel settore, come descritto da Agricultural Engineering International: CIGR Journal (Agridea, 2020; Chandrakumar et al., 2023). La considerazione della qualità del terreno è essenziale per massimizzare l'efficacia delle attrezzature agricole. Il limite imposto alla radicazione delle infestanti al secondo stadio fogliare, è stato oggetto di approfondite ricerche, tra cui uno studio di (Deligios et al., 2010; Vidotto, 2013). Questi autori hanno evidenziato come il controllo delle infestanti nelle prime fasi di sviluppo possa portare a risultati migliori e ridurre la necessità di passaggi successivi.

Oltre che l'effetto sulle singole specie, è stata valutata l'efficacia di diserbo complessiva, prendendo in considerazione i diversi mezzi e le diverse velocità di sarchiatura (Tabella 5 e Figura 21).

Tabella 5. ANOVA efficienza per velocità

Fattore	gdl	SS	MS	F	p-value
Blocco	1	47.8	47.8	1.58	0.225
Mezzo	1	13.2	13.2	0.43	0.518
Velocità	1	1.8	1.8	0.06	0.811
Mezzo x Velocità	1	17.2	17.2	0.57	0.461
Errore	19	576.4	30.3		
Tot	23	656.3			

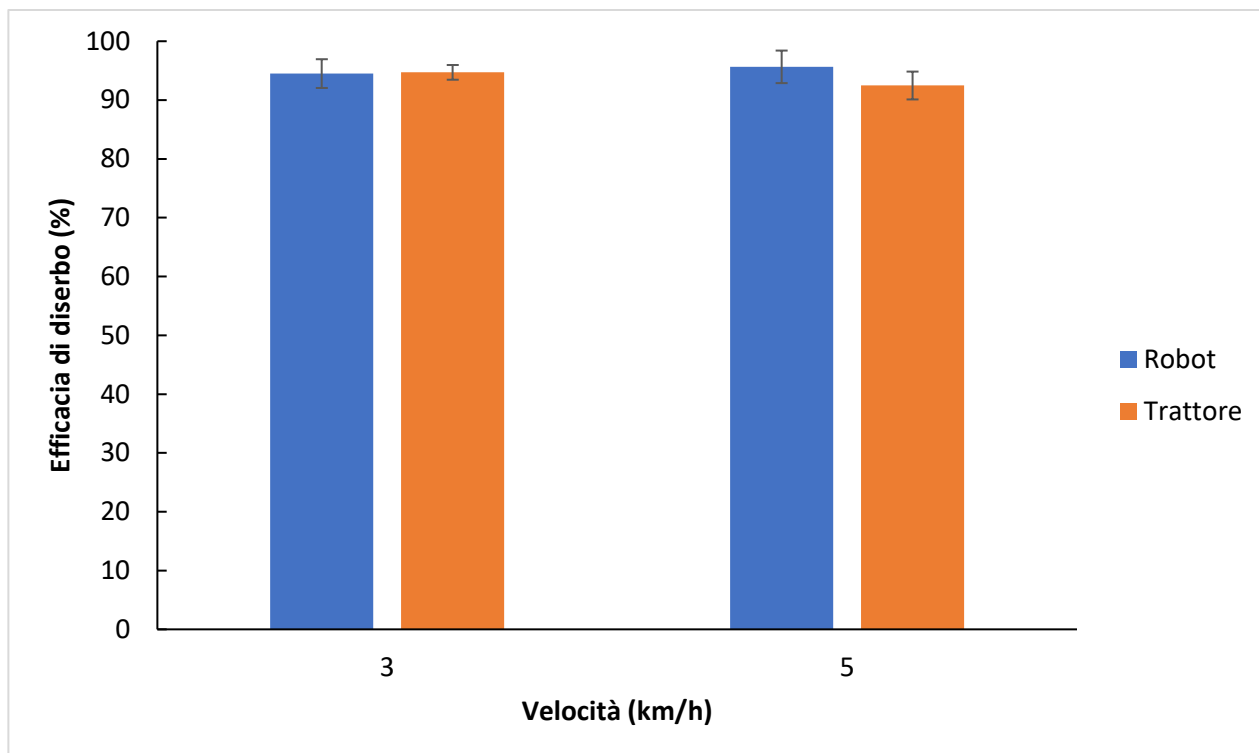


Figura 11. Efficacia rispetto alla velocità di sarchiatura

La comparazione delle parti sarchiate a diverse velocità e con diversi mezzi, è un'analisi importante per valutare le prestazioni del robot e della trattrice a diverse velocità di lavoro. Tale approccio è coerente con ricerche condotte da Gasparini (2022), che hanno affrontato la questione dell'influenza delle velocità di lavoro sul attrezzature agricole, evidenziando come la scelta della velocità possa essere cruciale.

I risultati ottenuti indicano che non ci sono delle differenze significative nell'efficacia del diserbo tra i due mezzi e le due velocità testate, come riportato nella tabella 5. Mentre dalla figura 21 possiamo osservare che in tutte le tesi testate, l'efficienza del diserbo ha superato i 90%.

Questo risultato potrebbe essere attribuito alle basse velocità impiegate; infatti, la limitazione della velocità di lavoro non è stata principalmente determinata dall'attrezzatura stessa, bensì dal robot. Le restrizioni di sicurezza del robot lo hanno limitato a una velocità massima di 5 km/h in campo. Naturalmente, per garantire la validità della sperimentazione, anche la trattrice è stata limitata alla stessa velocità di lavoro. Queste basse velocità potrebbero aver influito sulla prestazione ottimale del macchinario, generando una situazione in cui non si osservano significative differenze tra le due velocità. Considerando che il campo di robotica implementata al diserbo è ancora in sviluppo, risulta difficile trovare abbastanza dati per confrontare i risultati ottenuti. Paragonando i risultati sull'efficienza del diserbo ottenuti in questa tesi con altri dati disponibili, possiamo anche osservare l'avanzamento tecnologico in questa area. Così i dati ottenuti in questa tesi sono migliori di quelli ottenuti da Cutulle e Maja (2021), che hanno trovato l'efficacia di 15% e 80% su terreno disomogeneo e prevalentemente piatto, rispettivamente. Bisogna anche indicare che in questo lavoro gli autori hanno usato un mezzo molto meno potente di quello usato in questa tesi. Nel lavoro di Gerhards et al.

(2023), gli autori hanno confrontato l'efficacia del diserbo tra diversi robot e sarchiatrici trainate dal trattore. I nostri risultati per quanto riguarda l'efficacia ottenuto usando il robot sono paragonabili ai loro (93%), però i risultati ottenuti in questa tesi per il controllo con il trattore superano di gran lunga i loro (74%). Anche in questo caso la differenza può essere dovuta ai diversi attrezzi utilizzati, considerando che la sarchiatrice usata da Gerhards et al. (2023) non era la sarchiatrice di precisione. Inoltre, anche la velocità di lavorazione era più bassa rispetto alle nostre prove (2 km/h).

La riflessione sulla limitazione delle velocità di lavoro imposte dal robot e la loro influenza sulle prestazioni dell'attrezzatura trova riscontro in un lavoro di Fiala (2001). Questo studio ha evidenziato come le restrizioni di velocità, in particolare nel contesto dell'uso di robot agricoli, possano influenzare le dinamiche operative e la comparabilità tra diverse condizioni di lavoro.

Il dibattito sulla validità della sperimentazione a basse velocità è stato oggetto di esplorazione anche da parte di Khan et al. (2021). Questo lavoro ha affrontato la sfida di mantenere le basse velocità per garantire la sicurezza del robot, ma ha sottolineato la necessità di valutare attentamente l'impatto di queste restrizioni sulla prestazione dell'attrezzatura.

I dati derivanti dalla classificazione, pesatura ed essiccazione delle infestanti alla raccolta sono stati raggruppati nella tabella 6.

Tabella 6. Composizione floristica in prossimità della raccolta

Mezzo	Specie	N piante/m ²	peso medio (g)
Robot	<i>Solanum nigrum</i>	6,25	638,62
	<i>Chenopodium album</i>	1,17	262,25
	<i>Persicaria maculosa</i>	0,50	46,19
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,17	15,55
	<i>Portulaca oleracea</i>	1,50	43,47
	<i>Plantago major</i>	0,42	26,02
	<i>Taraxacum officinale</i>	0,08	7,99
	<i>Digitaria sanguinalis</i>	0,33	16,46
Trattore	<i>Chenopodium album</i>	1,00	269,56
	<i>Solanum nigrum</i>	5,42	469,16
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,75	31,47
	<i>Portulaca oleracea</i>	1,67	54,71
	<i>Taraxacum officinale</i>	0,50	15,87
	<i>Plantago major</i>	0,58	37,65
	<i>Amarathus retroflexus</i>	0,08	15,36
	<i>Persicaria maculosa</i>	0,25	12,01

Confrontando la tabella 1 e 6 è possibile identificare le infestanti che hanno resistito alla sarchiatura, valutando se il loro numero è rimasto invariato o addirittura aumentato. Questa analisi ci permette di

comprendere quali specie sono più persistenti e hanno risentito meno dell'operazione di sarchiatura, e quali, invece, si sviluppano in modo più tardivo, riuscendo a sfuggire al processo di diserbo.

L'analisi condotta sulla persistenza delle infestanti dopo la sarchiatura è un approccio indispensabile per valutare l'efficacia del processo Norsworthy et al. (2018).

La valutazione della persistenza delle infestanti è un argomento ampiamente discusso in studi come Deligios et al. (2010) e Norsworthy et al. (2018), che ha affrontato l'importanza di identificare le specie resistenti o persistenti nei confronti delle pratiche di controllo delle infestanti. La valutazione della persistenza delle infestanti, come indicato nella tesi, contribuisce anche alla comprensione delle dinamiche di evoluzione delle popolazioni di malerbe, come suggerito da Poudel et al. (2019). Questo studio ha esplorato come la pressione selettiva delle pratiche di controllo delle infestanti possa influenzare la composizione e la persistenza delle specie.

I risultati ottenuti dal Shannon Diversity Index (Tabella 7 e 8) indicano che la biodiversità all'interno delle parcelle gestite dal robot è leggermente inferiore rispetto a quella della trattrice.

Tabella 7. Shannon diversity index Robot

Robot	
Shannon diversity index	1,32
Evenness	0,635
Richness (number of species)	8
Total number of individuals	125
Average population size	15,6

Tabella 8. Shannon diversity index trattore

Trattore	
Shannon diversity index	1,49
Evenness	0,717
Richness (number of species)	8
Total number of individuals	123
Average population size	15,4

Esaminando però le tabelle 2 e 3, è possibile giustificare l'indice più elevato del robot, poiché, già all'inizio, era leggermente superiore.

Dalla sommatoria dei pesi medi (Tabella 6) risulta che nelle parcelle del robot erano presenti infestanti per un totale di 1056,54 g, mentre per la trattrice di 905, 79 g. I risultati indicano che non ci sono delle differenze significative tra le tipologie di gestioni (mezzo, velocità e interazione) (Tabella 9), come si può notare anche dalla figura 22.

Tabella 9. ANOVA Robot-Trattore

Fattore	gdl	SS	MS	F	p-value
Blocco	1	30917.8	30917.8	3.53	0.076
Mezzo	1	399.8	399.8	0.05	0.833
Velocità	1	7803.0	7803.0	0.89	0.357
Mezzo x Velocità	1	28.4	28.4	0.003	0.955
Errore	19	166569.2	8766.8		
Tot	23	205718.2			

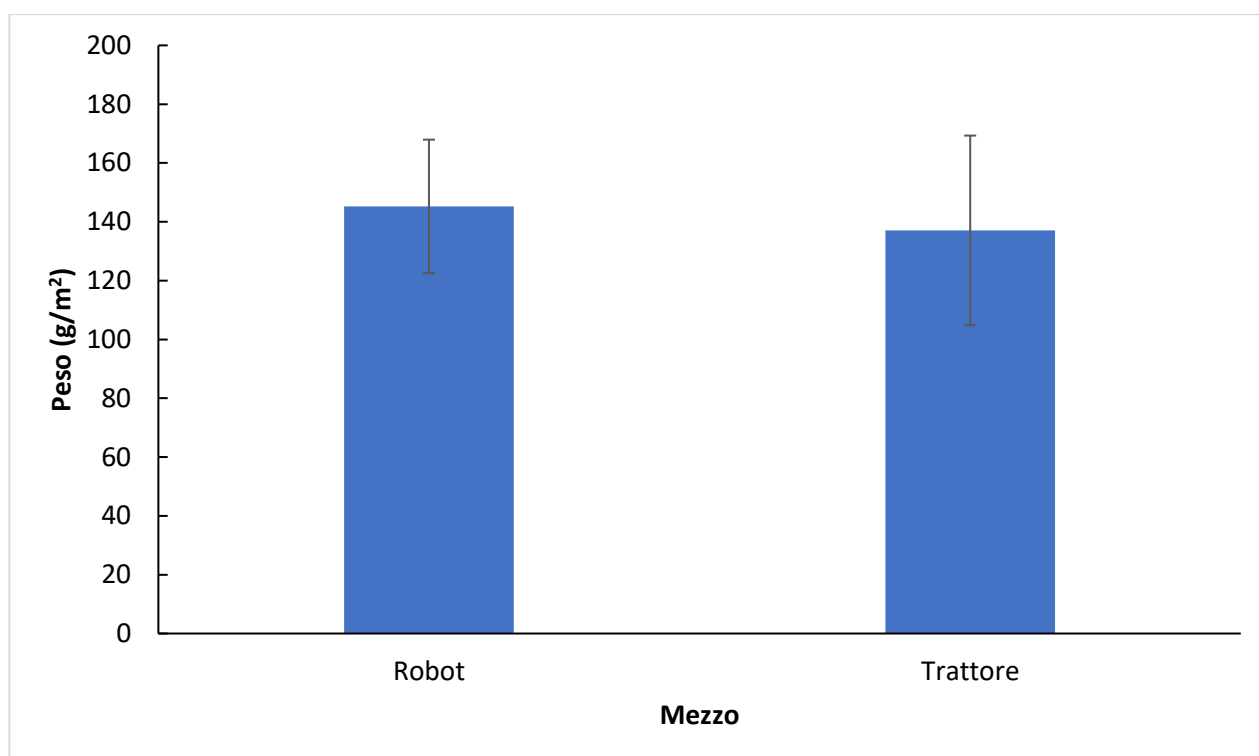


Figura 22. Peso secco medio delle infestanti

Questi risultati confermano l'alta efficacia di diserbo usando i due sistemi confrontati.

Oltre al confronto della biomassa secca tra le parcelle per valutare l'efficacia tra i diversi tipi di diserbo studiati, è stato confrontato anche il peso fresco delle principali infestanti provenienti dalle parcelle dei due mezzi distinti poco prima della raccolta del mais (Tabella 10 e Figura 23).

Tabella 10. T test peso specie

Specie	p-value
<i>Chenopodium album</i>	0,770
<i>Echinochloa crus-galli</i>	0,000
<i>Persicaria maculosa</i>	0,446
<i>Plantago major</i>	0,800
<i>Portulaca oleracea</i>	0,741
<i>Solanum nigrum</i>	0,640
<i>Taraxacum officinale</i>	0,873

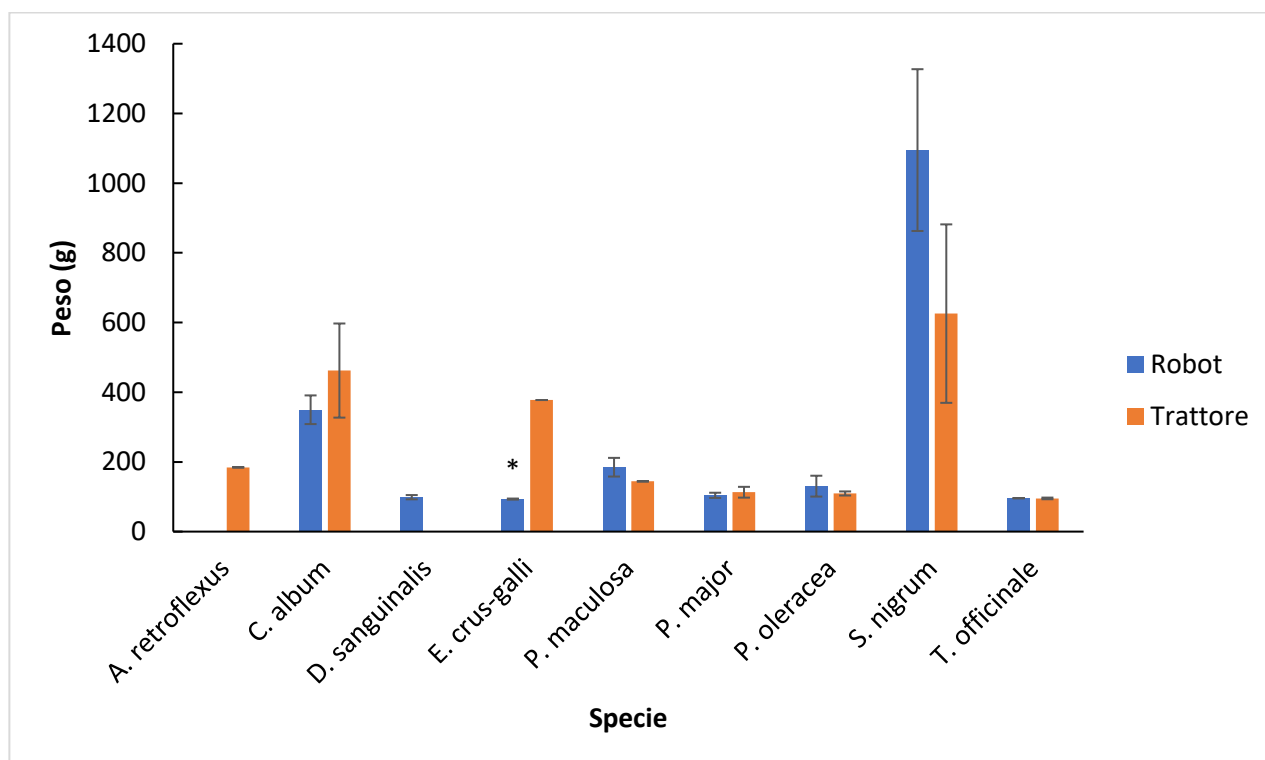


Figura 23. Biomassa fresca delle diverse specie infestanti

I dati presenti nella tabella 10, indicano che esiste una differenza significativa nel peso della *E. crus-galli* tra le parcelle gestite da trattore e quelle gestite da robot. Osservando la figura 23, è possibile notare le differenze nei valori derivanti dalla pesatura, evidenziando una notevole disparità nel peso di questa specie tra le diverse tipologie di diserbo. Bisogna però tenere in considerazione che in questo caso si parla del peso di infestanti in vicinanza alla raccolta del mais, quindi ben 137 giorni dopo la sarchiatura. Durante questo periodo, potrebbero essersi sviluppate nuove piante della stessa specie o potrebbero essersi localizzate in posizioni più favorevoli alla crescita. Quindi è difficile correlare questo dato con una maggiore efficienza del robot. Detto questo è comunque un risultato da tenere in considerazione, ma che andrebbe verificato con delle sperimentazioni future.

L'attenta ponderazione del periodo di 137 giorni dopo la sarchiatura è rilevante, poiché è un intervallo di tempo significativo per lo sviluppo e la localizzazione delle infestanti. Tuttavia, è interessante notare che la presenza di nuove piante della stessa specie o il loro posizionamento favorevole alla crescita potrebbero complicare la correlazione tra il dato e l'efficienza del robot. Questo aspetto è stato affrontato anche in studi come Poudel et al. (2019), che ha esaminato gli effetti a lungo termine delle pratiche di controllo delle infestanti.

4. CONCLUSIONE

L'analisi dei dati raccolti fornisce una prima verifica dell'efficienza dei sistemi di diserbo meccanico, mettendo a confronto le performance di un robot autonomo con quelle di una trattrice agricola. Nonostante le limitazioni imposte dalle condizioni meteorologiche, i risultati confermano un'elevata efficacia, superiore al 90%, sia per il robot sia per la trattrice nel controllo delle malerbe.

La valutazione della diversità della flora infestante non ha rivelato differenze significative tra le parcelle gestite dal robot e quelle gestite dalla trattrice. La gestione equilibrata delle infestanti ha sottolineato ulteriormente l'efficacia di entrambi i mezzi nel ridurre la presenza delle malerbe. L'unica differenza significativa è stata notata nella specie *E. crus-galli* a 137 giorni dalla sarchiatura, questa disparità però potrebbe essere stata causata dall'emergenza di nuove piante dopo la sarchiatura, dato che la specie è macroterma con emergenza tardiva.

In conclusione, dalla nostra ricerca emerge il potenziale del robot, che, con un'efficienza comparabile a quella della trattrice nel diserbo meccanico, beneficia dell'autonomia e della flessibilità operativa. La sua capacità di gestire le operazioni di diserbo con elevata precisione e adattabilità alle condizioni del terreno apre prospettive interessanti per un'agricoltura sostenibile e intelligente. Da notare che i risultati di questa tesi sono particolarmente soddisfacenti, considerando che il robot ha raggiunto una parità di efficacia con la trattrice agricola nonostante le sfide meteo e le limitazioni operative.

In sintesi, i risultati ottenuti mostrano il ruolo chiave che potrebbe avere la tecnologia robotica nel settore agricolo, offrendo soluzioni avanzate per il controllo delle infestanti e per molte altre operazioni colturali. La ricerca futura dovrebbe concentrarsi sull'ottimizzazione e sulla validazione di queste tecnologie, esplorando ulteriormente le potenzialità dei robot per migliorare la sostenibilità e l'efficienza delle pratiche agricole e per rendere queste tecnologie sempre più accessibili alle aziende.

BIBLIOGRAFIA

Adama. (2022a). *Piante infestanti a foglia stretta del mais Conoscerle per controllarle*.

Adama, I. (2022b). *Piante infestanti a foglia larga del mais*.

<https://www.adama.com/italia/it/approfondimenti-dal-blog/piante-infestanti-foglia-larga-del-mais>

Agrario, L. (2022). *Agrointelli Robotti 150D porta attrezzi autonomo da pieno campo*.

<https://www.informatoreagrario.it/meccanica/agrointelli-robotti-150d-porta-attrezzi-autonomo-da-pieno-campo/>

Agri-Motion. (2023). *ISOBUS e come funziona*.

Agridea. (2020). *Diserbo meccanico, descrizione dei macchinari*.

Agrimeccanica. (2021). *Tecnologie di agricoltura 4.0 per i macchinari agricoli*. 1–27.

Agrointelli. (2023). *▣ AUTONOMOUS FIELD WORKER ROBOTTI*. <https://agrointelli.com/>

Anderson, L., Zaza, S., Agüero, L. K. W.-D., Briss, P. A., Truman, B. I., Hopkins, D. P., Hennessy, M. H., Sosin, D. M., Anderson, L., G., V., Teutsch, S. M., & Pappaioanou, M. (2002). *Lo strumento di raccolta dei dati e la procedura di revisione sistematica* (Issue 4). <http://www.epicentro.iss.it/ebp/pdf/capitolo5.pdf>

Assomais. (2018). *Irrigazione mais*. www.assomais.it/irrigazione/

Balocchi, A. (2023). *AI e robotica in agricoltura : applicazioni , vantaggi e prospettive*.

<https://tech4future.info/intelligenza-artificiale-robotica-agricoltura/>

Bayer, D. &. (2017). *Infestanti del mais*.

Benvenuti, S., Loddo, D., & Macchia, M. (2006). *Biodiversità delle fitocenosi spontanee presenti nell' agroecosistema : ruolo agronomico , ambientale e paesaggistico*. Università di Pisa.

Bergstrom, G. C., & Nicholson, R. L. (1999). The biology of corn anthracnose: Knowledge to exploit for improved management. *Plant Disease*, 83(7), 596–608. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.7.596>

Bing, L. A., & Lewis, L. C. (1991). *Ostrinia nubilalis*. *Environmental Entomology*, 20(6), 1207–1211.

<https://doi.org/10.1093/ee/20.4.1207>

Blandino, M., Reyneri, A., Vanara, F., Tamietti, G., & Pietri, A. (2009). Influence of agricultural practices on Fusarium infection, fumonisin and deoxynivalenol contamination of maize kernels. *World Mycotoxin Journal*, 2(4), 409–418. <https://doi.org/10.3920/WMJ2008.1098>

Campagna G., Meriggi P., P. G. (2011). *Il contributo del diserbo chimico nella gestione integrata delle*

malerbe (Issue January). Università degli Studi di Bologna.

Capriglia, L. (2008). *Studi sul bioaccumulo di microinquinanti organici ed inorganici*. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE.

Chandrakumar, T., Sakthipriya, D., & Mahalakshmi, S. D. (2023). A Study on Usage of Agricultural Engineering Equipment for Various Crops and Yields in South Tamilnadu. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 14(1). <https://doi.org/10.4018/IJSESD.322014>

Claudia, G., & Pasquale, P. (2018). *I robot agricoli per l'agricoltura sostenibile del domani*. G. Lorenzini. <http://hdl.handle.net/2318/142361>

Colombo, F. (2019). *Varietà pigmentate di Zea mays*. Università degli studi di Milano.

Commissione Europea. (2023). *Realizzare il Green Deal europeo*.

Consolini, M. (2022). *Analisi multicriteria sul diserbo meccanico in Erba Medica*.

Cravedi, P. (2007). *Accademia nazionale italiana di entomologia, & Unione zoologica italiana* (Issue Fauna d'Italia: Leptocardia. Ciclostomata. Selachi/a cura di Enrico Tortonese. Calderini). Accademia Nazionale Italiana di Entomologia Anno.

Cutulle, M. A., & Maja, J. M. (2021). Determining the utility of an unmanned ground vehicle for weed control in specialty crop systems. *Italian Journal of Agronomy*, 16(4). <https://doi.org/10.4081/ija.2021.1865>

D'Antonio, P., Fiorentino, C., Massari, M., & Modugno, F. (2021). DSS, sistemi fondamentali per l'agricoltura di precisione. *L'Informatore Agrario Num. 31*, 57–59.

Deligios, P. A., Farci, R., & Ledda, L. (2010). *Gestione delle infestanti del colza*. Università di Sassari.

Electronics, C. (2023). *ISOBUS*. CSS Electronics. <https://www.csselectronics.com/pages/ccp-xcp-on-can-bus-calibration-protocol>

Ferrero, M. M. T. P. A. M. S. F. F. D. P. F. V. A. (2018). STRATEGIE DI CONTROLLO CHIMICO [Università di Torino]. In *NBER Working Papers*. <http://www.nber.org/papers/w16019>

Fogliatto, S. (2016). *EFFICACIA DI DIVERSE STRATEGIE DI GESTIONE DELLE INFESTANTI NEL MAIS A*.

Gasparini, F. (2022). *Tecnologie di agricoltura di precisione : studio e realizzazione di macchine e attrezzature agricole per la distribuzione variabile dei fertilizzanti organici e inorganici*. Università degli Studi di Padova Dipartimento.

Gentilini, P. (2012). *Esposizione a pesticini e rischi per la salute umana*.

- Gerhards, R., Risser, P., Spaeth, M., Saile, M., & Peteinatos, G. (2023). A comparison of seven innovative robotic weeding systems and reference herbicide strategies in sugar beet (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* L.) and rapeseed (*Brassica napus* L.). *Weed Research*, November, 1–12. <https://doi.org/10.1111/wre.12603>
- Giovanni, F. (2008). *Bioetanolo dal mais*. Università degli studi di Padova.
- Graizzaro, F. (2023). *Alimenti biofortificati con carotenoidi: utilizzo e impatto sociale in africa*. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA.
- I-flora. (2023). *Sorghum halepense* (L.) Pers.
- Intergen S.p.A. (2023). *Impianti Biogas e Impianti Biomasse: produrre energia in modo economico e nel rispetto dell'ambiente*. <https://www.intergen.it/impianti-biogas/#cogbiogas-par1>
- ISPRA. (2023). *Inquinanti Acqua*. <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/acqua>
- Khan, N., Ray, R. L., Sargani, G. R., Ihtisham, M., Khayyam, M., & Ismail, S. (2021). Current progress and future prospects of agriculture technology: Gateway to sustainable agriculture. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), 1–31. <https://doi.org/10.3390/su13094883>
- Lazzari, R. De. (2022). *Università degli studi di padova*. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA.
- Macolino, S. (2023). *Poaceae*.
- Maggiore, T., & Agostini, S. (2018). Mais in Italia. *Coltura & Cultura*, 122–139.
- Marco Fiala, R. O. (2001). *Sistema automatico per il controllo della posizione di macchine portate*.
- Matarrese, E. (2022). *Solanum Nigrum*. <https://eleonoramatarrese.com/morella-comune/>
- Meccagri. (2021). *Robotica agricola : dal futuribile alla messa in campo*. 1–50. <https://www.meccagri.it/robotica-agricola-dal-futuribile-alla-messa-in-campo/>
- Meinke, L. J., Sappington, T. W., Onstad, D. W., Guillemaud, T., Miller, N. J., Komáromi, J., Levay, N., Furlan, L., Kiss, J., & Toth, F. (2009). *Diabrotica virgifera virgifera*. *Agricultural and Forest Entomology*, 11(1), 29–46. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2008.00419.x>
- Miraglia, M., & Brera, C. (2006). *Le micotossine nella filiera agro-alimentare Rapporti ISTISAN*. 16–18.
- Montelucci, B. A. & G. (1961). Trasporto infestanti. *Giornale Botanico Italiano*, 398–415.
- Nespolo, A. (2022). *Robot agricolo e trattrice convenzionale : confronto tra operazioni colturali effettuate durante un ciclo di Zea mays*. UNIVERSIT' A DEGLI STUDI DI PADOVA.

- Noah. (2023). *Agriotes spp.* <https://www.projectnoah.org/spottings/20663184>
- Norsworthy, J. K., Korres, N. E., & Bagavathiannan, M. V. (2018). Weed seedbank management: Revisiting how herbicides are evaluated. *Weed Science*, 66(4), 415–417. <https://doi.org/10.1017/wsc.2018.11>
- Oliver Agro S.r.l. (2023). *Catalogo sarchiatrici*. 1–48. <https://www.oliveragro.it/categoria-prodotto/sarchiatura/>
- Panis, F. fiat. (2023). *VALUTAZIONE DI GENOTIPI DI MAIS PER RESISTENZA AD ASPERGILLUS FLAVUS*.
- Pannacci, P. M. ed E. (2004). *Le attuali problematiche delle erbe infestanti: il ruolo del contoterzismo*.
- Pannacci, P. M. ed E. (2005). *Stato attuale della coltura del mais con particolare riferimento al controllo della flora infestante* (pp. 21–22).
- Parker, W. E., & Howard, J. J. (2001). *Agriotes spp.* *Agricultural and Forest Entomology*, 3(2), 85–98. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2001.00094.x>
- Parlamento Europeo. (2023). *Note tematiche sull' Unione europea Sostanze chimiche e pesticidi*.
- Pelosi, F. (2017). *GESTIONE SOSTENIBILE DELLE INFESTANTI*. Università degli Studi della Tuscia Dipartimento.
- Poudel, A. S., Jha, P. K., Shrestha, B. B., & Muniappan, R. (2019). Biology and management of the invasive weed *Ageratina adenophora* (Asteraceae): current state of knowledge and future research needs. *Weed Research*, 59(2), 79–92. <https://doi.org/10.1111/wre.12351>
- Repubblica, L., Dell'agricoltura, M., & Foreste, della sovranità alimentare e delle. (2014). *La nuova disciplina fitosanitaria europea*. 10487. <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/14535>
- Rossi, V. (2019). *Dss integrati a mappe di prescrizione*. <https://terraevita.edagricole.it/featured/dss-integrati-a-mappe-di-prescrizione-il-volto-utile-dellevoluzione-digitale/>
- RStudio Team. (2023). *RStudio | Open source & professional software for data science teams - RStudio*. RStudio Inc.
- Ticino, R. e C. (2023). *Diabrotica virgifera virgifera*. 3–5.
- Toscan, B., Santis, B. De, Barea, C., Debegnach, F., & Gregori, E. (2015). *Le micotossine nella filiera agro-alimentare*.
- Tricarico. (2022). *VALORE TRATTORE AGRICOLO*. <https://tricaricogroup.com/blog/guida-alla-scelta/il-miglior-trattore-agricolo-usato#:~:text=Nella valutazione é utile guardare,attenzione in un trattore>

usato.

Trimble. (2023). *Azienda Agricola Virtuale di Precisione RTK*.

https://agricoltura.trimble.it/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA4Y-sBhC6ARIsAGXF1g4_cSXPphkdgW6TYep_QRzQt0ZH8FmqOGn_ho4fdR-2STDiFUGqzoaAux_EALw_wcB

USDA Foreign Agricultural Service. (2022). *Produzione mondiale cereali*. <https://www.fas.usda.gov>

Vantage-Italia. (2021). *www.vantage-italia.com*. 12–14. www.vantage-italia.com

Vantage-Italia. (2023). *Robotti 150D Prodotti correlati*. <https://www.vantage-italia.com/prodotti/tutti/agrointelli/robotti-150d/>

Veneto Agricoltura. (2017). *Tecnologia a Rateo Variabile*. 1–2.

Vidotto, F. (2013). *Gestione delle malerbe* (Issue December). Università degli studi di Torino.

Weather Spark. (2023). *Condizioni climatiche e meteo medie tutto l'anno a Legnaro*.

Wikipedia. (2018). *Ostrinia nubilalis*. <https://doi.org/10.7868/s0044452918050095>

Wikipedia. (2023). *Convolvulus arvensis L.* https://doi.org/10.1007/springerreference_68329