

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Dip TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea magistrale in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**MESSA IN CAMPO E TEST PRELIMINARI DI ROBOT AGRICOLO
PORTA ATTREZZI UTILIZZATO NELLA COLTIVAZIONE DEL MAIS
(*Zea Mays*)**

RELATORE:

Prof. Luigi Sartori

CORRELATORE:

Dott. Marco Sozzi

LAUREANDO:

Riccardo De Lazzari

Matricola n. 2011610

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

RIASSUNTO

L'evoluzione delle macchine agricole ha portato a continui adattamenti da parte dell'agricoltore al fine di ridurre la fatica nel lavoro e migliorare le produzioni e rispettivi guadagni.

Questi adattamenti devono essere assimilati sia dal settore operante, cioè chi utilizza giornalmente un genere di attrezzatura, sia dal settore vigilante, cioè quell'insieme di mansioni che permettono all'attrezzatura di essere a norma di legge, sicura, e produttiva.

Questa tesi vuole discutere dell'utilizzo di questi nuovi mezzi impiegati in agricoltura: i Robot.

I vari capitoli si interessano di come si è arrivati all'utilizzo dei robot in agricoltura, il loro funzionamento con punti di forza e di debolezza, l'aspetto di sicurezza e le normative che regolano l'utilizzo di questi. Inoltre, il caso studio effettuato permette di capire come Robotti 150D, il robot dell'azienda danese Agrobot, si comporta nella preparazione del letto di semina per la coltivazione del mais (*Zea Mays*). Una volta individuate le caratteristiche principali del robot si è confrontato con una trattoria agricola convenzionale durante la fase di erpicatura. Inoltre, si sono valutate le differenze di costo tra le due macchine.

I risultati finali ottenuti hanno dato una tempistica di lavorazione simile tra i due mezzi, come anche la qualità di lavorazione.

ABSTRACT

The evolution of agricultural machines has led to continuous agricultural adaptation in order to reduce the fatigue at work and to increase the productivity and the earnings.

These adoptions of the machines must be identified by the agricultural operators, and by the “supervisory sector”, these are the components who permit the use of new machine with the right law, the right security and productivity.

This thesis discusses about the use of these new agricultural machines: Robots.

There are some chapters who speaks about the story of agricultural robots, the function of agricultural robots, the points of strength and weakness, the security and the legislation who govern these robots the thesis continue with a case study: a comparative between Robotti 150d, a robot of a Danish factory (Agrointelli) and a conventional tractor during the preparation of the soil for the cultivation of corn (*Zea Mais*). In addition, we estimate the costs about the robot and the agricultural tractor.

The case study focused on surveying the timing and quality of the work during the harrowing phase. The results are that the time and the quality of work between the robot and the tractor are similar.

SOMMARIO

RIASSUNTO.....	pg.3
ABSTRACT.....	pg.4
SOMMARIO.....	pg.5
Capitolo 1: INTRODUZIONE GENERALE	pg.6
Capitolo 2: LA ROBOTICA AGRICOLA	pg.10
2.1 INTRODUZIONE ALLA ROBOTICA AGRICOLA E CENNI STORICI.....	pg.10
2.2 DEFINIZIONE DI ROBOT AGRICOLI E IMPLICAZIONI NEL LORO UTILIZZO.....	pg.13
Capitolo 3: FUNZIONAMENTO DEI ROBOT E I LORO APPROCCI	pg.20
3.1 VARIETÀ DI INTERAZIONE UOMO ROBOT.....	pg.20
3.2 REQUISITI DI APPLICAZIONE E IDENTIFICAZIONE DEI ROBOT.....	pg.23
3.3 FASI DI LAVORO DEI ROBOT.....	pg.26
3.4 SENSORISTICA.....	pg.27
3.5 CLASSIFICAZIONE DEI ROBOT IN AGRICOLTURA.....	pg.30
3.6 STRUTTURAZIONE DELL'AMBIENTE E I SUOI VINCOLI.....	pg.36
Capitolo 4: NORMATIVA E SICUREZZA	pg.38
4.1 CONCETTI DI LEGGE.....	pg.38
4.2 SICUREZZA SUL LAVORO.....	pg.44
Capitolo 5: ASPETTI FINANZIARI	pg.46
5.1 COSTI.....	pg.46
5.2 VENDITE.....	pg.48
Capitolo 6: CASO STUDIO	pg.50
6.1 ROBOTTI 150D	pg.50
6.2 ROBOTTI 150D: CARATTERISTICHE TECNICHE RILEVATE.....	pg.51
6.3 DATI OTTENUTI DALLA PREPARAZIONE DEL LETTO DI SEMINA.....	pg.60
6.4 CONTO ECONOMICO.....	pg.65
6.5 DIMENSIONAMENTO DELLE MACCHINE AGRICOLE.....	pg.72
CONCLUSIONE	pg.76

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE GENERALE

L'agricoltura inizialmente non si avvaleva di nessuna lavorazione del terreno con macchine speciali, ad esempio i cereali venivano seminati senza alcuna lavorazione, si creavano solamente dei buchi con un bastone appuntito. La concimazione ed il diserbo costituivano la stessa operazione, la quale consisteva nel dare alle fiamme la vegetazione selvatica e i residui colturali del campo da coltivare al fine di fertilizzare il suolo e liberarlo dalle malerbe. L'invenzione dei primi aratri rudimentali ha permesso di creare dei solchi stretti invece di buchi aumentando così la produttività. La crescita della popolazione, insieme all'aumento dell'area dei terreni agricoli, ha richiesto un ulteriore aumento delle rese delle colture agricole.

Alla fine del XVIII sec. la costruzione di aratri divenne più complessa, questo permetteva di rivoltare il terreno con un angolo di 135° permettendo così anche il controllo delle infestanti, parassiti e incorporamento di concimi organici nel suolo rendendo così le lavorazioni agricole più efficienti. Esso è diventato un sinonimo di agricoltura moderna dato che l'agricoltura inizialmente, data la numerosa forza lavoro e i bassi costi, è stata per lungo tempo esclusa dai vantaggi di questa evoluzione (Zhou & Additional, 2016).

Questa evoluzione è stata spinta principalmente dal fatto che le popolazioni rurali cominciarono a trasferirsi nelle città, attratta dai posti di lavoro più facili e meglio remunerati, riducendo così la forza lavoro in agricoltura (Baylou, 1987).

L'utilizzo dell'aratro richiede maggiore energia (prima attraverso gli animali e ora con l'utilizzo di macchine agricole) rispetto alle precedenti lavorazioni, di conseguenza la dissipazione di energia all'interno del comparto agricolo è aumentata. Inizialmente l'evoluzione tendeva a seguire la teoria dell'entropia di Ziegler, dove definisce che per aumentare la produzione nei raccolti, requisito fondamentale per l'aumento della popolazione, richiedeva l'uso di risorse sempre maggiori in agricoltura: energia, acqua, suolo e nuove lavorazioni del terreno utilizzando potenze nelle macchine sempre maggiori, profondità dell'aratura e ampiezza della copertura dell'aratro evolvendosi così verso un maggiore utilizzo dei costi energetici basati su tecnologie che utilizzano prevalentemente combustibili fossili (Zhou & Additional, 2016).

Fino alla metà del XX secolo, l'evoluzione dell'agricoltura, segue il principio della produzione massima di entropia di Ziegler portando ad alcuni benefici come l'utilizzo maggiore di macchine agricole al fine di compensare la mancanza di manodopera umana, la velocità nel svolgere alcune operazioni agricole e eliminare quasi completamente l'utilizzo di animali come forza lavoro

riducendo così i costi del cibo e la necessità di coltivare ulteriore terra per nutrire gli animali da lavoro (Gil et al., 2023).

I problemi ambientali in agricoltura si sono dimostrati difficili da affrontare a causa dell'eterogeneità spaziale e dalla variabilità che l'attività agricola detiene.

Il continuo aumento del consumo di energia in agricoltura dato dall'aumento della popolazione e dai cambiamenti della dieta delle varie popolazioni, si sta avvicinando al suo limite. Al tal proposito il principio della minima entropia di Prigogine può essere un elemento importante per la riduzione del consumo di questa energia molto richiesta dato che la teoria si basa sull'uso razionale delle risorse disponibile (Zhou & Additional, 2016).

La teoria si basa sull'impossibilità di soddisfare bisogni crescentemente infiniti di fronte a risorse visibilmente limitate; la creazione delle più moderne attrezzature e tecniche e la progettazione di adeguate macchine agricole potranno contribuire all'aumento della produttività limitando la dissipazione di troppa energia.

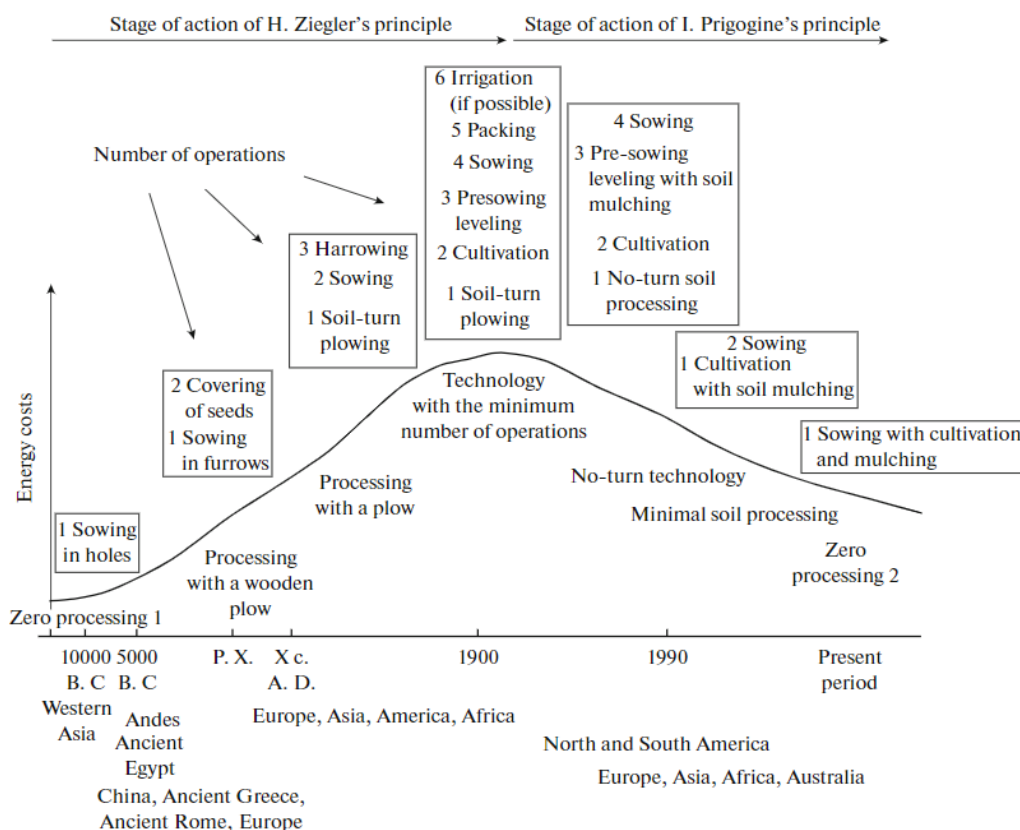


Figura 1 schematizzazione dei processi tecnologici evolutivi (Zhou & Additional, 2016)

Nel libro *Farm Prices: Myth and Reality* (1958) l'economista americano Willard Cochrane ha paragonato la competitività in agricoltura ad un tapis roulant. Si ritiene che gli incrementi di produttività in agricoltura vadano a beneficio solo di pochi produttori agricoli innovativi mentre la maggior parte dei produttori subisce le conseguenze del possibile calo dei prezzi. Questo implica che chi utilizza tecnologie obsolete, nonché dimensioni e gestioni non idonee non sarà in grado di ottenere profitti, lasciando poca scelta ai piccoli agricoltori. Questa necessità e il flusso incessante di innovazioni fanno del tapis roulant economico una presenza fissa in agricoltura essendo alla base del progresso tecnico ed economico a beneficio della società dato che questo può portare lo stesso prodotto a prezzi inferiori, agevolando le persone con un reddito basso.

Il cambiamento tecnologico altera continuamente la società, questi cambiamenti si riflettono nel cosiddetto tapis roulant tecnologico. Gli agricoltori sono spinti a stare a passo con la tecnologia più avanzata anche se non aumenta i profitti ma solamente per rimanere in attività. In questa corsa sempre più frenetica per la sopravvivenza economica, la responsabilità sociale dell'agricoltura diventa una questione subordinata (Balman et al., 2018).

Un altro punto è come la sicurezza è cambiata nel corso degli anni in agricoltura. Come ben sappiamo la salute e la sicurezza nel luogo di lavoro devono essere garantite in maniera tale da prevenire possibili incidenti. In particolare, l'agricoltura, dove la manodopera rappresenta circa il 40% delle spese complessive, è considerata uno dei più pericolosi settori in termini di perdita dell'udito, malattie respiratorie e disturbi muscolo scheletrici (DMS) causando disabilità croniche (Benos et al., 2020).

Un approccio per ridurre questi disturbi e il rischio di lesioni consiste nel progettare posti di lavoro e processi lavorativi migliori. La meccanizzazione, soprattutto nei paesi più sviluppati, è riuscita a mitigare questo tipo di eventi grazie alla presenza di macchine agricole. Allo stesso tempo però l'utilizzo di queste macchine porta l'azionamento di pulsanti, leve, frizioni, pedali della frizione e del freno e lo sguardo all'indietro per manovrare e per controllare la macchina. Queste azioni possono influenzare il carico su parti del corpo, che in combinazione alla posizione seduta in maniera prolungata contribuiscono a possibili disturbi muscolo scheletrici.

Infine, un fattore di rischio comune sono gli alti livelli di vibrazioni trasmesse al corpo intero dovute sia al terreno non uniforme che al funzionamento del motore.

Secondo le ricerche dell'Istituto Nazionale per l'assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) nel quinquennio 2015-2019 le principali patologie professionali riscontrate sono: malattie del sistema osteomuscolare e del tessuto connettivo come dorsopatie e disturbi dei tessuti molli per

più del 75%, seguite da patologie del sistema nervoso (17,3%) e dell'orecchio (5,1%) in circa 5000 lavoratori del settore agricolo che hanno denunciato le patologie rispetto ai 900mila lavoratori agricoli presenti nel suolo italiano.

Un obiettivo importante è quindi l'applicazione di vari tipi di tecnologia progettati per aumentare sia la resa che la qualità del raccolto riducendo i costi agricoli e aumentando la salute dell'agricoltore.

La richiesta di pratiche agricole ancora più efficienti, è richiesta non solo per l'aumento della popolazione, ma anche dal fatto che il numero di agricoltori tende a diminuire nonostante le aziende tendano ad aumentare sempre più di dimensioni.

CAP 2 LA ROBOTICA AGRICOLA

2.1 INTRODUZIONE ALLA ROBOTICA AGRICOLA E CENNI STORICI

La produttività agricola è aumentata in modo significativo nel corso degli anni grazie all'intensificazione, alla meccanizzazione e all'automazione. Si tratta di un obiettivo importante per l'applicazione di vari tipi di tecnologia, progettati per aumentare la resa e la qualità delle colture, riducendo al contempo i costi agricoli. Facendo alcuni esempi, la semina e il trapianto di precisione aumentano le dimensioni medie della pianta e l'uniformità nella loro maturazione e riducono la sovrapposizione di queste, la fertirrigazione di precisione, consiste nell'aggiungere acqua e nutrienti necessari alla coltura solo nel momento e nella posizione ottimale, diminuendo così il rapporto tra input agricoli, produzione vegetale e impatto ambientale, l'ottimizzazione nell'applicazione di azoto nella stagione, basata sul telerilevamento ha permesso di ottenere la stessa resa ottenuta con l'applicazione uniforme raccomandata che richiedeva il 31% di azoto in più (Bechar & Vigneault, 2016). L'automazione ha aumentato considerevolmente la produttività delle macchine agricole incrementando l'efficienza, l'affidabilità e la precisione e riducendo la necessità di intervento umano. Nonostante ciò, l'agricoltura soffre ancora di una forte carenza di lavoratori, soprattutto in campo orticolo.

Sebbene la robotica e l'automazione richiedano una manodopera specializzata e attrezzature più costose, contribuiscono ad aumentare la produttività agricola perché la manodopera richiesta, solitamente diminuisce in maniera tale da compensare il maggiore costo iniziale.

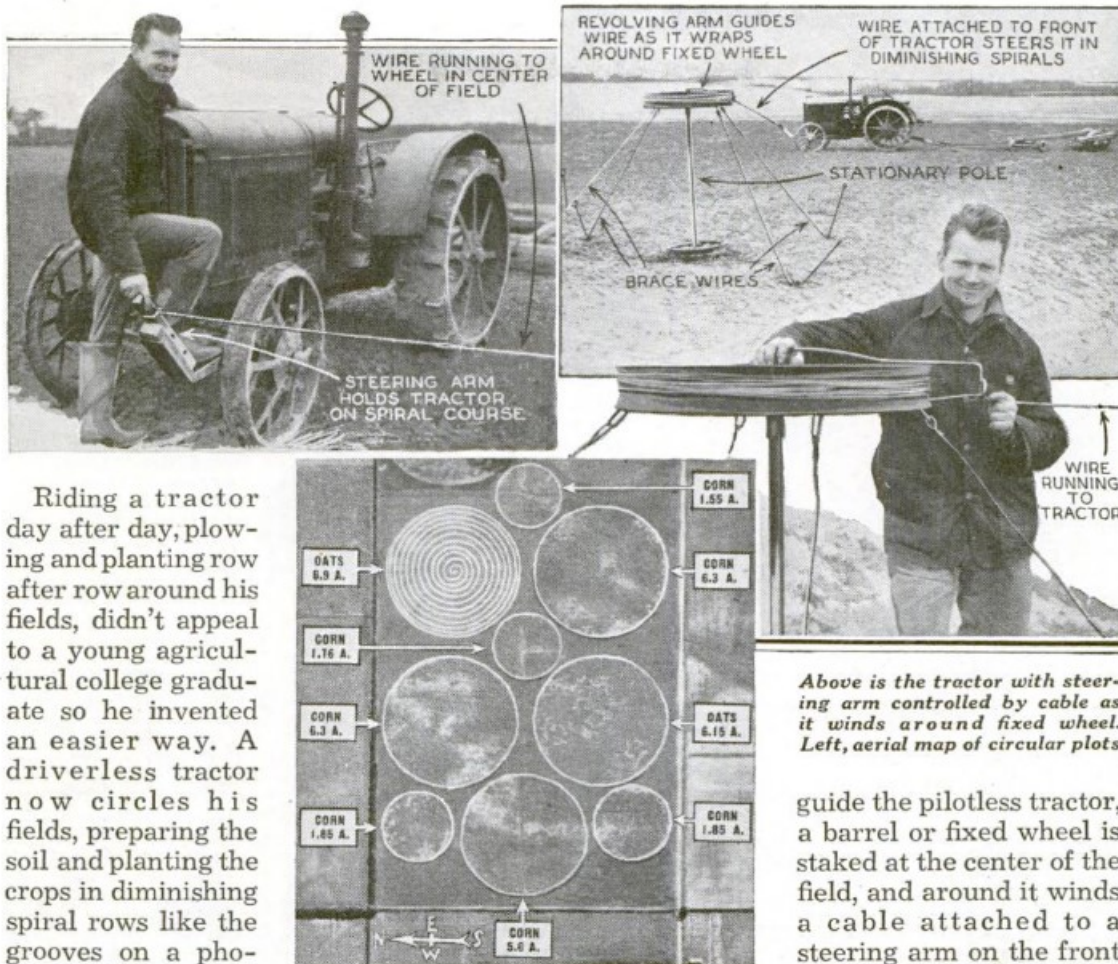
Nonostante queste nuove forme di meccanizzazione in agricoltura come la maggiore potenza delle macchine agricole, la comparsa delle quattro ruote motrici, le dimensioni delle attrezzature sempre maggiori passando da pochi metri all'ordine delle decine di metri l'operatore tendenzialmente tende a compiere due funzioni fondamentali, cioè: sterzare il trattore e azionare l'attrezzatura, trainata o portata, ad un certo livello di prestazione. Con l'aumento sempre maggiore delle macchine e delle attrezzature, l'operatore tende ad avere maggiore difficoltà determinare visivamente l'entità di sovrapposizione o eventuali mancanze. Al tempo stesso però questo gli permette di avere attrezzature più sofisticate che gli permettono di compiere più operazioni per singolo passaggio cercando così di ridurre i costi di produzione (Wilson, 2000).

Sebbene siano stati compiuti progressi di progettazione del trattore e della cabina per migliorare il confort dell'operatore, l'aumento delle velocità sul campo insieme ai maggiori livelli di potenza e maggiore larghezza degli attrezzi non hanno reso più facile il compito di una guida precisa.

L'idea di un trattore robot non è una nuova invenzione, le prime pubblicazioni si possono trovare già negli anni '40 dove i primi trattori autosterzanti erano basati su sistemi di guida meccanica. Il sistema, sviluppato da Andrew (1941) veniva utilizzato per l'aratura di campi circolari, in cui la distanza del trattore dal centro del campo era dettata dalla distanza della lunghezza del cavo che veniva continuamente avvolto e svolto da un tamburo, anch'esso situato al centro del campo.

Lo sviluppo della visione artificiale e in particolare l'introduzione dei sistemi GPS negli anni '90, ha consentito la diffusione dei sistemi commerciali di guida automatica. La differenza tra trattore a guida automatica e trattore robot completamente autonomo è che nei trattori a guida automatica è richiesta la presenza del conducente mentre nei trattori completamente autonomi il conducente può monitorare a distanza il trattore. Di solito, i robot agricoli progettati per uno scopo specifico sono meccanicamente diversi da un trattore convenzionale, per esempio, per la raccolta delle bacche, per il diserbo, campionamento e lo scouting. Altrimenti i robot multiuso possono essere meccanicamente simili ai trattori convenzionali come Robotti, robot multiuso della società danese Agointelli, che ha sviluppato un robot alla quale possono essere applicati attrezzi con attacco a tre punti.

Driverless Tractor Plants Crops in Spirals



Riding a tractor day after day, plowing and planting row after row around his fields, didn't appeal to a young agricultural college graduate so he invented an easier way. A driverless tractor now circles his fields, preparing the soil and planting the crops in diminishing spiral rows like the grooves on a phonograph record.

The inventive farmer is Frank W. Andrew of Palmyra, Ill. In a rectangular field of eighty-eight acres, his largest plot is a six and three-tenths-acre circle of corn. The tractor traveled eight miles in circles to plant one plot. In the "crevices" between circular plots, soybeans were planted. To

guide the pilotless tractor, a barrel or fixed wheel is staked at the center of the field, and around it winds a cable attached to a steering arm on the front of the tractor. As the cable winds up on the drum, it keeps pulling the tractor toward the center. When it reaches the center of the field, the machine stops automatically. Once the tractor has been started on its circular course, it runs for hours unattended. Mr. Andrew has applied for a patent on his method.

Above is the tractor with steering arm controlled by cable as it winds around fixed wheel. Left, aerial map of circular plots

Figura 2: Condon, Dr. E. U.; H. H. Windsor (July 1940). "Driverless Tractor Plants Crops in Spirals". Popular Mechanics. 74

2.2 DEFINIZIONE DI ROBOT AGRICOLI E IMPLICAZIONI NEL LORO UTILIZZO

La parola robot deriva direttamente dal ceco *robota* che significa “lavoro servile” con cui lo scrittore ceco Karel Čapek denominava gli automi che lavorano al posto degli operai nel suo dramma fantascientifico *R.U.R.* del 1920 (www.treccani.it/vocabolario/robot/). Una definizione plausibile di robot è che sono macchine programmabili, dotati di sensori e attuatori, che possono muoversi e/o spostare cose nel mondo. Tuttavia, come per la maggior parte delle definizioni di robot, data la misura in cui i dispositivi moderni contengono microelettronica, questa definizione rischia di includere alcune macchine come lavastoviglie, lavatrici e, al tempo stesso, rischia di escludere alcuni dispositivi, come i droni, che spesso vengono considerati robot, anche se di solito sono controllati a distanza piuttosto che programmabili (Sparrow & Howard, 2021).

La stessa situazione si ritrova nella definizione formale del termine “robot agricolo” la quale non ritrova nessun riconoscimento ufficiale nella definizione (Santiago Santos Valle, 2020). Lowenberg-De Boer et al 2019 propongono la seguente definizione operativa di robot per il lavoro in campo: “l’agrobot” è un dispositivo meccanico mobile, autonomo, decisionale che svolge attività di produzione agricola (preparazione del terreno, semina, trapianto, diserbo, controllo parassiti e raccolta) sotto la supervisione umana, ma senza lavoro umano diretto. Il termine “agrobot” è senza dubbio una descrizione efficace per macchine autonome che sono in grado di svolgere diversi compiti agricoli ripetitivi in azienda senza l’intervento umano diretto”.

Gli agrobot sono anche più leggeri dei macchinari convenzionali e possono quindi anche alleviare i problemi associati alla compattazione del suolo e di accedere a campi non adatti a macchinari pesanti.

Alcune applicazioni per i robot in agricoltura sono:

- Trattori e mietitrebbie abilitati al GPS, teleoperanti e autonomi;
- Sistemi agricoli di precisione per l’applicazione misurata di pesticidi e fertilizzanti;
- Sistemi di irrigazione automatizzati e di precisione;
- Uso dell’automazione nella manipolazione, lavorazione e confezionamento degli alimenti;
- Automazione nei macelli;
- Stazioni di alimentazione automatiche e robotizzate per il bestiame;
- Robot per il confezionamento della carne;
- Robotica e automazione negli allevamenti intensivi;
- Droni per il rastrellamento del bestiame;
- Treni senza conducente;

- Robot per il diserbo;
- Tosatura robotizzata;
- Raccoglitori robotizzati di frutta e verdura;
- Camion autonomi per il trasporto.

Questo elenco presenta alcune tecnologie già in uso, mentre altre stanno entrando in funzione e altre ancora sono puramente teoriche. Se i robot dovessero essere utilizzati in modo più diffuso in agricoltura, potrebbero avere una serie di implicazioni a livello ambientale, economico, politico, culturale, sociale e di sicurezza (Sparrow & Howard, 2021).

1. AMBIENTE

Come sostenuto da diverse autorità, i robot possono aiutare gli agricoltori ad affrontare queste sfide migliorando la resa e la produttività, riducendo al contempo i livelli di utilizzo di fertilizzanti e pesticidi, nonché lo spreco d'acqua. Inoltre, la sostituzione di macchinari pesanti con macchine autonome o teleguidate più leggere può ridurre i problemi associati al compattamento del suolo. Sicuramente questi possono essere considerati dei vantaggi che però dipendono da scelte economiche e politiche. Un aspetto critico nell'utilizzo dei robot invece è dovuto sempre alla maggiore aspettativa da parte del consumatore che il prodotto sia perfetto con conseguente aumento degli sprechi alimentari, dato che un numero minore di articoli verrà giudicato idoneo alla vendita. L'utilizzo di robot per la sostenibilità ambientale dipenderà anche dal contesto politico ed economico della loro applicazione (Sparrow & Howard, 2021). I processi di coltivazione e produzione sono complessi, diversificati, ad alta intensità di lavoro e di solito unici per ogni coltura. Il tipo di processo e i suoi componenti sono influenzati da molti fattori, tra cui le caratteristiche e i requisiti della coltura, l'ambiente geografico, geologico, le condizioni climatiche e meteorologiche, la domanda di mercato e le preferenze dei consumatori, nonché la capacità e i mezzi dell'agricoltore. L'ampia varietà di produzioni agricole e la loro diversità in tutto il mondo rendono difficile generalizzare le applicazioni per l'automazione e il controllo. Inoltre, i prodotti vivi richiedono operazioni delicate, accurate e spesso complicate per mantenere una buona qualità utile per percorrere la distanza e il tempo che separano il sito di produzione dai consumatori. Questa caratteristica rende difficile l'abilità umana con macchine o automazione (Bechar & Vigneault, 2016).

2. ECONOMIA

Un'importante argomentazione economica a favore dell'uso dei robot in agricoltura sottolinea il loro potenziale di aumentare la produttività e anche la redditività dell'agricoltura consentendo un uso più efficiente dei fattori di produzione. Già l'agricoltura di precisione consente di utilizzare le risorse in maniera più mirata limitando gli sprechi e pensare che questa può essere integrata all'utilizzo dei robot potrebbe estendere maggiormente la produttività.

La comparsa di nuove erbe infestanti e parassiti può richiedere regolazioni e riprogettazione dei robot. I cambiamenti delle condizioni ambientali in altre parti del mondo possono modificare radicalmente l'economia dell'agricoltura e quindi le attività da svolgere in determinati momenti. Questo potrebbe comportare una minore adattabilità alle nuove realtà stabilite dal cambiamento climatico nei tempi richiesti. Si sono costruiti robot in funzione di attività o azioni passate limitando così allevamenti o colture diverse (Sparrow & Howard, 2021). Un altro aspetto economico da tenere in considerazione è la manodopera in agricoltura. La manodopera è il maggiore contributo dei costi in agricoltura, di conseguenza la carenza di manodopera danneggia i ricavi degli agricoltori, la resa e la durata.

Inoltre, alcuni di questi lavori manuali, possono causare rischi di disturbi muscoloscheletrici e problemi di salute cronica ai lavoratori (Bechar & Vigneault, 2016). Il possibile aumento della produzione agricola e la diversificazione dei tipi di colture grazie all'ottimizzazione del sistema colturale possono contribuire alla dipendenza da prodotti alimentari provenienti da zone di produzione lontane (Santiago Santos Valle, 2020).

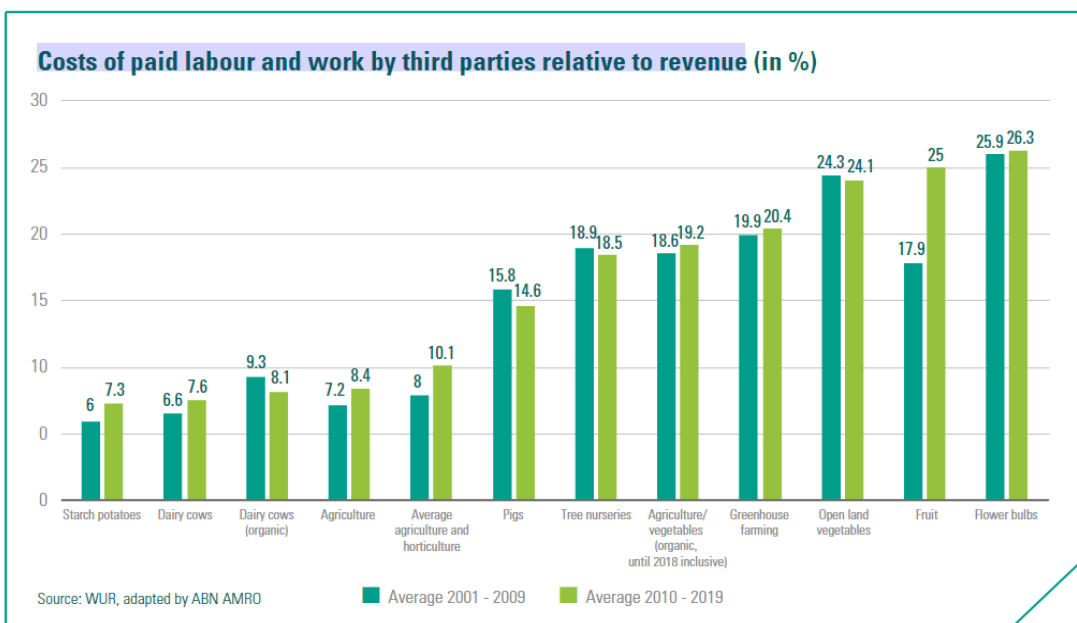


Figura 3 aumenti del costo del lavoro agricolo in Olanda (ABN AMRO in conjunction with FME Cluster Agri & Food and GMV 2020)

3. POLITICO

L'introduzione dei robot in agricoltura dovrebbe portare a una riduzione dei posti di lavoro, in quanto questi sostituiranno l'uomo nella raccolta della frutta, nella manipolazione degli alimenti, nell'imballaggio degli alimenti e raduno del bestiame. Questi impatti dovrebbero essere previsti, anche se probabilmente la maggior parte dei robot agricoli sarà semi-autonoma o richiederà la supervisione umana quando opera in modalità autonoma. Anche se dovessero crearsi dei nuovi posti di lavoro per la costruzione e manutenzione dei robot, è improbabile che questi posti di lavoro esistano negli stessi luoghi in cui sono stati sostituiti i lavoratori e che le competenze tenderanno ad essere molto diverse rispetto a quelle possedute dai residenti delle aree rurali, quindi molti posti di lavoro saranno probabilmente collocati altrove, a meno che non si crei una nuova nicchia occupazionale di giovani formati e imprenditori rurali per creare imprese per una produzione agricola più efficiente (Santiago Santos Valle, 2020). L'introduzione dei robot spesso viene associata a una dequalificazione del lavoro data dal fatto che il robot è in grado di compiere azioni semplici in maniera continuativa. Il possibile aumento di disoccupazione nelle aree rurali generato dai robot, la diminuzione dei livelli di competenze ed esperienza per svolgere i lavori rimasti e l'aumento della sorveglianza sul posto di lavoro potrebbe corrispondere ad un maggiore capacità dei datori di lavoro a dettare i salari e le condizioni di coloro che sono in grado di trovare lavoro nel settore agricolo (Sparrow & Howard, 2021).

4. SOCIALE

La percezione dell'operatore rispetto ai robot è un fattore importante per il successo del processo di automazione, poiché come in alcuni ambienti di lavoro, le regole sociali e l'armonia dovrebbero essere a beneficio della produzione agricola.

L'aspetto sociale è definito come l'impatto che la robotica può avere su base quotidiana. L'aumento dell'uso dei robot in agricoltura è probabile che abbia un impatto sul tessuto sociale, in particolar modo delle comunità rurali: se i robot eliminassero la necessità di quantità significative di manodopera agricola, in futuro potrebbero esserci meno opportunità economiche per coloro che vivono nelle aree rurali dato che alcune teleoperazioni potranno essere svolte a distanza. Questo comporterebbe ad una maggiore disuguaglianza nella distribuzione delle ricchezze tra aree rurali e aree industrializzate. I potenziali benefici con l'applicazione dei robot potrebbero includere l'aumento del tempo libero, la flessibilità del lavoro e la riduzione dell'intensità di lavoro (Sparrow & Howard, 2021).

5. CULTURALE

L'Aspetto culturale viene definito principalmente dagli impatti che influenzano principalmente il modo di pensare delle persone. Gli operanti nel settore agricolo tutti i giorni si confrontano con la natura e con gli organismi che essi coltivano e condividono il loro ambiente. Con l'inserimento dei robot c'è la possibilità che questi aspetti si attenuino o addirittura interrompano questa relazione. Al tempo stesso, la manipolazione da parte dei robot potrebbero far percepire i prodotti agricoli come parti di una grande macchina produttiva, dedicata allo sfruttamento delle risorse. La maggior parte dei consumatori è già molto lontana dalle aziende agricole e dai processi produttivi utilizzati per la produzione del cibo, con l'avvento della robotica in agricoltura potrebbe ulteriormente allontanare i consumatori dalla realtà di produzione alimentare facilitando i modelli di maggiore consumo. Molte persone valorizzano l'idea di un "legame con la terra". Si ritiene che coloro che hanno un legame con la terra, possiedano una saggezza speciale e, almeno in teoria, godano di un rispetto particolare. Se l'agricoltura dovesse diventare principalmente una questione di impiego e supervisione dei robot, queste "narrazioni culturali" potrebbero diventare insostenibili portando ad un impatto negativo sul benessere sociale e psicologico delle comunità rurali e sulle loro relazioni con la società in generale. Più il lavoro può essere svolto dai robot, è meno necessaria la "forza" dei braccianti o altre virtù che tradizionalmente si associano agli agricoltori, rendendo così più semplice anche alle donne partecipare alla forza lavoro agricola (Sparrow & Howard, 2021).

6. SICUREZZA

L'utilizzo di robot può generare problemi di sicurezza. Le aziende e gli impianti di produzione che fanno grande affidamento sull'automazione e sulla robotica diventeranno di conseguenza più vulnerabili a hacking, sabotaggi e spionaggio aziendale. Questi sistemi possono diventare vulnerabili a operazioni informatiche volte per perseguire vantaggi economici (Sparrow & Howard, 2021).

7. ETICA

L'etica è sempre presente in questioni politiche, nelle relazioni sociali e culturali.

Le scelte politiche possono modellare la maniera di introduzione dei robot in agricoltura. La scelta tra politiche che potrebbero portare a particolari risultati o, in alternativa, vanificarli, implica il confronto con questioni di valore o, meglio, questioni etiche. Bilanciare le esigenze concorrenti di aumento dei rendimenti e sostenibilità ambientale comporta ad una negoziazione etica. L'utilizzo di robot potrebbe incoraggiare ulteriormente l'agricoltura industriale e aiutare le piccole imprese a facilitare lo sviluppo di forme di agricoltura diversificate. Con l'impatto dei robot sull'occupazione agricola, ci si pongono le prime questioni etiche sull'obbligo della società a fornire alle persone

l'opportunità di un lavoro significativo. Tuttavia, l'urgente necessità di passare a pratiche agricole più sostenibili e, allo stesso tempo, di soddisfare una crescente domanda di prodotti agricoli a livello globale, significa che esiste un forte imperativo etico per esplorare come i robot potrebbero essere utilizzati per promuovere questi obiettivi (Sparrow & Howard, 2021).

8. POLITICA AZIENDALE

Per ridurre il rischio che i robot accentrino ulteriormente la proprietà nel settore agricolo e incoraggino ulteriormente le monocolture a scapito della biodiversità, i governi e i ricercatori potrebbero dare priorità allo sviluppo di robot sofisticati che siano sufficientemente flessibili da consentirne l'uso in piccole proprietà e con una gamma più ampia di colture e bestiame.

La fattibilità tecnica dei robot agricoli per una varietà di compiti agricoli è stata ampiamente convalidata. Lo sviluppo di un robot agricolo deve includere la creazione di algoritmi sofisticati e intelligenti per il rilevamento, la pianificazione e il controllo, per far fronte ad un ambiente agricolo difficile, non strutturato e dinamico. Inoltre, rispetto ad un utilizzo industriale dove un robot viene utilizzato in continuazione a livello agricolo esso dovrà seguire le stagionalità rendendo così difficile l'elevato livello di utilizzo. Tuttavia, sebbene in numero limitato, alcune applicazioni di robotica sono disponibili a livello commerciale e vengono implementate passo dopo passo ottenendo così buone prestazioni in compiti dedicati. Questo processo di implementazione ha indicato che gli inconvenienti e le inefficienze richiedono soluzioni che utilizzino i vantaggi dell'uomo per consentire ai robot di reagire e di far fronte a condizioni dinamiche complesse (Bechar & Vigneault, 2016).

La standardizzazione dei termini, delle misure e delle metodologie di prestazioni del sistema e l'adeguatezza dei requisiti tecnologici sono fondamentali per confrontare le prestazioni dei robot e il progresso tecnico. Ovviamente, il basso tasso di successo nelle azioni, il processo decisionale e il rilevamento sono alcune delle lacune comuni da dover essere colmate al fine di ridurre i fattori che limitano la commercializzazione della robotica agricola.

A causa della crescente domanda di sicurezza alimentare, la classificazione automatica dei prodotti agricoli sta assumendo un ruolo sempre più importante nel settore agricolo. I robot automatici sono in grado di eliminare la necessità che gli operatori umani svolgano operazioni pesanti, monotone e pericolose e di dare alle generazioni future la possibilità di raggiungere la sostenibilità economica in piccole operazioni agricole di alto valore.

In base alle esigenze dei robot agricoli, i temi di ricerca sono stati estesi a settori più ampi, quali l'agricoltura di precisione, il cloud computing, l'interazione uomo-robot, il rilevamento e controllo,

la progettazione e ottimizzazione dei robot., sistemi multi-robot e operazioni di collaborazione, robot per diserbo, fertilizzazione, trapianto, irrorazione, innesto, fenotipizzazione e veicoli aerei senza pilota (Bechar & Vigneault, 2017).

Tutti questi nuovi aspetti della tecnologia porteranno alla cosiddetta "Agricoltura 4.0" data dall'interazione agricoltore-macchina come centro per la gestione dell'azienda agricola, con l'agricoltore che prende decisioni e utilizza attrezzature interconnesse che operano autonomamente sulla base del suddetto processo informativo. L'agricoltore di domani dovrà diventare una sorta di manager della tecnologia dell'informazione che opererà da remoto rispetto ad un operatore odierno che lavora sul campo, maneggiando lo sterzo della macchina e regolando manualmente le attrezzature (Santiago Santos Valle, 2020).

L'agricoltura è sia il luogo di sviluppo di nuove importanti tecnologie sia un'area chiave di applicazioni di tecnologie sviluppate altrove. Per questo motivo, si pensa che i progressi della scienza e dell'ingegneria robotica possano presto cambiare il volto dell'agricoltura (Sparrow & Howard, 2021).

CAP.3 FUNZIONAMENTO DEI ROBOT E I LORO APPROCCI

3.1 VARIETÀ DI INTERAZIONE UOMO ROBOT

Le macchine agricole in futuro dovranno essere in grado di percepire l'ambiente, localizzarsi attraverso i campi per eseguire compiti specifici. I sensori e le strategie sono uno dei compiti fondamentali per lo sviluppo di questo tipo di macchinari. In ambienti strutturati, come in fabbriche, questo è già possibile data la presenza di carrelli autonomi o semi-autonomi che muovono le merci all'interno dei magazzini. I carrelli si muovono grazie a semplici tracciati magnetici sul pavimento, che trasmettono un segnale magnetico o di punti di riferimento terrestri all'interno della fabbrica. In agricoltura questo tipo di tecnologia può essere utilizzata per le operazioni in serra, ma non direttamente applicabile in ambienti esterni e non strutturati. In ambienti esterni e non strutturali, può essere utilizzato il sistema globale di navigazione satellitare (GNSS), però questo non è sufficiente a causa della carenza di segnali in alcune parti dei campi e sotto le chiome, di conseguenza viene richiesto l'uso simultaneo di tecniche diverse. Dato che la capacità di auto localizzazione e di navigazione richieste possono variare drasticamente a seconda del campo e dell'applicazione, il numero e il tipo di sensori di cui sono dotati i robot possono variare. Infatti, con l'aumento dei numerosi sensori, i robot possono svolgere più compiti completi. Per questo motivo, la difficoltà di sviluppo di robot agricoli deriva da creare robot ad elevate prestazioni e strategie di navigazione specifiche, garantendo al contempo la sicurezza e i requisiti legali per il funzionamento autonomo. Con l'introduzione di sistemi robotici nei campi coltivati consentirebbe ad effettuare azioni sistematiche altamente ripetibili, come diserbi chimici e meccanici, monitoraggi del suolo e delle colture, falciatura di prati, posizionamento di vasi per le piante (Gil et al., 2023).

Secondo (Pedersen et al., 2006) la ricerca manuale delle infestanti richiede all'incirca 0,7uomini/h/anno/ettaro, mentre lo scouting autonomo riesce ad analizzare 4,32ha/h. Già da questi dati ci permette di capire come lo scouting in campo, da parte di robot autonomi, sia molto più efficace di una ricerca umana. Solitamente gli agricoltori non conducono sistematicamente esplorazioni in campo alla ricerca di infestanti. Poiché il veicolo robotico/autonomo potrebbe pattugliare i campi continuamente alla ricerca di erbe infestanti o altre minacce, è possibile inviare avvisi in tempo reale all'agricoltore ogni volta che si verificano determinate condizioni per evitare situazioni dannose in campo

L'uso dei moderni robot agricoli nelle operazioni quotidiane sul campo ha un grande potenziale. Le possibili limitazioni a causa dell'ambiente rurale complesso e poco definito possono essere superate

da un HRI (human-robot interaction) ottimale. I robot collaborativi, chiamati “cobot”, rappresentano un’evoluzione naturale che può potenzialmente risolvere una serie di sfide esistenti nelle attività agricole come pick and place, imballaggio e assemblaggio. La loro intenzione combina le capacità umane di giudizio e reazione con la forza e ripetibilità dei robot. Inoltre, il loro design consente un uso versatile in numerose applicazioni in un flusso di lavoro in continua evoluzione portando a diversi vantaggi, quali: rapido ammortamento del capitale grazie alla diminuzione dei costi di produzione, flessibilità nella riconfigurazione del sistema, ottimizzazione della produttività e della qualità dei servizi garantendo prodotti a valore aggiunto (Benos et al., 2020). L’HRI si concentra sulla comprensione, la progettazione e la valutazione di questo ecosistema emergente, in cui i lavoratori e i robot comunicano e condividono lo stesso spazio fisico di lavoro.

Ogni miglioramento relativo all’HRI necessita di diversi livelli di interazione che si basano principalmente su due principi, ovvero il livello di autonomia del robot e la vicinanza tra robot e uomo classificandosi così nella seguente maniera:

1. **ISOLAMENTO:** i robot industriali tradizionali sono segregati e le loro attività sono compiute all’interno di una cella isolata (recinzioni) dove non è mai consentita una HRI fisica diretta. Questo sistema, oltre a garantire la sicurezza, riduce la capacità del sistema di modificare rapidamente i parametri del processo. Inoltre, porta a perdere tempo per inserire e togliere parti sul posto di lavoro;
2. **COESISTENZA:** l’unica differenza con la modalità precedente è la mancanza di barriere. Questo sistema rafforza la capacità del robot di rilevare la presenza del lavoratore nella zona di azione. Sia la modalità di isolamento che di coesistenza non tengono conto della sincronizzazione HRI;
3. **SINCRONIZZAZIONE:** per ovviare a queste carenze in termini di costo e di tempo, il lavoratore e il robot possono operare in modo asincrono. Ad esempio, l’operatore identifica l’azione da compiere, solo in seguito il robot entra in azione. L’operazione può essere anche contraria, nel senso che il robot identifica l’oggetto oppure l’azione e successivamente l’uomo la compie;
4. **COOPERAZIONE:** consente al robot e all’uomo di operare contemporaneamente nella stessa area, realizzando così una cooperazione. Un’ applicazione agricola rappresentativa della cooperazione tra robot e uomo nello stesso spazio di lavoro è il caso del veicolo da frutteto che segue l’uomo per trasportare le ceste di mele durante la raccolta. Quindi quando l’operaio preme il pulsante, il robot segue gli operai mentre raccolgono le colture e le

mettono nei bidoni del robot. Quando i bidoni sono pieni il robot li trasporta in un camion alla fine della fila. In questa maniera, entrambi i lavoratori (uomo e robot) si trovano nello stesso spazio di lavoro, ma ognuno svolge un compito diverso;

5. **COLLABORAZIONE:** è la modalità più completa e desiderata dell'HRI, poiché entrambi i componenti del sistema possono eseguire lo stesso compito in modo sinergico, sfruttando sistemi di visione e sensori speciali. Un esempio è la possibilità che l'uomo compia delle decisioni grazie all'assistenza e suggerimenti dell' algoritmo di rilevamento robotico. La progettazione di sistemi robotici collaborativi è la questione più impegnativa nell'ambito dell'HRI. Soprattutto in agricoltura, la maggior parte dei robot deve lavorare in condizioni complicate, ma deve essere in grado di operare efficientemente in ambienti affollati evitando ostacoli e affrontando eventi imprevisti. I sistemi robotici possono essere costituiti da uno o più robot e da uno o più lavoratori che devono lavorare in modo sinergico per portare a termine uno o più compiti agricoli. È importante che la progettazione ottimale di tale sistema presti attenzione alle specifiche operazioni agricole, ai lavoratori, ai robot e all'interazione del sistema.

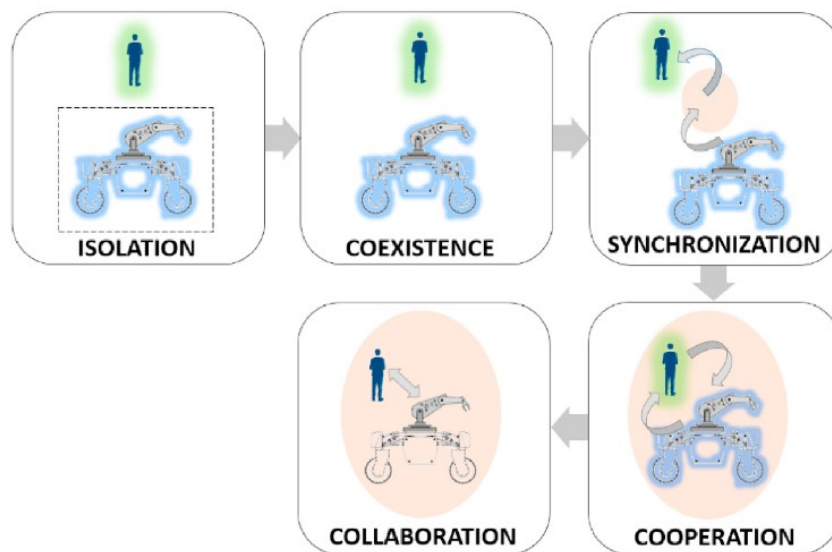


Figura 4: interazione uomo-robot (Benos et al., 2020)

3.2 REQUISITI DI APPLICAZIONE E IDENTIFICAZIONE DEI ROBOT

Come indicato in precedenza, la maggior parte degli approcci in robotica sono maggiormente indicati per l'industria (Bechar & Vigneault, 2016). In agricoltura l'uso della robotica è realizzabile se soddisfa almeno una delle seguenti condizioni:

- Il costo dell'utilizzo dei robot è inferiore a quello del prodotto e a quello di qualsiasi altro metodo concorrente;
- L'uso dei robot consente di aumentare la capacità produttiva dell'azienda agricola, i prodotti, i profitti e la sopravvivenza in situazioni di mercato competitive;
- L'uso di robot migliora la qualità e uniformità dei prodotti;
- Riduzione dell'incertezza e la variazione nei processi di coltivazione e produzione;
- Supporto all'agricoltore nelle decisioni e di agire con una risoluzione più elevata aumentando la qualità dei prodotti rispetto al sistema concorrente per raggiungere l'ottimizzazione nelle fasi di coltivazione e produzione;
- Capacità del robot di eseguire compiti specifici definiti pericolosi o che non possono essere eseguiti manualmente.

L'integrazione di ricerca e studio del rapporto tra uomo e robot ha permesso, nell'ultimo periodo, di creare una sistematica in grado di descrivere le varie categorie utili per classificare e confrontare i vari robot (Vasconez et al., 2019):

- Tipo di compito: il compito è specificato in funzione del sistema: es. robot di consegna, di soccorso, di carico/scarico;
- Criticità del compito: correlato all'importanza del compito da svolgere. Se un compito viene eseguito in modo errato in un rapporto di collaborazione e cooperazione con l'uomo può compromettere la salute dell'uomo;
- Morfologia dei robot: antropomorfo (aspetto umano), zoomorfo (aspetto animale) o funzionale (simile ad un'auto, o comunque ad un mezzo ordinario);
- Rapporto tra persone e robot: rapporto tra numero di umani e robot che eseguono un compito, anche variabile all'interno di un processo;
- Composizione del gruppo di robot: può essere omogeneo (più robot uguali) o eterogeneo (robot di tipo diverso);
- Livello di interazione condivisa: analizza tutte le possibili configurazioni di uno o più esseri umani e robot, che agiscono come individui o come una squadra;

- Ruoli di interazione: I ruoli che un essere umano può assumere quando interagisce con un robot possono essere di supervisione, operativi, meccanici, di programmazione, pari, di utilizzatore;
- Supporto decisionale: un aspetto chiave da considerare è il tipo di informazioni che vengono fornite agli operatori per il supporto decisionale. Questo può essere classificato in base alla preelaborazione, alle informazioni dei sensori disponibili e dal tipo di fusione di vari sensori;
- Tassonomia spazio-temporale: rappresenta se l'umano e il robot utilizzano o meno sistemi informatici contemporaneamente, l'interazione può essere sincrona o asincrona.

La comparazione tra i robot è determinata da diversi fattori quali la misura delle performance, i requisiti tecnologici, e le unità standard di misurazione come indicato i seguenti indici (Bechar & Vigneault, 2017):

- Ciclo di lavorazione: riferito alla media di tempo richiesto per completare un ciclo di operazioni, per esempio raccolta, scouting, potatura;
- Tempo di operazione in condizioni reali: media del tempo richiesto nel compiere un'operazione in condizioni agricole dinamiche;
- Velocità di operazione in condizioni reali: velocità media misurata durante un ciclo produttivo in condizioni reali;
- Tasso di produzione: definito come quantità prodotta o superficie coperta con successo per unità di tempo (ha/h, kg/h, numero di azioni/ora)
- Capacità di operazione in condizioni reali: abilità o meno di operare in condizioni reali;
- Capacità di rilevamento: capacità nel misurare, valutare o definire oggetti, confini, colori o caratteristiche fisiche o chimiche al fine di completare il compito dato.
- Rilevamento delle performance (%): abilità del robot di compiere azioni corrette in condizioni agricole dinamiche;
- Supporto alle decisioni appropriate (%): percentuale di decisioni appropriate che la macchina svolge lungo il ciclo produttivo in condizioni agricole dinamiche, il tipo di decisione varia in funzione dell'azione impartita alla macchina come, ad esempio, girare nella giusta direzione, raccogliere i prodotti maturi, applicare nelle superfici corrette, iniziare e terminare nella posizione appropriata;
- Rapporto di successo dell'azione: rapporto di azioni svolte con successo rispetto alla totalità di azioni da svolgere senza rovinare le colture in atto;

- Media e deviazione standard di errore di posizionamento: media e deviazione standard sull'errore di posizionamento in termini di differenza di distanza e angolo tra la posizione stimata e la reale posizione dell'oggetto;
- Sicurezza: sistemi di sicurezza verso umani, infrastrutture, piante, solitamente complesso dal definire, soprattutto per la definizione delle colpe in caso di incidente;
- Capacità totale: abilità del sistema robotico a definire una soluzione completa e coordinare la funzione principale ad altre sub-funzioni.

3.3 FASI DI LAVORO DEI ROBOT

Il processo di funzionamento classico dei robot agricoli consiste in quattro fasi generali. In primo luogo, il robot rileva e acquisisce i dati grezzi dell'ambiente utilizzando vari sensori utili per acquisire informazioni sull'ambiente e di estrarre dati preziosi grazie all'utilizzo di sensori di portata, di visione artificiale e telecamere di profondità. Oppure i dati possono essere rilevati in precedenza da altri macchinari; in secondo luogo, il robot elabora e analizza i dati ricevuti dai suoi sensori per generare un ragionamento e una percezione dell'ambiente, del compito e del suo stato fino a raggiungere un certo livello di consapevolezza della situazione; in terzo luogo, il robot genera un piano operativo basato sulla sua percezione dell'ambiente e dello stato, o sugli obiettivi del compito. Si crea così una mappa dell'ambiente circostante al fine di localizzare il veicolo e di mantenere un tracciamento geografico dell'attività e delle informazioni relative all'attività agricola; nel quarto punto il robot esegue le azioni richieste dal piano operativo. Il sistema di navigazione riguarda il modo in cui la macchina si muove all'interno dell'ambiente, il modo in cui affronta lo slittamento, i vincoli di manovrabilità e il modo in cui pianifica il suo movimento per svolgere il compito agricolo interagendo con l'ambiente. Durante lo svolgimento del compito in campo il robot segue continuamente queste quattro fasi dato che lo stato ambientale cambia continuamente. La limitata capacità di ragionamento dei robot agricoli porta a ridurre le prestazioni globali facendo apparire questo piano inefficace, per questo motivo l'integrazione umana soprattutto nelle fasi di ragionamento e pianificazione possono essere fondamentali. I robot agricoli che operano in ambienti non strutturati richiedono delle abilità come l'evitamento di ostacoli risolvibili con il soprasso, il rallentamento o l'arresto del mezzo, l'auto localizzazione, l'esplorazione, la sicurezza, la semina, la raccolta, la selezione e la manipolazione.

In questo contesto, la macchina operativa presenterà dei compiti primari come semina, raccolta, concimazione, irrorazione e compiti secondari come rilevamento di erbe infestanti, ostacoli, trasporto. Inoltre, quando è presente un rapporto di collaborazione o di cooperazione con l'uomo la macchina dovrebbe essere in grado di interpretare il tipo di interazione con l'uomo al fine di ottimizzare il compito agricolo e proteggere l'integrità di entrambi (Bechar & Vigneault, 2017), (Cheein et al., 2015).

3.4 SENSORISTICA

La sensoristica nei robot viene utilizzata per svolgere un'ampia varietà di missioni come la mappatura, la localizzazione, la navigazione, la guida, il rilevamento, riconoscimento piante e la misurazione di parametri ambientali.

Oltre al solo riconoscimento i sensori sono utili anche come supporto alle decisioni, l'esecuzione del compito e la valutazione delle prestazioni del robot. I sensori possono quindi essere classificati in funzione ai dati che generano, di conseguenza potremmo avere sensori di misurazione del movimento, ovvero odometria o segnali inerziali e artificiali, posizionamento laser/radar oppure sensori che rilevano le caratteristiche locali con sonar o visione artificiale. Anche il posizionamento assoluto tramite posizionamento globale può essere classificato come categoria di sensori, come anche i sensori utilizzati per parametri ambientali come il vicino infrarosso (NIR), l'infrarosso (IR), raggi X, la fluorescenza, l'acustica, l'ottica, la visione bi e tridimensionale e la misurazione della forza. I sensori all'interno di una macchina possono essere collocati in differenti zone sia interni che esterni alla macchina. I sensori interni misurano lo stato di numerose parti del sistema, come ad esempio gli encoder che misurano come le parti rotanti possono variare angolazione, o gli accelerometri che misurano le accelerazioni lineari o l'inerzia e i giroscopi che misurano le accelerazioni rotazionali. Questi sensori possono essere incapsulati, ottenendo così un pacchetto robusto. Tuttavia, i sensori interni tendono ad andare alla deriva e ad accumulare errori dovuti alla variazione di temperatura, slittamento di ruote o cingoli e ad eventuali esposizioni a campi magnetici locali e alla vicinanza di materiali magnetici.

I sensori esterni utilizzati nei robot agricoli o in sistemi auto-associati raccolgono informazioni ambientali relative allo stato del sistema rispetto alla posizione del robot e al posizionamento locale dei suoi vari componenti utilizzando GPS, IR, visione artificiale, radar laser (LIDAR) e parametri ambientali. Tra questi sensori esterni, la visione artificiale e i sensori GPS hanno ottenuto il maggior successo commerciale. I sensori GPS forniscono il posizionamento esatto e in funzione del tipo di sistema di localizzazione si può essere più o meno precisi, per esempio il sistema GPS cinematico in tempo reale (RTK) permette di raggiungere una precisione nell'ordine delle decine di centimetri.

In alcuni casi però il sistema di tracciamento tende a perdere di precisione e ad accumulare errori come il caso in cui venga utilizzato in frutteti dove la copertura vegetale può bloccare o limitare la localizzazione. Anche l'ambiente della serra genera errori di posizionamento, poiché la sua struttura restituisce segnale GPS in più direzioni. Il loro costo elevato è uno dei principali fattori che aumentano il costo del sistema robotico (Bechar & Vigneault, 2016).

La sensoristica viene utile anche per il funzionamento e la manipolazione con pinze robotiche. Queste permettono ai robot di interfacciarsi meccanicamente tra loro e l'ambiente. La progettazione di pinze robotiche deve tentare di simulare le attitudini di vantaggio con l'obiettivo di afferrare qualsiasi tipo di oggetto copiando le abilità umane, come il senso del tatto e la percezione visiva. Grazie all'aiuto dei sensori queste pinze possono non solo manipolare il pezzo da lavorare, ma anche analizzarlo e prendere decisioni sulla base della fusione di dati sensoriale (Zhou & Additional, 2016).

Le macchine utilizzate per la produzione e coltivazione di colture sono composte da numerosi sottosistemi e dispositivi che consentono il funzionamento e l'esecuzione dei compiti. Questi sottosistemi e dispositivi riguardano la pianificazione del percorso, la capacità di navigazione e di guida, la mobilità, lo sterzo e il controllo, il rilevamento, i manipolatori o altri dispositivi funzionali simili, linee guida su come gestire eventi singoli o simultanei non previsti e una certa autonomia. I robot agricoli sono generalmente progettati per eseguire un compito principale, che solitamente è un compito specifico come seminare, diserbare, potare, raccogliere, imballare, manipolare ecc... Per eseguire la funzione principale, il robot richiede la capacità di eseguire diversi "compiti di supporto". Ogni compito di supporto controlla uno o più sottoinsiemi e dispositivi e ogni sottoinsieme o dispositivo può servire a diversi compiti di supporto. Per esempio, in un robot che monitora le malattie, il compito principale sarà monitorare la malattia mentre i compiti di supporto saranno l'auto localizzazione, la pianificazione della traiettoria, guida e navigazione dalla posizione attuale a quella nuova, eventuale collaborazione o cooperazione con l'interfaccia umana o con altri robot o con oggetti inaspettati nel percorso modificando o arrestando la traiettoria prestabilita. La pianificazione del percorso è considerata un sotto compito della navigazione che è uno dei compiti di supporto più richiesti nei robot agricoli (Bechar & Vigneault, 2016). La pianificazione del percorso consiste nel trovare il percorso migliore evitando la collisione con i vari ostacoli, ridurre delle sovrapposizioni o saltare delle aree per l'applicazione di fertilizzanti, migliorare la tempestività delle operazioni grazie alla possibilità di programmarle 24 su 24 anche in condizioni di scarsa visibilità, migliorare l'applicazione di acqua e fertilizzanti sulla base delle misurazioni e della mappatura dei requisiti delle piante incrementando così le pratiche agricole di precisione (Bechar & Vigneault, 2017).

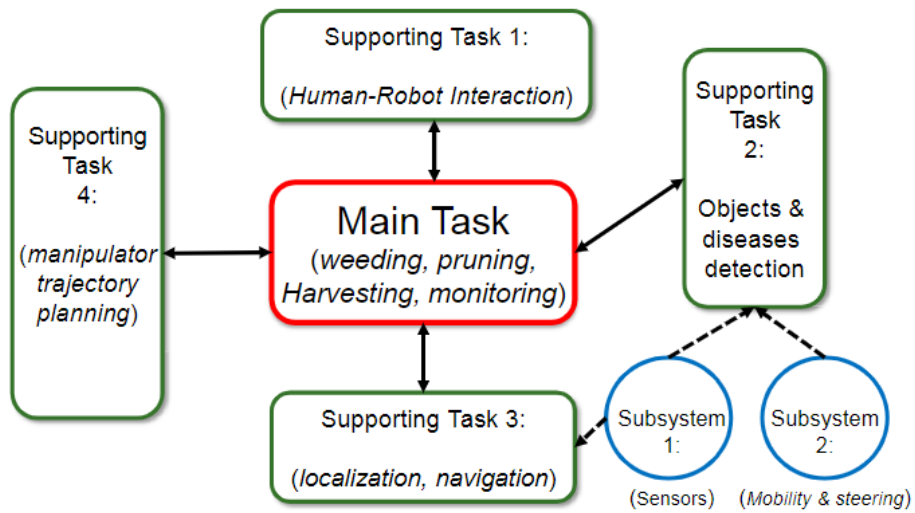


Figura 5: azione principale (rosso) e azioni secondarie (verde) gestite da sottosistemi (blu)(Bechar & Vigneault, 2016)

3.5 CLASSIFICAZIONE DEI ROBOT IN AGRICOLTURA

Secondo (ABN AMRO in conjunction with FME Cluster Agri & Food and GMV, 2020) le componenti e le funzioni che i robot agricoli possono compiere permettono di definire una loro classificazione in funzione dell'azione principale che viene eseguita. In questa maniera è possibile categorizzarli in:

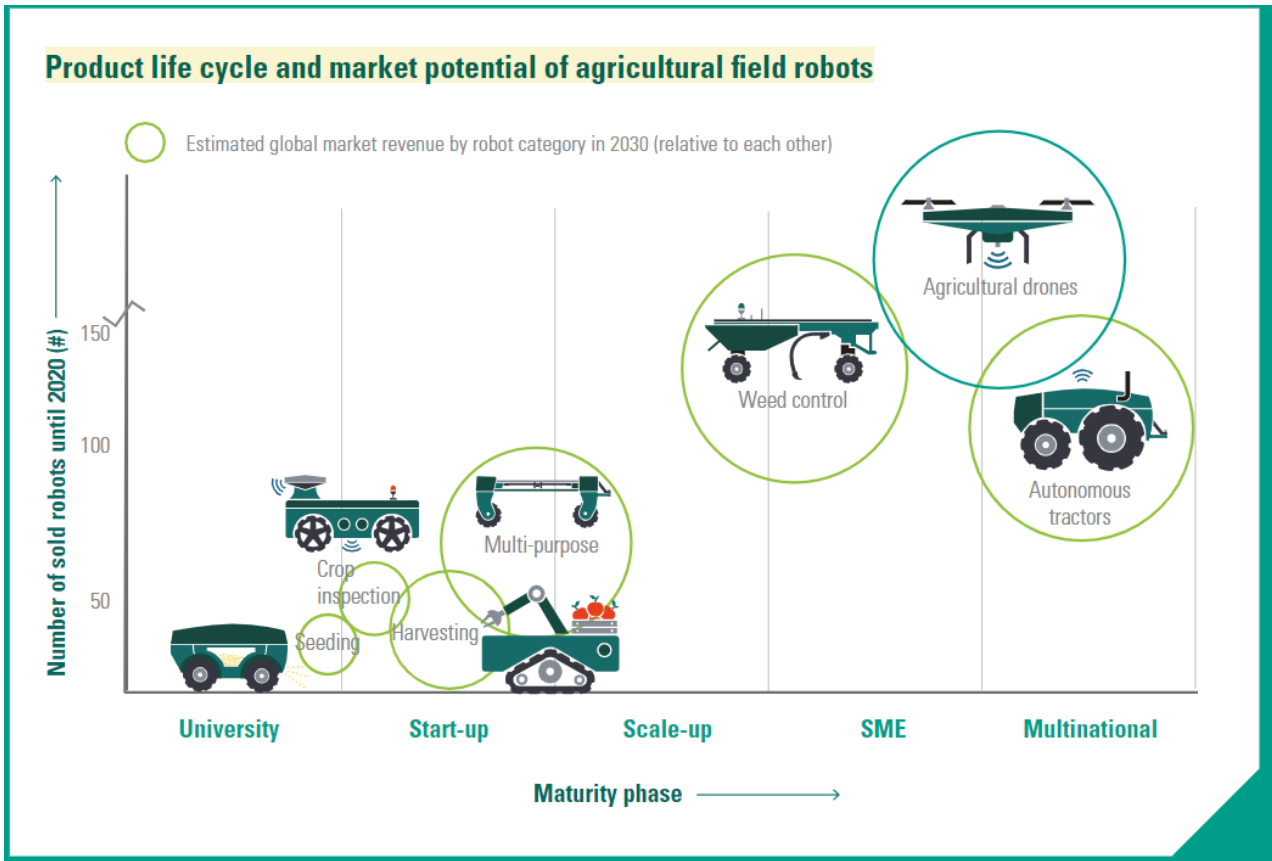



Figura 6: potenziale di mercato dei robot agricoli (ABN AMRO in conjunction with FME Cluster Agri & Food and GMV, 2020)

1. ROBOT PER IL CONTROLLO DELLE INFESTANTI: è la categoria più ampia di robot utilizzati in agricoltura per il controllo delle infestanti, tra cui diserbatrici meccaniche o irroratrici chimiche;

Weed control robots




Company name	Parent company	Name of robot	Country
ACFR		RIPPA, VIPPA en Ladybird	AU
Adigo		Asterix	NW
AgTech Carbon-bee		SmartStriker	FR
Amazone		Bonirob	DE
Berthoud Agricole SAS			FR
BlueRiver Technologies	John Deere		US
Braun Maschinenbau			DE
Carré SAS		Anatis	FR
Deepfield Robotics	Bosch grow platform GmbH	Aquilla	DE
ecoRobotix SA		AVO, ARA	CH
Etarob			DE
F.Poulson Engineering ApS.		Robovator	DK
FarmBot		Genesis	US
FarmDroid ApS		FarmDroid FD20	DK
FarmWise			US
Franklin Robotics		Tertill	US
Garford Farm Machinery Ltd	Zürn Harvesting GmbH & Co. KG		VK
GUSS Automation LLC		GUSS	VS
HayBeeSee		Crophopper	GB
Hortibot			US
Ibex Automation Ltd			GB
IdaBot			VS
Naio Technologies		Dino, OZ, TED	FR
Odd.bot		Weed Whacker	NL
Rometron bv			NL
Small Robot Company (SRC)		Tom (scout), Dick (weed), Wilma	GB
Steketee	LEMKEN GmbH (DE)		NL
SwarmFarm Robotics			AU
TartanSense			IN
Trabotyx			NL
Vitirover			FR

Figura 7,8,9,10,11,12,13 tipologie di robot e principali produttori (ABN AMRO in conjunction with FME Cluster Agri & Food and GMV, 2020)

2. **ROBOT MULTIUSO:** la seconda categoria di robot da campo maggiormente utilizzata dato che con la stessa macchina è possibile compiere più lavorazioni durante il ciclo colturale come semina, diserbo, ispezione, raccolta come ad esempio il robot dell'azienda Agrobot chiamati **ROBOTTI**;

Multi-purpose robots




Company name	Parent company	Name of robot	Country
Agrobot		Robotti	DK
Augean Robotics, Inc.		Burro	US
Clearpath Robotics			CN
Continental AG		Contadino	DE
DOT Farming reimagined	Raven Industries (VS)		CA
Harvest Automation		HV-100	US
Instar Robotics			FR
Korechi		RoamIO	CA
Maka Autonomous Robots		Maka-ARS	US
Octinion Technology Group		Rubion, Titanion	BE
Pixel farming Robotics		Robot One	NL
Ruvu			NL
Saga Robotics		Thorvald	NO
VitiBot		Bakus	FR

Figura 8

3. **TRATTORI AUTONOMI:** assomigliano a trattori agricoli veri e propri solamente che la guida è autonoma. Alcune aziende offrono dei "kit di conversione" per rendere autonomi anche i trattori agricoli convenzionali;

Autonomous tractors



Company name	Parent company	Name of robot	Country
AGCO Netherlands B.V.	AGCO International Ltd. (US)		US
AgXeed			NL
Autonomous Tractor Corporation		Spirit (demo)	US
AutoSaturn			AR
Avrora Robotics		AgroBot	RS
Bear Flag Robotics	John Deere (US)		US
Case IH	Case IH CNH Industrial, Exor Agnelli	Magnum	NL
Elatec		E-tract	FR
Escorts/Farmtrac			ID
Farmtronics Engineering bv		eTrac-20	NL
Hyllion			US
John Deere Nederland bv	John Deere (US)		NL
Kubota		Farm Pilot	JP
Mahindra			IN
Precision Makers	Alamo Group (US)	GreenBot	NL
Renu Robotics Corp.			US
Rhoban System		eTract	FR
Rostselmash			RS
Sabi Agri		Alpo	FR
Sitia		Trektor	FR
SwarmFarm Robotics			AU
Yanmar Agribusiness Co. Ltd.	Yanmar Holdings Co. (JP)	Concept YT01	JP

Figura 9

4. **ROBOT DA RACCOLTA:** I robot da raccolta stanno ricevendo particolare attenzione dato che consentono di risparmiare sui costi di manodopera e di ridurre reclami relativi a questa. Ovviamente l'azione di raccolta è difficoltosa data dalle molteplici varietà di frutta e verdura e dall'eventuale copertura vegetale che ostacola il riconoscimento e la raccolta;


Harvesting robots			
Company name	Parent company	Name of robot	Country
Abundant Robotics, Inc.			US
Advanced Farm Technologies, Inc	o.a. Yamaha, Kubota		US
Agerris		SwagBot	AU
Agrobot	Soluciones Roboticas Agricolas (ES)	E-series	ES
AvL Motion bv		Compact S1560	NL
Cerescon bv		Spartar	NL
Codian Robotics	Codian (US)	TD-4	NL
Crux Agrobotics	One of A Kind Technologies		NL
Denso		Faro	JP
Dogtooth Technologies			US
Energid	Teradyne (US)		US
FFRobotics			IL
Harvest Croo Robotics		Berry 5	US
Iron Ox			US
Metomotion		GRoW	IL
Octinion Technology Group		Rubion, Titanion	BE
Pellenc S.A.S.		Optimum	FR
Raussendorf GmbH		Casar	DE
Robotics Plus			NZ
Rolan Robotics			NL
Root AI, Inc		Virgo	US
Saia Agrobotics			NL
Syha			FR
Tomoba			NL
Tortuga AgTech	Spero Ventures (US)		US
Traptic			US

Figura 10

5. ROBOT PER L'ISPEZIONE: robot che permettono di controllare eventuali malattie presenti in campo e ispezionare la crescita della coltura in campo.

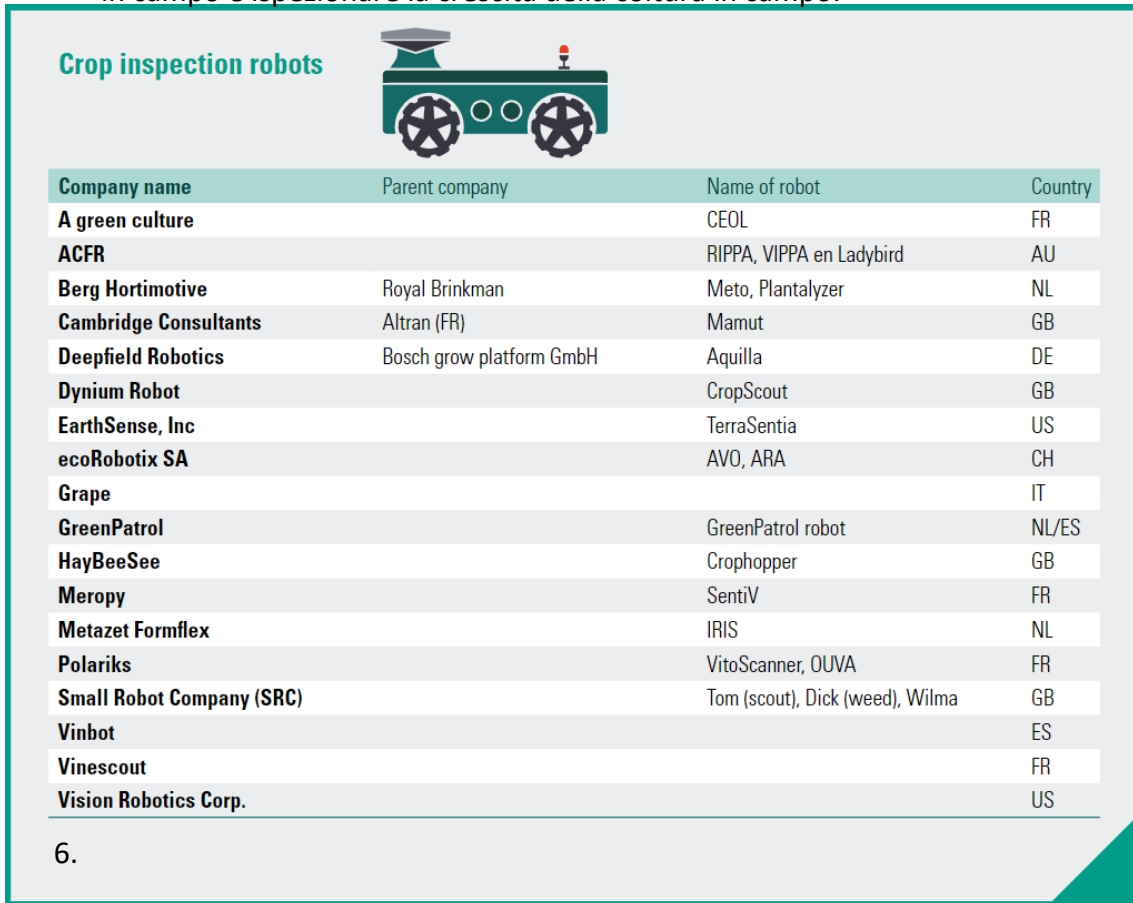


Figura 11

7. ROBOT PER LA SEMINA: questi robot, per ora ancora robot in fase di sviluppo, permettono la semina autonoma. Possono essere composti dal più robot di piccole dimensioni che lavorano simultaneamente.

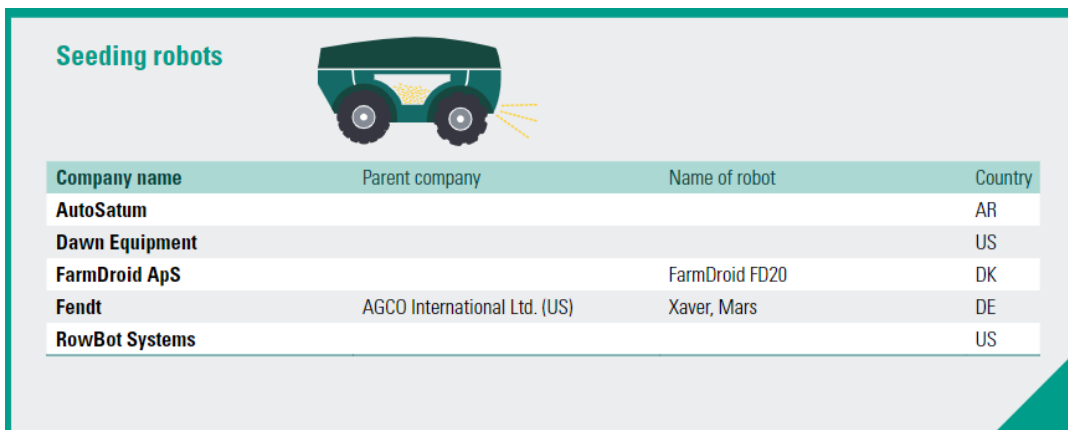



Figura 12

8. DRONI: macchine non utilizzate solamente in agricoltura, ma utili per rilievi e in alcuni casi anche come impollinatori artificiali.

Drones



Company name	Parent company	Name of robot	Country
AgEagle Aerial Systems Inc	NYSE: UAVS	Agribotix	US
Avular bv			NL
Delair			US
DJI Agriculture	DJI (CN)	T16, Matrice, Phantom	CN
Drone4	OEM Group (NL)		NL
Kiwi Technologies			US
Lehmann Aviation Ltd			FR
Nileworks Inc.	o.a. Sumitomo Corp	Nile T19	JP
Panasonic Corp.			JP
PATS Indoor Drones Solutions			NL
Percepto	o.a. Hyundai		US
Pyka			US
senseFly (eBee AG)	Parrot Group (CH)		CH
Volocopter GmbH			DE
Wingtra AG			CH
XAG Co. Ltd.		Xplanet	CN
Yuneec	o.a Intel		CH

Figura 13

3.6 STRUTTURAZIONE DELL'AMBIENTE E I SUOI VINCOLI

Il mondo dei robot classifica l'ambiente in quattro diverse categorie in funzione delle caratteristiche strutturali dell'ambiente: ambiente e oggetti strutturati tipico di aziende meccaniche, ambiente destrutturato e oggetti strutturati tipico di robot utilizzati in campo militare, sott'acqua, sottoterra, ambiente strutturato e oggetti destrutturati tipico in robot utilizzati in campo medico, ambiente e oggetti destrutturati tipico dei robot utilizzati in agricoltura. Gli ambienti agricoli richiedono che il robot sia in grado di muoversi, a differenza della maggior parte dei robot nelle fabbriche. Nell'ultima situazione molti robot falliscono a causa dei numerosi eventi imprevedibili. L'automazione dei robot agricoli è ora considerata essenziale per migliorare l'efficienza del lavoro e dovrebbe includere il potenziale per migliorare la qualità dei prodotti freschi, abbassare i costi di produzione e ridurre la fatica del lavoro manuale (Bechar & Vigneault, 2016).

Per limitare la destrutturazione nell'ambiente agrario, si è aperta la possibilità di aggiungere delle strutture per le applicazioni robotiche superando così i vincoli e facilitando l'interazione uomo-robot. I vincoli che si possono presentare sono i seguenti:

- Variabilità spaziale e temporale: la conoscenza della distribuzione storica e attuale delle rese è necessaria per identificare le zone ad alta presenza di operatori per la raccolta e di definire quindi le priorità dei compiti del robot;
- Variabilità del campo: i fattori dell'appezzamento come altezza s.l.m., pendenza, vicinanza ai corsi d'acqua e altri ostacoli, sono indispensabili per la navigazione e la progettazione delle tecniche di controllo dello slittamento e trazione dei robot;
- Variabilità del suolo: il robot può essere influenzato sia per la navigazione in funzione delle proprietà fisiche del suolo (consistenza, densità, resistenza meccanica) sia in funzione del suo compito che potrebbe essere orientato proprio sulla gestione e determinazione delle proprietà del suolo;
- Variabilità delle colture: densità delle colture, altezza, fertilizzazioni, stress idrico, proprietà biofisiche sono elementi che il robot può richiedere sia per pianificare la navigazione evitando così di danneggiare le colture, sia per rilevare i parametri per determinare lo stato di salute della coltura ed attuare un eventuale piano di trattamento;
- Variabilità da fattori anomali: il rilevamento preciso e continuo di erbe infestanti, insetti, nematodi e altre malattie, oltre che ai danni causati dal vento e altre condizioni avverse, sono fondamentali durante le attività di cura da parte dei robot durante il ciclo colturale;

- Vincoli gestionali: le pratiche di lavorazione del terreno, densità di semina, rotazione delle colture, applicazione di fertilizzanti e pesticidi sono elementi che il robot deve conoscere durante il suo ingresso in campo per evitare interferenze con l'eventuale lavoro manuale ed evitare di perdere tempo nell'appezzamento;
- La variabilità dei parametri climatici è per lo più di natura temporale. Tuttavia, il monitoraggio intensivo delle precipitazioni su tutti i campi è importante anche per aiutare le decisioni sulle applicazioni dei fertilizzanti.

CAP.4 NORMATIVA E SICUREZZA

4.1 CONCETTI DI LEGGE

Il rapporto tra uomo e macchina in futuro potrà essere una collaborazione sempre più stretta. È altrettanto importante sottolineare che ci sono altre sfide che i robot devono affrontare prima di affermarsi in maniera marcata. Uno di questi colli di bottiglia è la mancanza e limitatezza della regolamentazione che definisca l'interazione delle macchine autonome, in questo caso di tipo agricolo, con gli esseri umani e l'ambiente solitamente impiegati in appezzamenti privati. Questo quadro normativo richiede definizioni che determinino la capacità civile o penale in caso di incidenti, di danneggiamento di proprietà, animali, ambiente e altro. Inoltre, ci sono altre situazioni d'ombra che riguardano il processo decisionale, di autoapprendimento e autonomia di un robot autonomo (Gil et al., 2023).

La regolamentazione delle macchine dovrebbe essere suddivisa in varie forme quali leggi, direttive recepite dagli stati membri come leggi, regolamenti dell'UE cioè leggi immediatamente vincolanti e standard tecnici definiti da comitati tecnici come International Standard Organization (ISO), Il Comitato europeo per la standardizzazione (EN), l'American National Standards Institute (ANSI), comitati nazionali come il British Standards (BS) tutti elementi utili affinché un prodotto possa essere commercializzato (Basu et al., 2020).

La mancata osservazione di questi atti porta alla costituzione di illeciti con conseguenze azioni amministrative civili e penali.

MOTHER REGULATION E DIRETTIVA MACCHINE

Le normative seguite nell'applicazione dei robot sono la Mother regulation come Regolamento UE 167/2013 e la Direttiva Macchine 2006/42/CE:

La Mother regulation è un provvedimento che abroga integralmente la direttiva 2003/37/CE inerente all'omologazione dei trattori agricoli o forestali, dei loro rimorchi e delle loro macchine intercambiabili trainate, nonché dei sistemi, componenti ed entità tecniche di tali veicoli. L'obiettivo principale del nuovo regolamento è la creazione di maggiore competitività tra le aziende grazie a procedimenti di armonizzazione e semplificazione delle procedure di omologazione per i mezzi agroforestali in tutti gli Stati dell'Unione Europea. Questo regolamento europeo ha cominciato ad essere obbligatorio per tutti i trattori agricoli a ruote dal 1° gennaio 2018.

La “Direttiva Macchine” (2006/42/CE) invece, regola il materiale necessario che il fabbricante è tenuto a considerare nella commercializzazione della macchina tutelando così la sicurezza degli utilizzatori e permettendo la sua commercializzazione all’interno dell’Unione Europea grazie alla presenza di una armonizzazione tecnica. Per seguire questo, il fabbricante deve essere in grado di definire la destinazione d’uso della macchina (macchina, quasi macchina, componenti di sicurezza, attrezzature intercambiabili, accessori di sollevamento, catene, funi e cinghie, dispositivi amovibili di trasmissione meccanica) e indicare come evitarne un uso improprio ragionevolmente prevedibile. Inoltre, ove applicabile, il manuale di istruzioni deve contenere avvertenze relative alla modalità di non utilizzo del macchinario cosicché nel caso in cui venissero ignorate, l’utilizzatore potrebbe essere tenuto responsabile. A tale scopo chi fabbrica il mezzo, cioè chi appone il proprio marchio o un altro segno distintivo sul prodotto è tenuto a fornire le informazioni necessarie come le istruzioni prima di immettere il macchinario sul mercato o metterlo in servizio.

Queste normative Europee tengono poco in considerazione i robot in agricoltura, ma al tempo stesso sono le fonti principali su cui i produttori si possono basare per poter elaborare una macchina agricola di tipo autonomo.

Un’altra direttiva da considerare è la 85/374/CEE riguardo alla responsabilità di danno da parte di prodotti difettosi.

La probabile sostituzione della Direttiva macchine con una proposta di regolamento più recente (2021/0105 COD)) apre la possibilità a regolamentare in maniera più concreta le nuove tecnologie riguardo alla costruzione, alla sicurezza, alla formazione degli utilizzatori e limitare eventuali minacce connesse alle nuove tecnologie.

ISO

I sistemi di certificazione sono elementi volontari che cercano di dare uno standard al prodotto, dando così anche un’indicazione di solidità e sicurezza della macchina. Uno dei principali standard di sicurezza applicati nella maggior parte dei prodotti presenti nel mercato è uno standard chiamato SIL (Safety Integrity Level o livello di integrità sulla sicurezza)

Gli standard ISO tenuti in considerazione sono i seguenti:

- ISO 10218: Robot e dispositivi robotici, requisiti di sicurezza per robot industriali;
- ISO 15066: Robot e dispositivi robotici-robot collaborativi, fornisce i sistemi che coinvolgono robot ed esseri umani che lavorano insieme;
- ISO 18497: Sicurezza dei trattori autonomi;

- ISO 17757: Macchine autonome per il movimento terra.

Oltre ad aspetti di legge e standard le responsabilità di una persona sono definite anche in funzione di rapporti contrattuali, e dove consentito per legge, le parti possono escludere o limitare le proprie responsabilità per determinati atti o omissioni. In altre parole, un rapporto contrattuale è disciplinato dal contratto piuttosto che dalla legge e le parti possono compiere un'azione civile per far rispettare i termini del contratto, comprese le richieste di risarcimento del danno per le violazioni del contratto. In molti casi la responsabilità per l'utilizzo dei robot in agricoltura rimane a carico dell'utilizzatore il quale, per potersi tutelare, sarà spinto nello stipulare un'assicurazione a livello aziendale.

Tra le tecniche più rilevanti per gestire la sicurezza nelle applicazioni cooperative si trovano: sensori forza-coppia con relativo algoritmo di controllo, sensori tattili e di pressione, velocità massima consentita per il robot, sensori di prossimità, rilevatori di area e telecamere per rilevare oggetti nelle vicinanze e la necessità di un pulsante di arresto di emergenza (Vasconez et al., 2019).

Secondo ISO 15066 ci dovrebbero essere quattro metodi da prendere in considerazione per raggiungere la sicurezza (Benos et al., 2020):

1. Arresto monitorato di sicurezza: il robot si ferma immediatamente quando il lavoratore entra nell'area di lavoro grazie alla presenza di sensori e di un software in grado di elaborare il movimento rilevato e mettere in pausa il robot, mentre l'operatore esegue il compito. Il robot riprenderà il compito una volta che l'uomo ha lasciato la zona di lavoro.
2. Guida manuale: il robot viene controllato dall'uomo tramite un dispositivo di guida a mano ad una velocità sicura. Quando il robot torna in modalità autonoma questo riprende la funzione "arresto monitorato di sicurezza";
3. Monitoraggio della velocità e separazione: l'uomo e il robot possono lavorare contemporaneamente nello spazio di lavoro, sempre se vengono rispettati i limiti di sicurezza, di conseguenza il robot deve essere in grado di combinare distanza di sicurezza e velocità, quando l'operatore o un altro oggetto si trova nella stessa area di lavoro, al fine di evitare qualsiasi contatto rischioso;

- Limitazione della potenza e della forza: è necessario condurre l'analisi dei rischi biomeccanici per identificare i limiti di sicurezza della pressione e delle forze durante il contatto fisico. A tal fine, il sistema di controllo del robot regola la sua velocità in modo che la pressione al momento del potenziale contatto siano compresi nei limiti di sicurezza per prevenire lesioni.

Le ultime due modalità tendono ad essere le più innovative ne rapporto uomo-robot, grazie alla presenza di sensori visivi accurati, insieme allo sviluppo di algoritmi di controllo, per adattare il movimento del robot al comportamento umano in modo dinamico.

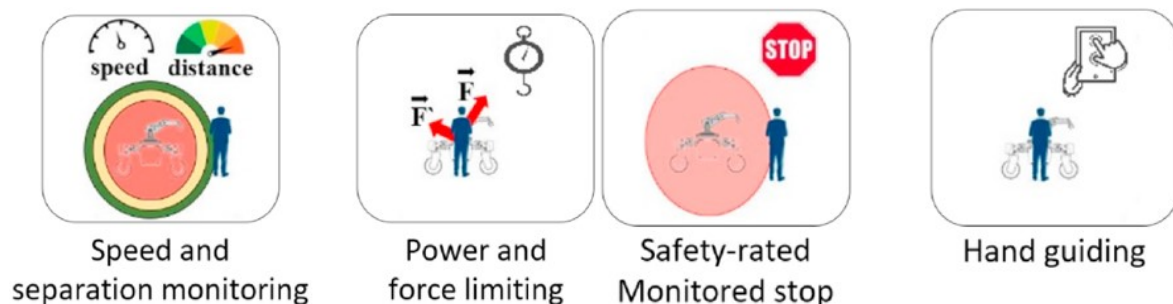


Figura 14 sistemi di sicurezza (Benos et al., 2020)

Quando i robot sono attivi in ambienti di coltivazione aperto, di solito devono essere tenuti sotto continua supervisione. Tale supervisione continua elimina il grande vantaggio di un robot autonomo. In alcune nazioni come Australia, Stati Uniti e Giappone, dove il vuoto normativo si sta colmando, i robot in agricoltura possono essere utilizzati senza la supervisione di un operatore. Una revisione e un adeguamento delle normative è vitale in vari settori del mercato Agritech (ABN AMRO in conjunction with FME Cluster Agri & Food and GMV, 2020).

Dato che l'utilizzo dei robot agricoli avviene in ambiente agricolo, solitamente privato, si può migliorare la situazione di sicurezza mettendo delle barriere e della segnaletica attorno alle aree di operazione delle macchine autonome al fine di limitare contatti con individui esterni (www.agricultural-robotics.com).

Nel contesto agricolo, la tecnologia è progredita dai sistemi di assistenza alla guida del trattore come i display RTK-GPS, a piattaforme completamente autonome e a guida autonoma in grado di svolgere attività agricole senza alcun intervento umano. Mentre gli aspetti legali dei veicoli autonomi su strada sono stati ben studiati, è necessaria una comprensione analoga dai veicoli agricoli autonomi. Mentre le operazioni dei veicoli su strada si svolgono in luoghi pubblici, autostrade e sono regolati dalla legislazione sulla circolazione, la maggior parte dei robot agricoli è destinata a operare su

terreni agricoli di proprietà privata, disciplinati da diverse leggi aziendali, agricole e ambientali. Tuttavia, gli appezzamenti non sono esenti da interazioni con gli esseri umani, la cui sicurezza e posizione legale devono essere considerate (Basu et al., 2020).

DIFETTOSITÀ

Nonostante la normativa seguita da produttore in alcuni frangenti il prodotto può presentare delle difettosità. Un prodotto difettoso è un prodotto, il quale non fornisce la sicurezza che una persona ha il diritto di aspettarsi, considerando tutte le circostanze inclusa la presentazione del prodotto. Un prodotto viene considerato difetto anche quando la sua sicurezza non è quella che la persona in generale ha il diritto di aspettarsi. Nel caso in cui la difettosità porta a lesioni all'operatore il produttore può essere ritenuto responsabile; pertanto, poiché è probabile che il robot agricolo venga considerato un prodotto, i suoi produttori e progettisti sarebbero soggetti alle leggi che regolano la responsabilità dei prodotti difettosi. Inoltre, gli agricoltori in qualità di utenti o proprietari del robot agricolo e i loro rispettivi agenti possono essere soggetti a diverse norme legali e disposizioni statutarie che disciplinano a negligenza, gli incidenti e le lesioni alle persone.

La direttiva 85/374/CEE non ha un'applicabilità diretta alla responsabilità per danni causati da robot autonomi e attualmente non esiste una definizione di robot autonomi ai sensi delle leggi dell'UE. Tuttavia, si vuole definire un robot autonomo come la capacità del robot di prendere decisioni e attuare nel mondo esterno, indipendentemente dal controllo e dall'influenza esterna (Basu et al., 2020).

Ipotesizzando che si possano stabilire danni, lesioni o perdite, si vuole applicare le seguenti regole di responsabilità:

- I fabbricanti e i produttori dovrebbero essere strettamente responsabili per i danni che possono essere ricondotti alla progettazione dei robot, come un errore dell'algoritmo che causa un comportamento dannoso;
- Per robot venduti con un software open source, la responsabilità dovrebbe essere della persona che ha programmato l'applicazione che ha portato il robot a causare il danno.
- Quando il danno è causato dal robot durante la fase di apprendimento il suo utente o proprietario dovrebbe essere responsabile del danno;
- Se la vittima del danno è un operatore, questo viene considerato come infortunio sul lavoro, mentre se la vittima è una persona terza, la situazione richiede lo sviluppo di nuove regole;

- Nel caso in cui il robot venisse noleggiato, il noleggiatore dovrebbe rimanere responsabile. La logica però diventa complessa dato che ogni noleggiatore può insegnare al robot cose diverse, rendendo così complesso individuare il noleggiatore che ha contribuito a creare l'azione che ha provocato il danno.
- I futuri strumenti legislativi dovrebbero prevedere l'applicazione della responsabilità oggettiva per i danni causati da robot intelligenti, portando così al risarcimento in funzione dell'entità dei danni senza limite di risarcimento verso la parte lesa.

GESTIONE DEI DATI:

Un altro aspetto molto importante da considerare tra le responsabilità del robot agricolo sono le implicazioni sulla privacy e sulla protezione dei dati delle informazioni raccolte durante le varie operazioni effettuate. Le operazioni sopracitate si riferiscono al monitoraggio delle condizioni del suolo e delle piante, la creazione di mappe delle fattorie per la navigazione generale. Questi dati possono avere un valore commerciale non solo per il proprietario dell'azienda, ma anche per altri che potrebbero avere interessi finanziari della terra, come decidere se acquistarla o meno, oppure raccogliere dati da più aziende per compiere un'analisi in larga scala. È ragionevole in fatto di ottenere il consenso a qualsiasi raccolta dati dove, anche in alcuni casi, è difficile isolare i dati personali dalle informazioni raccolte.

La legge pertinente è il regolamento generale sulla protezione dei dati (GDPR) redatto dall'Unione Europea nel 2016. Tale regolamento segue dei principi relativi al trattamento dei dati personali.

Gli aspetti principali sono definiti dalla legittimità del trattamento al fine che il trattamento dei dati sia corretto, lecito e trasparente, che la raccolta dei dati personali siano pertinenti e limitate in funzione di finalità specifiche, esplicite e legittime. I dati recepiti possono essere conservati per un periodo non superiore a quello necessario per il loro utilizzo, oppure possono essere archiviati per scopi di ricerca scientifica, storica o scopi statistici. Il titolare del trattamento è responsabile degli elementi acquisiti e deve essere in grado di dimostrare le conformità sopracitate. A sua volta i dati riferiti devono essere esatti e aggiornati.

Nel caso dei robot agricoli, la gestione dei dati può essere definita a livello contrattuale, definendo i diritti, gli obblighi e le responsabilità delle parti (Basu et al., 2020).

4.2 SICUREZZA SU LAVORO

La sicurezza su lavoro è il campo scientifico che si occupa di garantire la protezione dei lavoratori da incidenti e infortuni. I programmi di sicurezza e salute sul lavoro sono quelli di promuovere un ambiente di lavoro sano e sicuro, normalmente soggetto a requisiti legali nazionali ed internazionali. I requisiti dei sistemi collaborativi sono specificati in ISO 15066, tuttavia questi non si applicano completamente ai robot industriali, né tantomeno a robot agricoli, ma al tempo stesso posso essere una base di appoggio finché non verranno creati degli standard specifici.

Nei robot agricoli il contatto fisico con l'uomo è molto più presente rispetto a robot industriali, di conseguenza le misure tradizionali per garantire la salute e la sicurezza dei lavoratori diventa applicabile solamente in parte (Benos et al., 2020). L'applicazione di una giusta sicurezza permetterà allo stesso tempo di ridurre anche altri incidenti in agricoltura dato che questa presenta uno dei maggiori tassi di infortuni ed incidenti sul lavoro. Scivolamenti, cadute, perdite di controllo della macchina sono i principali fattori di infortunio in agricoltura (Vasconez et al., 2019).

La presenza dei robot in agricoltura non dà la certezza di ridurre i rischi e i pericoli del lavoratore, ma se ne possono creare di nuovi. Il rischio viene definito come la probabilità che qualcuno sia esposto ad un pericolo, mentre il pericolo è la fonte che provoca conseguenze dannose. Data la possibile presenza simultanea tra robot e operatore si possono verificare dei rischi meccanici quali: contatti indesiderati con elementi del robot o con ostacoli presenti dello spazio di collaborazione o cooperazione, errori dell'operatore a causa della presenza di pulsanti, i quali possono essere premuti in maniera non volontaria. A differenza dei sistemi con barriere, nel rapporto uomo-robot in agricoltura ci si deve basare su una gestione del rischio più complessa, eterogenea e poco standardizzata (Benos et al., 2020).

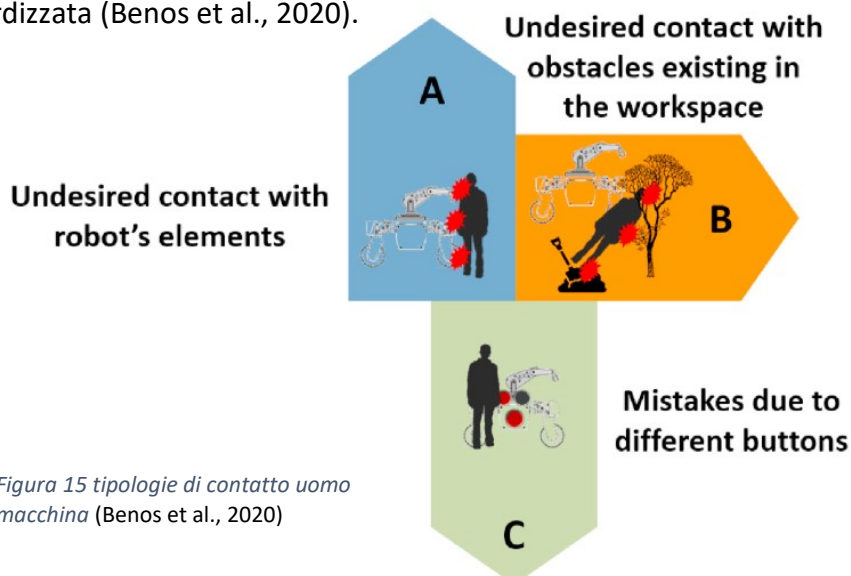


Figura 15 tipologie di contatto uomo macchina (Benos et al., 2020)

ERGONOMIA

Lo standard ISO 9241-210 del 2019 descrive le raccomandazioni e requisiti relativi ai principi delle parti software ad hardware dei sistemi interattivi che possono migliorare l'interazione uomo-robot. In particolare, la progettazione dei sistemi di interazione viene definita come "un approccio alla progettazione e allo sviluppo di sistemi interattivi più utilizzabili concentrandosi sull'uso del sistema e applicando le conoscenze e le tecniche dei fattori umani/ ergonomici e di usabilità". L'aspetto ergonomico può essere considerato con un insieme di leggi che determina come adattare il compito al lavoratore, concentrandosi sull'interfaccia spazio-lavoro e aiutando i lavoratori ad evitare posture e attività pericolose che possono potenzialmente provocare lesioni evitando così di influire negativamente sulla produttività. Oltre all'ergonomia di tipo fisico l'interazione uomo-robot può portare a migliorare l'ergonomia cognitiva e organizzativa. L'ergonomia cognitiva si occupa dell'interazione mentale tra i lavoratori e qualsiasi componente del sistema, come i robot. Questa cerca di ridurre il carico di lavoro mentale, una migliore affidabilità dell'uomo, una riduzione dello stress lavorativo, aiuto nella capacità decisionale, migliorare le abilità e l'interazione. L'ergonomia organizzativa invece riguarda il miglioramento dei sistemi socio-tecnici, comprese le politiche, i processi e la gestione dei rischi oltre che la progettazione di orari di lavoro, la comunicazione, il lavoro cooperativo e l'introduzione di nuove tecnologie. Il miglioramento dell'ergonomia in tutti i suoi campi permette di avere un'azienda più produttiva limitando al tempo stesso il rischio di infortuni e incidenti (Benos et al., 2020).

Un'altra caratteristica che deve essere assegnata ai robot per ridurre gli infortuni durante l'interazione uomo-robot è la cosiddetta "navigazione socialmente consapevole". Mentre la navigazione autonoma si limita ad evitare gli ostacoli ed arrivare a destinazione la navigazione sociale tiene conto anche di fattori come il comfort umano, la socialità e la naturalezza offrendo così una sensazione di sicurezza ai lavoratori offrendogli uno spazio di sicurezza al lavoratore e dando la capacità al robot di rispondere al lavoratore nel caso in cui si avvicini.

Questo permette di definire anche una buona comunicazione. Questa dovrebbe avere la necessità di collegamenti a lungo raggio verso una ipotetica stazione base in modo che l'operatore sia in grado di monitorare le condizioni del robot in modo sufficiente per intervenire in caso di emergenza e assumersi le responsabilità delle azioni. Per fare ciò saranno necessarie delle telecamere applicate nel robot per la visione in tempo reale e una larghezza di banda sufficiente per la comunicazione, elemento alle volte non soddisfabile (Basu et al., 2020).

CAP. 5 ASPETTI FINANZIARI

5.1 COSTI

I robot agricoli attualmente non sono economici rispetto alle pratiche e alle attrezzature standard, come ogni nuova tecnologia, i primi modelli disponibili hanno un prezzo molto alto. Inoltre, le prime versioni, per mancanza di mezzi, sono limitate ad alcune funzionalità essenziali, le versioni successive incrementano sensori aggiuntivi e vedono un aumento delle funzionalità dello strumento. In alcuni casi i robot vengono progettati specificatamente per operare in determinati luoghi e in alcune situazioni, compromettendo modelli di business che implicano la condivisione di input e fornitura di servizi. Il prezzo di acquisto o il costo operativo possono superare le risorse disponibili e rendere la produzione non redditizia. In altri casi invece in aziende che producono orticole ad ampio valore commerciale gli agricoltori trovano redditizio utilizzare prodotti specializzati come robot agricoli dato che permettono di abbassare i costi e ridurre la dipendenza dalla scarsa manodopera umana (Santiago Santos Valle, 2020).

Per gli agricoltori come il resto degli imprenditori, devono calcolare il costo mensile dell'investimento e il periodo di ammortamento, di conseguenza il ritorno delle attività del robot devono essere tali da poter soddisfare questi requisiti. Per poterli soddisfare il robot deve essere in grado di alleggerire il carico mentale, non aggiungendo complessità di utilizzo, gestione, manutenzione, inoltre il robot deve presentarsi come macchina affidabile.

L'innovazione però avviene se sono presenti dei fondi di investimento dell'azienda produttrice o di tipo pubblico. Nonostante la presenza di fondi a volte il problema principale è la scarsa presenza di regolamenti che nonostante siano vaghi, presentano dei rischi principali che il produttore deve assolvere. L'interesse di queste direttive sono quelle di inquadrare le soluzioni robotiche e di fornire la necessaria sicurezza negli appezzamenti, ma allo stesso tempo porta a delle disparità nell'offerta tecnica portando così una mancanza di fiducia da parte dell'acquirente (Mege, 2020).

I costi dei sistemi robotizzati devono essere sufficientemente bassi da giustificarne l'uso dal punto di vista economico, poiché i prodotti agricoli trattati hanno un valore relativamente basso. Tuttavia, le recenti riduzioni dei costi dell'elettronica, dei computer e della robotica dovrebbero consentire una più ampia penetrazione di tali sistemi in agricoltura (Bechar & Vigneault, 2016).

La presenza di robot più piccoli potrebbe portare ad un beneficio economico anche in piccole aziende portando gli agricoltori a sfruttare al meglio il loro tempo nel valorizzare maggiormente il loro prodotto o ampliando l'attività esistente. In questo caso il costo dell'integrazione tecnologica

come i costi hardware e software diventa fondamentale per la redditività. Soprattutto in colture ad alto valore il costo delle applicazioni robotiche sarebbe minore rispetto ai sistemi convenzionali (Gil et al., 2023).

Gli effetti dei costi di automazione per lavorare il terreno presentano un investimento iniziale maggiore rispetto ad un sistema convenzionale, ma in seguito la manodopera richiesta in un ambiente automatizzato potrebbe ridursi fino all'80% e il robot dovrebbe essere il grado di lavorare tutto il giorno. La fattibilità di questo passaggio di tecnologia può avvenire se i prezzi dei sistemi di navigazione si riducono e il costo della manodopera aumenta. Sicuramente la collaborazione tra i produttori di robot è fondamentale per renderli adatti alla produzione di serie.

In questo periodo di innovazioni piuttosto costose le sovvenzioni sono piuttosto importanti sia per lo sviluppo dei robot sia per il supporto alle aziende per il loro acquisto dato che la maggior parte dei sussidi viene impiegato per progetti più a lungo termine. Ulteriori sovvenzioni vengono erogate anche da capitali privati. Di conseguenza la difficoltà delle start-up a ricercare fondi per la ricerca porta a rallentare il processo di automazione (ABN AMRO in conjunction with FME Cluster Agri & Food and GMV, 2020).

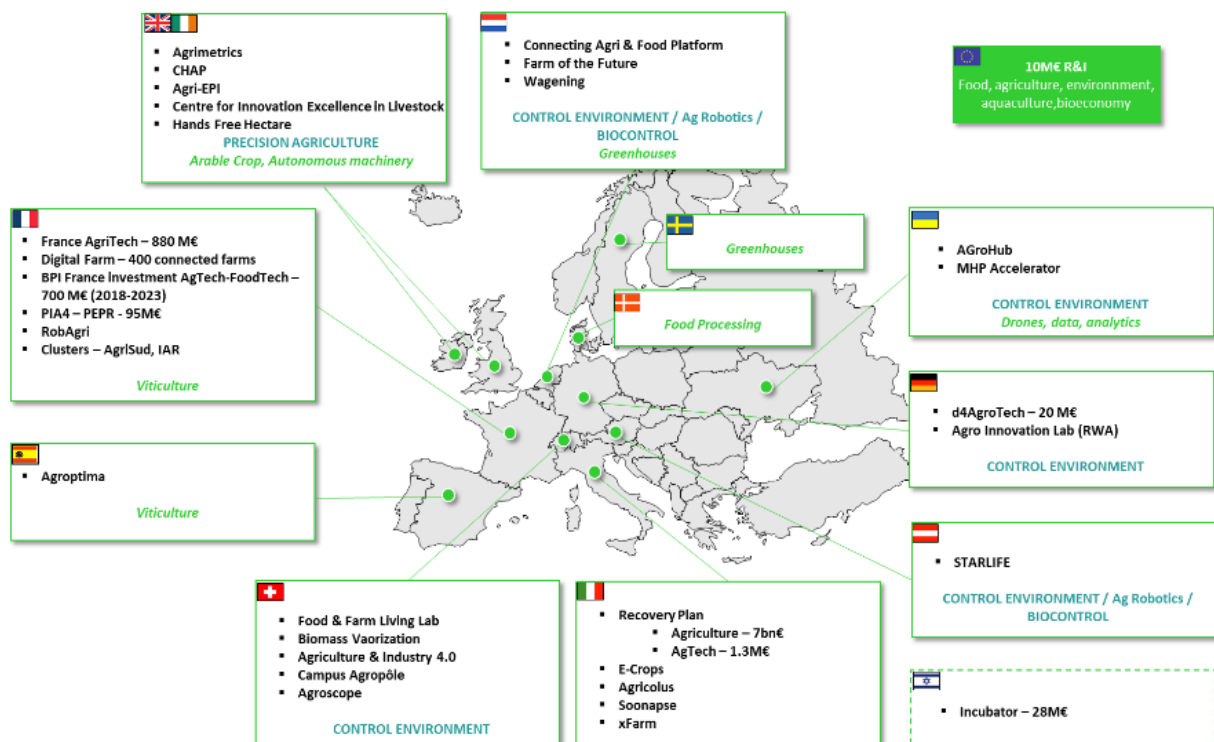


Figura 16 progetti che ricevono sussidi Europei (Mege, 2020)

5.3 VENDITE

Il mercato globale della robotica industriale ha raggiunto un valore di quasi 60 miliardi di dollari del 2018 e si prevede quasi il raddoppio del valore entro il 2023. L'Asia predomina con il 64,7% del mercato totale. Questa dinamica può essere attribuita dai settori automobilistici, elettrici ed elettronici in Cina, Giappone e India. Il secondo posto della categoria viene attribuito al Nord America con il 14,7% del mercato globale, mentre l'Europa occidentale con il 14,3% del mercato globale occupa il terzo posto (Mege, 2020).

Region	Market Share (%)	Market Value (\$ Billions)
Asia Pacific	64.7	38.8
North America	14.7	8.8
Western Europe	14.3	8.6
Eastern Europe	3.1	1.9
Middle East	1.4	0.8
South America	0.9	0.6
Africa	0.8	0.5

Figura 17 mercato globale della robotica 2018 (Mege, 2020)

I robot in ambito agricolo si concentrano principalmente in stalle per la mungitura delle vacche da latte e la gestione degli animali.

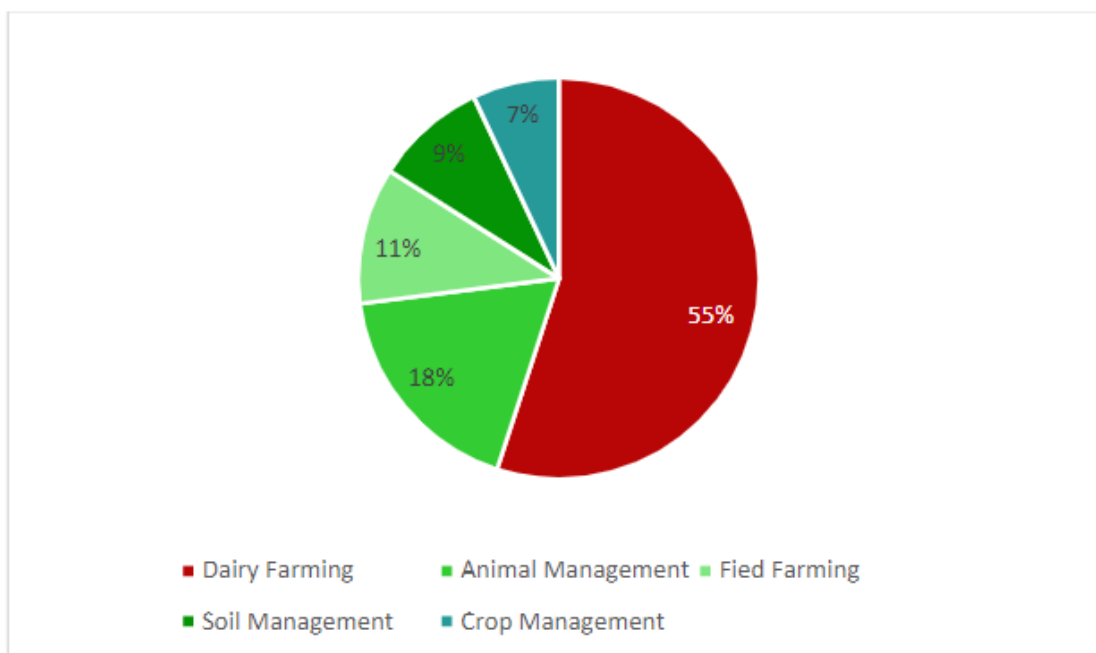


Figura 18 suddivisione dei robot in agricoltura (Mege, 2020)

Il valore della produzione agricola in Europa è stato stimato a 414,1 miliardi di euro nel 2020. Questo valore include il valore dei raccolti, degli animali, dei servizi agricoli, nonché alcuni beni e servizi correlati. Con questi valori si vuole indicare l'affermazione di una agricoltura stabile in Europa e la sua capacità nel potersi evolvere grazie alla presenza di nuove tecnologie nel campo.

Per poter subentrare nel mercato agricolo tramite i robot i modelli di business possono essere principalmente di due tipi: la vendita diretta e ricavi ricorrenti come forme di leasing o abbonamenti. Nella vendita diretta l'azienda produttrice si interfaccia direttamente con il produttore finale. Per le aziende robotiche in fase di crescita questo sistema diventa complicato perché essendo un'azienda nuova trova difficile l'interfaccia con l'agricoltore, infatti, la maggior parte di queste nuove aziende si appoggia a dei rivenditori locali che, nel corso degli anni, si sono creati una fidelizzazione verso i clienti. I ricavi ricorrenti solitamente sono le modalità più utilizzate nelle aziende agricole. Queste formule contrattuali permettono di far capire all'agricoltore se questo tipo applicazioni robotiche possano essere utili all'azienda sin da subito oppure tramite delle ulteriori modifiche aziendali.

Un'azienda robotica, affinché possa essere efficace nel mercato deve essere in grado di offrire i suoi prodotti in breve tempo e con un costante miglioramento e comprendere le esigenze dei clienti, che sono collegate allo stato dei campi e al loro potenziale rendimento portando così ad una presa di sicurezza da parte dell'agricoltore.

I miglioramenti dei robot possono essere caratterizzati anche da brevetti aziendali, come elemento di forza per l'ingresso nel mercato. Il brevetto permette di assicurarsi l'innovazione evitando la concorrenza diretta, sostenere l'attività di ricerca e sviluppo, affrontare i mercati nazionali per costruirsi una reputazione, creare una piattaforma robotica che consenta una futura introduzione di servizi per i clienti e puntare a sussidi che consentano ai clienti di utilizzare questa tecnologia.

CAP.6 CASO STUDIO

Per poter valutare concretamente i vantaggi e gli svantaggi dell'applicazione dei robot in agricoltura è stato impostato un caso studio per individuare le caratteristiche principali dei robot e la sua applicazione per il ciclo produttivo del mais (*Zea Mays*) in pieno campo al fine di confrontare il lavoro del robot e quello di un trattore convenzionale.

In questa tesi i rilievi analizzati sul ciclo produttivo del mais sono concentrati nelle lavorazioni di preparazione del letto di semina. Dato che le operazioni di affinamento del terreno sono piuttosto simili anche per altri cicli produttivi, queste valutazioni possono essere applicate anche per altre colture.

Il robot utilizzato per questo caso studio è ROBOTTI 150D dell'azienda Agrobot.

6.1 ROBOTTI 150D

Agrobot viene fondata nel 2015 in Danimarca come punto di riferimento dell'innovazione in agricoltura. Successivamente lavorando assieme alle università e ad altri istituti di ricerca introduce diverse tecnologie ricevendo vari premi. Uno di questi è il "Solar Impulse Label" nel 2020 grazie a ROBOTTI come migliore macchina a livello di efficienza, remunerativa e positiva al livello ambientale e di miglioramento di qualità della vita.

Secondo l'azienda danese ROBOTTI rappresenterebbe una soluzione sostenibile grazie al suo ridotto consumo di carburante, circa 3-6 litri di diesel per ora di lavoro considerando il tipo di suolo e di lavorazione. Inoltre, il suo peso di circa 3000kg sarebbe inferiore alle normali trattrici agricole, riducendo così l'eccessivo compattamento del suolo. Infine, grazie al suo avanzato software ROBOTTI sarebbe in grado di calcolare le linee di lavoro ottimali e più veloci per il tipo di operazione da svolgere, facilitando così la programmazione da parte dell'operatore.

Robotti è un robot 100% autonomo, in grado di operare su differenti colture e di assistere l'agricoltore nella preparazione del letto di semina, la semina e la rimozione delle malerbe. Grazie al suo "tradizionale" motore a gasolio permette una maggiore semplicità nella manutenzione, inoltre la sua capacità di operare in campo se rifornito correttamente sia di carburante che di prodotto per la lavorazione in caso servisse può essere continua e cioè 24/7.

ROBOTTI è sicuro e legale da utilizzare anche di notte; è conforme a tutti gli standard e requisiti della Direttiva Macchine dell'Unione Europea. Diverse tecnologie all'interno del robot permettono di

intervenire in caso di imprevisti grazie ai diversi arresti di emergenza, bumper a pressione e LIDAR-scanner.

Spinta dalle attuali tendenze e sfide all'interno della moderna industria della produzione alimentare e del settore agricolo AGROINTELLI ha come obiettivo la produzione e distribuzione su larga scala di ROBOTTI.

6.2 ROBOTTI 150D: CARATTERISTICHE TECNICHE RILEVATE

CONFIGURAZIONE MECCANICA

Il robot è costituito da due moduli collegati con un asse centrale, dove è presente un sollevatore idraulico e una presa di potenza. Il robot può essere configurato con diverse carreggiate fisse per un massimo di 3,5 m. Il sollevamento idraulico e la PTO sono compatibili con le attrezzature agrarie già esistenti purché questi rimangano all'interno della carreggiata del robot per motivi di sicurezza.

MOTORE

La macchina essendo dotata di una presa di potenza (PTO) 540/1000rpm e un distributore idraulico 40l/min presenta due motori diesel 4 cilindri di origine Kubota 2.6L da 53kW (72cv).

Il motore sul modulo di sinistra alimenta il sollevatore e la trasmissione idrostatica per la trazione delle quattro ruote motrici e dello sterzo solamente anteriore con angolo di 90 gradi permettendo così a Robotti di ruotare su sé stesso facendo perno sulle ruote posteriori, questo sistema viene chiamato "zero turn". Il robot può raggiungere una velocità massima in guida autonoma di 5km/h mentre in modalità manuale può raggiungere i 10km/h.

Il motore di destra è riservato per l'utilizzo della PTO e distributore idraulico utile per i cantieri con maggiore richiesta di potenza come lavorazioni di preparazione del suolo, semina e diserbo.

Ogni motore presenta un serbatoio di 110l con un consumo di circa 3-6 l/h in funzione del tipo di lavorazione da effettuare.

DIMENSIONI

Nella macchina presa come caso studio presenta una carreggiata utile di lavoro è di 1,5m, mentre l'ingombro totale è di 3,6m di larghezza, 2,44m di lunghezza e 2,10m di altezza. Questi ingombri permettono di trasportare il robot su strada con un rimorchio presente già in una ipotetica azienda agraria.

Nella zona più esterna al robot si può notare la presenza di una sporgenza di 90mm, è un bumper che delimita la zona frontale e laterale della macchina come stop di emergenza nel caso in cui venisse a contatto con un oggetto estraneo. La parte più alta del robot è data dalle luci di segnalazioni di lavoro o di errore al fine di essere facilmente visibili.

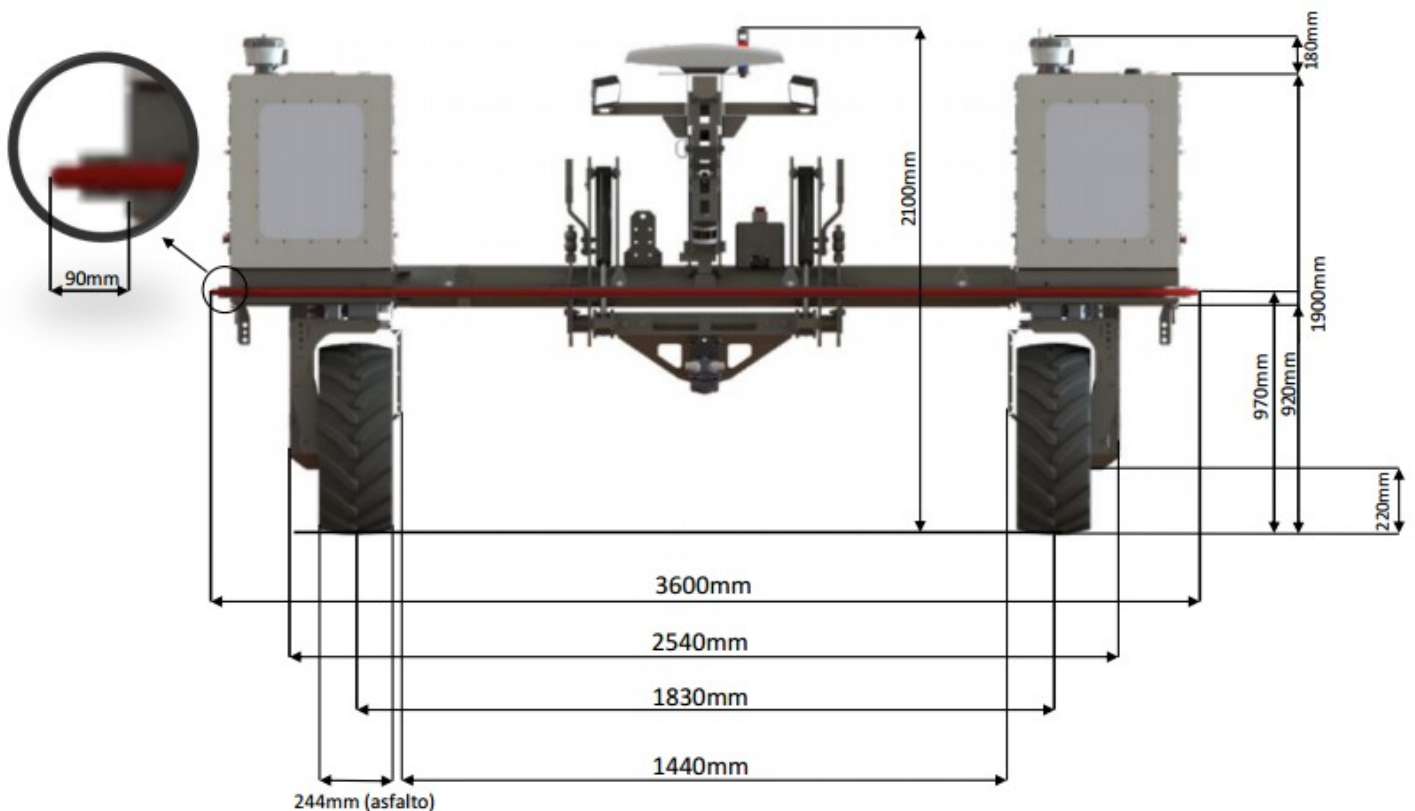


Figura 19, 20 Misurazioni rilevate

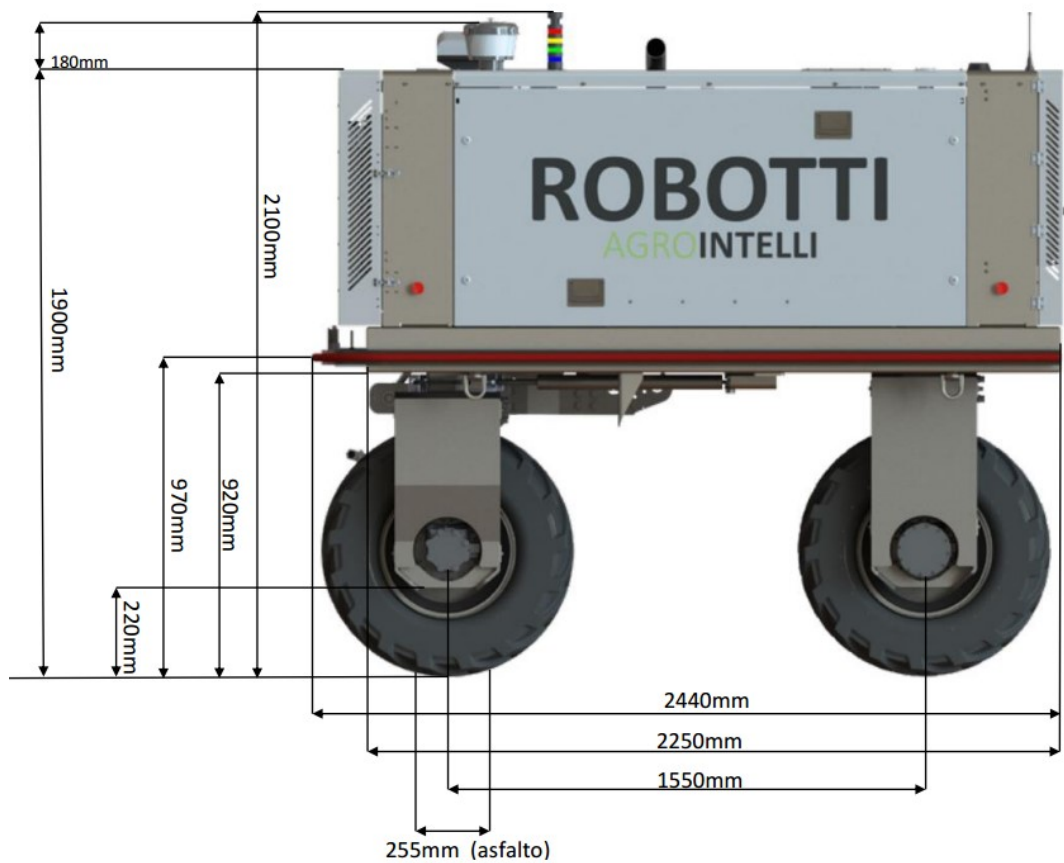


Figura 20

Il robot presenta un peso totale di 3170kg con il serbatoio di sinistra con il 40% di carburante e il serbatoio di destra con il 67% di carburante.

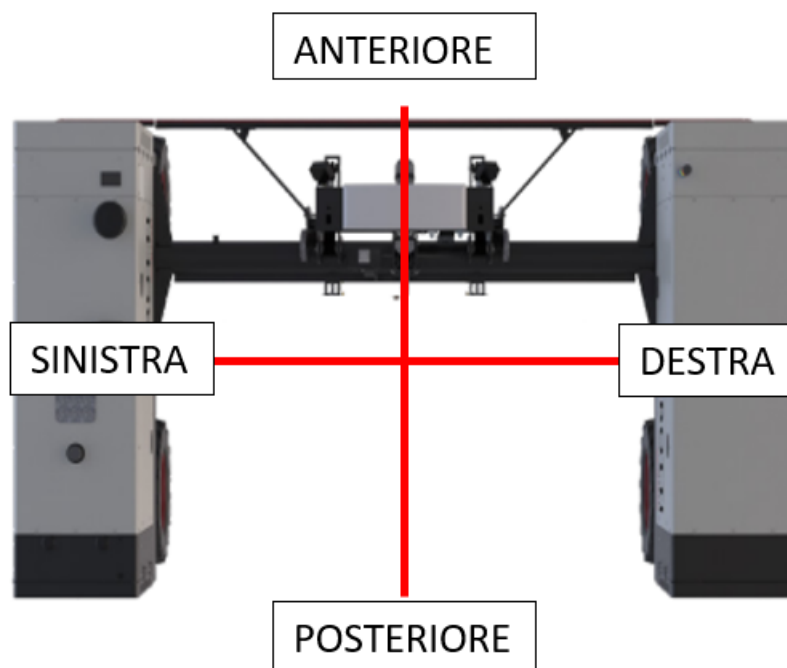


Figura 21 Orientamento di Robotti 150d

I pesi del robot sono stati rilevati con l'utilizzo di una pesa a ponte analogica. Per ogni lato ci sono state più misurazioni. I pesi sono stati rilevati al fine di valutare come sono bilanciati i carichi della macchina. L'asse anteriore presenta un maggiore carico per la presenza dell'asse di collegamento tra i due moduli, questo permette anche di compensare l'eventuale attrezzo collegato nella parte posteriore, limitandone lo slittamento anteriore.

LATO SINISTRO	40% CARBURANTE	1550kg
LATO DESTRO	67% CARBURANTE	1550kg

1	ASSE ANTERIORE	1780kg	1	ASSE POSTERIORE	1390kg
2	ASSE ANTERIORE	1770kg	2	ASSE POSTERIORE	1420kg

POSTERIORE DESTRO	690kg	1450kg
POSTERIORE SINISTRO	760kg	
ANTERIORE DESTRO	860kg	1790kg
ANTERIORE SINISTRO	930kg	

Tabella 1 Pesi rilevati su Robotti 150D

PROVE DI TRAZIONE

Le prove di trazione sono state effettuate su asfalto al fine di valutare come si comporta il robot in condizioni di massima aderenza. Il robot presenta delle gomme Agrimax r765 con misure 260/70R16 e pressione di gonfiaggio a 2.3bar.

La velocità della macchina durante la prova è stata di 1,3-1,4km/h.

La prova si è svolta collegando una cinghia tra il sollevatore del robot e l'attacco anteriore di una trattoria agricola che in funzione della marcia inserita di quest'ultima applicava un carico al robot e tramite un dinamometro presente sulla cinghia è stato possibile valutare eventuali slittamenti in funzione dello sforzo applicato.



Figura 22: Applicazione della cinghia con dinamometro tra Robotti 150d e trattoria agricola per le prove di slittamento

La prova è stata effettuata considerando 10 giri completi per ogni ruota. La capacità di trazione massima misurata si è attestata sui 1250-1300kg, paragonabile a quella dichiarata dalla casa madre. I dati con " *" indicano che il rilievo è stato considerato per 5 giri completi per ruota.

PROVA	ANT. SX	POST.SX	POST.DX	ANT DX
Solo Robotti (m)	22.82	22.85	22.84	22.84
70-80kg (m)	22.71	22.75	22.81	22.76
450-600kg (m)	11.00*	11.26*	22.46	22.45
1000 kg (m)	10.66*	10.85*	22.00	21.23
1200kg 1 ripetizione (m)	8.00 *	11.00*	22.01	19.24
1200kg 2 ripetizione (m)	8.83*	10.97*	22.49	18.18
1250-1300 kg (m)	6.45 *	11.05*	22.19	20.00

Tabella 2 Risultati ottenuti dalle prove di trazione

Il carico, essendo nel posteriore, tende ad alleggerire l'asse anteriore aumentando, soprattutto nella ruota anteriore sinistra, lo slittamento nonostante il maggiore peso del robot sia concentrato anteriormente.

SICUREZZA

Robotti, essendo un robot a guida autonoma, presenta dei sistemi di sicurezza al fine di rallentare o fermarsi in caso venissero rilevati degli ostacoli. Questo grazie alla presenza di un sistema laser scanner (LiDAR) con un raggio di azione di 100m che, nel caso in cui rilevi un ostacolo rallenta e dove questo ostacolo persiste arresta la macchina mandando un messaggio di allarme all'operatore. Abbiamo riscontrato che il LiDAR, se rivolto troppo verso terra, rileva il suolo di lavorazione come ostacolo riducendone la velocità di lavorazione, di conseguenza bisogna considerare una buona regolazione della sensoristica. Un altro sistema di sicurezza, come accennato in precedenza, è la presenza di un paraurti sensorizzato (bumper) a pressione che, se viene premuto accidentalmente blocca il robot.

Un ulteriore elemento di sicurezza all'interno del robot è la presenza di quattro pulsanti di arresto, uno per angolo della macchina. Un altro pulsante di emergenza è posizionato anche sul controller che possiede l'operatore.

Il controller non può essere distante da Robotti per più di 150m, questo implica la presenza costante di un operatore che supervisioni il lavoro della macchina, come richiesto dalla normativa vigente. Nel momento in cui l'operatore esce dal raggio di rilievo del robot, questo si arresta, richiedendo il riavvio manuale. Questo è l'aspetto più limitante presente nell'applicazione dei robot in agricoltura.

La supervisione umana è un elemento fondamentale durante la lavorazione, per questo motivo è presente anche una telecamera anteriore e posteriore per vedere ciò che circonda la macchina in tempo reale.

La presenza di due fari posti sia anteriormente che posteriormente permettono rendere il robot visibile e di farlo lavorare anche nelle ore notturne.



Figura 23: presenza della sensoristica in Robotti 150D

COLLEGAMENTO DELL'ATTREZZATURA

Robotti è dotato di un attacco a tre punti (Cat.I e III) e un sollevatore standard che permettono l'utilizzo di macchine operatrici standard, anche già presenti in azienda, diventando così un robot porta attrezzi. La presa di potenza (PTO) presente in pochi modelli di robot da un valore aggiunto alle operazioni che Robotti 150D è in grado di compiere, come ad esempio l'erpicoltura, lavorazione svolta in questo caso studio.

L'erpice rotante installato su Robotti per la prova è un erpice già presente in azienda, di conseguenza facilmente reperibile. L'erpice della casa costruttrice Maschio Gaspardo ha le dimensioni di 1,5m di larghezza cosicché si possa inserire tra i due moduli del robot.

Una possibile criticità è la connessione dell'attrezzo all'eventuale PTO dato che i due moduli laterali impediscono di lavorare all'operatore lateralmente, o comunque con una certa facilità.

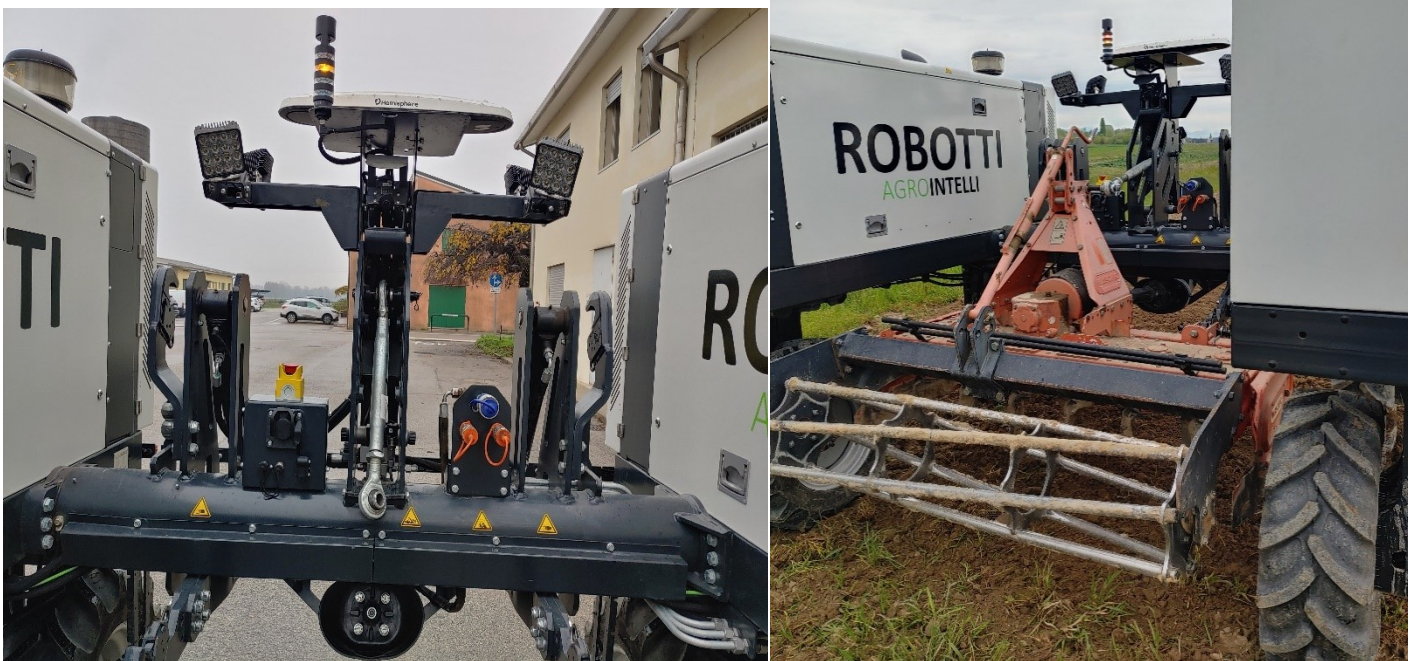


Figura 24 a sinistra attacco a tre punti e PTO, a destra erpice Maschio Gaspardo connesso a Robotti 150D

SISTEMA DI NAVIGAZIONE E COSTRUZIONE DELLA MAPPA DI LAVORO

Il sistema di navigazione si basa sul sistema GPS-RTK che permette di raggiungere una precisione di lavoro molto elevata. Affinché il robot possa iniziare la lavorazione deve essere creato un cantiere di lavoro.

Agrointelli mette a disposizione una Webapp per poter creare questo progetto.

Per accedere all'applicativo c'è la necessità di registrarsi come utente al fine di poter ricevere le varie notifiche di caricamenti della mappa o eventuali errori che il robot riscontra durante il lavoro in campo.

Prima di questo devono essere identificati i confini dell'appezzamento da lavorare. A tal fine, si è andati in campo, nel caso studio con un trattore e un'antenna con sistema RTK-GPS per poter segnare i confini, questo rilievo può essere fatto anche con il robot. Una volta individuati sono stati inseriti all'interno di un applicativo esterno alla webapp di Agrointelli per poter creare la mappa del campo. L'appezzamento è stato suddiviso in 8 blocchi, di cui quattro lavorati con Robotti e quattro lavorati con una trattore convenzionale.

Dopo aver creato questa tipologia di mappa è possibile iniziare l'inserimento di dati nella Webapp di Agrointelli per creare il cantiere di lavoro.

Inizialmente si crea il profilo dell'attrezzo da utilizzare, cosicché questo potrà essere utile anche per altri cantieri di lavoro. Nel profilo dell'attrezzo i dati richiesti sono: l'altezza, la larghezza di lavoro, la lunghezza di lavoro effettiva, la velocità di lavoro e di non lavoro data da svolte e spostamenti, se il sollevamento rimane fisso o flottante, se l'attrezzo necessita della PTO, il regime di lavoro della PTO e se questa deve rimanere sempre accesa come nel caso della seminatrice oppure deve spegnersi durante la svolta per motivi di sicurezza come nel caso dell'erpice rotante.

Una volta creato l'attrezzo viene caricato nel portale.

Ora è possibile creare il cantiere di lavoro.

L'operazione preliminare da fare è inserire il perimetro dell'appezzamento precedentemente creato con il programma diverso dalla Webapp di Agrointelli, questo perimetro permette di fare anche geofencing, cioè di delimitare lo spazio di movimento del robot al fine di ridurre possibili danni alla macchina e ad ostacoli fissi o mobili.

Successivamente si decide il sistema di lavorazione, in questo caso è stato scelto il row by row, cioè un sistema che, partendo dalla linea AB, traccia le sue copie in funzione della distanza dell'attrezzo.

Con questo tipo di lavorazione viene richiesta anche la larghezza della capezzagna, che solitamente è di 7m. Nel caso studio la capezzagna verrà lavorata dalla trattrice al termine delle operazioni del robot.

Una volta inseriti questi dati è possibile procedere al calcolo, da parte del software, per creare il piano di lavoro.

Se il programma ottenuto rispecchia i nostri obiettivi, può essere caricato nel sistema del robot.

Il caricamento del programma sul robot viene fatto on-line grazie alla presenza di un router interno al robot in grado di stabilire una connessione al fine di ricevere dati e aggiornamenti.

Quando l'operatore riceverà un messaggio di operazione avvenuta con successo, sarà possibile interfacciarsi al robot, tramite un pannello di controllo touch screen per poter caricare il programma e avviare la lavorazione. Il robot, per poter iniziare il cantiere deve essere portato nelle vicinanze di questo.

Grazie al pannello di controllo presente nel robot è possibile anche azionare i due motori, visionare la percentuale di carburante presente, l'altezza del sollevatore, se il robot è connesso e se il sistema RTK-GPS è in funzione, e compiere delle eventuali modifiche temporanee in corso d'opera, come avviene anche per il controller.



Figura 25 Costituzione del cantiere di lavoro

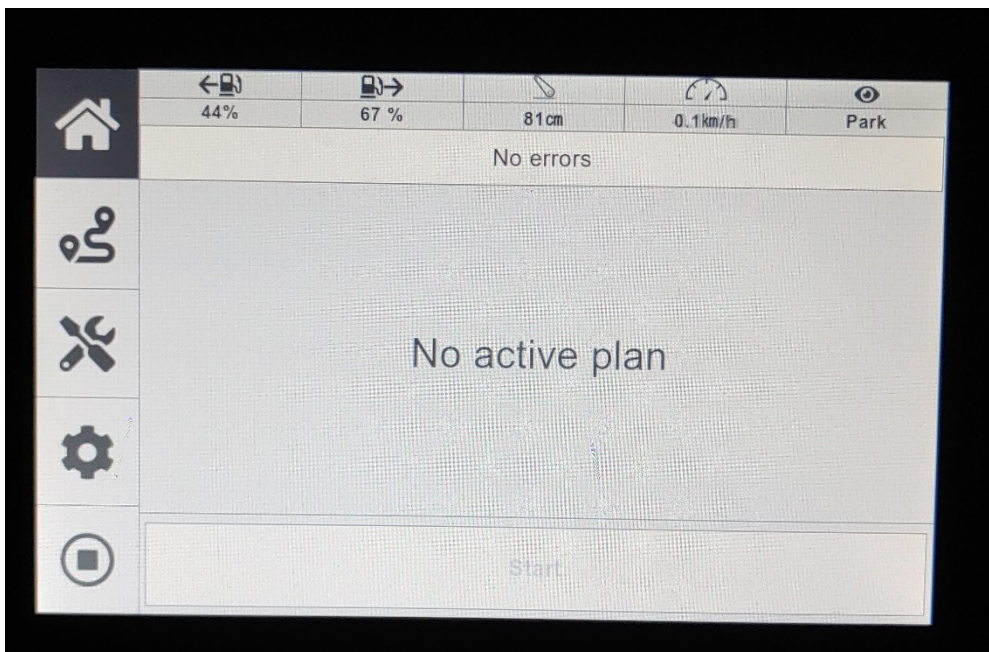


Figura 26 Pannello di controllo di Robotti 150D

6.3 DATI OTTENUTI DALLA PREPARAZIONE DEL LETTO DI SEMINA

Il robot è stato portato in campo seguito dall'operatore che lo comandava manualmente dopo un percorso su strada sterrata di 10minuti.

Una volta posizionato nelle vicinanze dell'appezzamento interessato è stata caricata la mappa costituita dall'erpatura dei quattro blocchi interessati. La macchina, una volta pronta per la partenza chiede di inserire la modalità automatica tramite il controller. A questo punto inizia la lavorazione. Per questo genere di prova si è voluto utilizzare la lavorazione a corsie di traffico controllato creando di fatto delle aiuole di coltivazione. La lavorazione a corsie di traffico controllato porta la macchina a calpestare sempre nella stessa zona eliminando così il compattamento del suolo nella zona coltivata, inoltre la costituzione di aiuole di coltivazione permette di rialzare la coltura rispetto al livello di calpestio riducendo così anche possibili ristagni d'acqua.

Per ogni blocco lavorato di circa 0,125ha sono state fatte due operazioni di erpicatura al fine di ottenere una qualità di lavorazione più omogenea e sono stati considerati i tempi di lavorazione e i tempi di svolta al fine di confrontarli con la lavorazione della trattore agricola nei restanti 4 blocchi e valutare, di conseguenza, l'efficienza e l'efficacia di lavorazione del robot.

La trattore utilizzata per la comparazione è un Fiat modello 680H alla quale è stato applicato un erpice rotante Feraboli da 3m.



Figura 27 Erpicatura messa a confronto tra Robotti 150D e Fiat 680H

PRIMA ERPICATURA ROBOTTI									
N.BLOCCO ROBOTTI	1	2	3	4	5	6	7	8	
TEMPO LAVORO EFFETTIVO (min)	5,15		4,51		5,24				
TEMPO SVOLTA (min)	0,93		1,05		1,04				
TEMPO TOTALE (min)							23,17		
SECONDA ERPICATURA ROBOTTI									
TEMPO LAVORO EFFETTIVO (min)	3,31		3,28		3,19				
TEMPO SVOLTA (min)	1,04		1,07		1,05				
TEMPO TOTALE (min)							16		
ERPICATURA CON TRATTORE FIAT 680 H									
TEMPO LAVORO EFFETTIVO (min)		3,59							
TEMPO SVOLTA (min)		0,78							
TEMPO TOTALE (min)								17,3	
TEMPO LAVORO EFFETTIVO (min)		3,27	} lavorazione sullo stesso blocco con un operatore diverso dal precedente						
TEMPO SVOLTA (min)		0,3							

Tabella 3 tempi di lavorazione rilevati

Come si può notare i tempi di lavoro del robot tra la prima e la seconda erpicatura variano di circa 2 minuti, questo è dato dal fatto che la seconda erpicatura viene fatta in un terreno già lavorato e di conseguenza meno impegnativo nella lavorazione e soprattutto il Lidar è stato alzato dato che considerava il suolo come un ostacolo rallentando di conseguenza la macchina.

Tra la prima e la seconda erpicatura del robot sono state riscontrate delle difficoltà durante il caricamento dello stesso piano di lavoro impiegando circa tre ore per ripristinare la macchina. Sicuramente queste elevate perdite di tempo sono date dalla poca conoscenza del robot.

Considerando il tempo totale della seconda erpicatura del robot rispetto a quella della trattrice si sono riscontrati tempi di lavorazioni simili. Una differenza si è riscontrata nel tempo di svolta dove il robot impiega circa 1 minuto per tutte le svolte che compie mentre l'operatore nella trattrice impiega meno tempo per la svolta rispetto al robot. Però, come si può notare nel blocco n.2 lo stesso appezzamento è stato lavorato da due operatori differenti al fine di confrontare l'eventuale differenza di tempo tra le due lavorazioni. Con questo si vuole sottolineare che, mentre nel robot le tempistiche sono calcolate sin dall'inizio della progettazione del cantiere, il tempo di lavorazione della trattrice varia in funzione dell'abilità dell'operatore.

PROFILOMETRIA DEL SUOLO

Terminate la lavorazione sia del robot che del trattore, abbiamo proseguito con il rilievo della qualità di lavorazione del suolo grazie al lettore laser Disto pro 4 LEICA, collegato ad una barra di 1m.

Le letture vengono fatte ogni due centimetri per un totale di cinquanta letture per blocco di lavorazione, al fine di valutare se l'erpicatura effettuata con Robotti fosse più o meno di qualità rispetto alla trattrice convenzionale.

Le prime misurazioni e le ultime misurazioni sono quasi uguali tra di loro perché il laser puntava sul basamento dell'asta, elemento utile per valutare lo scostamento dei dati durante le letture nel terreno lavorato.



Figura 28 Lettore laser Disto pro4 Leica con relativa barra per le misurazioni

Successivamente, per ridurre il numero di dati rilevati e per creare un grafico più omogeneo sono state individuate le mediane dei dati in funzione della macchina che ha lavorato e come si nota dai grafici l'epicatura data dalle due macchine è molto simile tra loro.

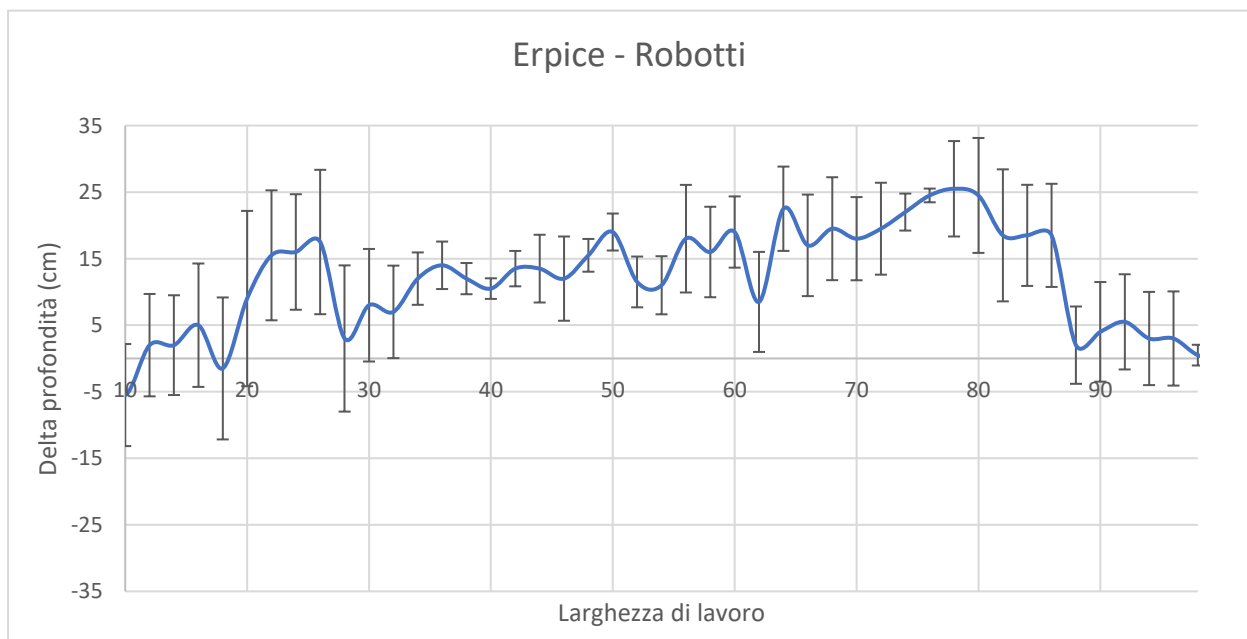


Tabella 4,5 profilometria del suolo dopo il passaggio dell'erpice con Robotti 150D e con la trattice

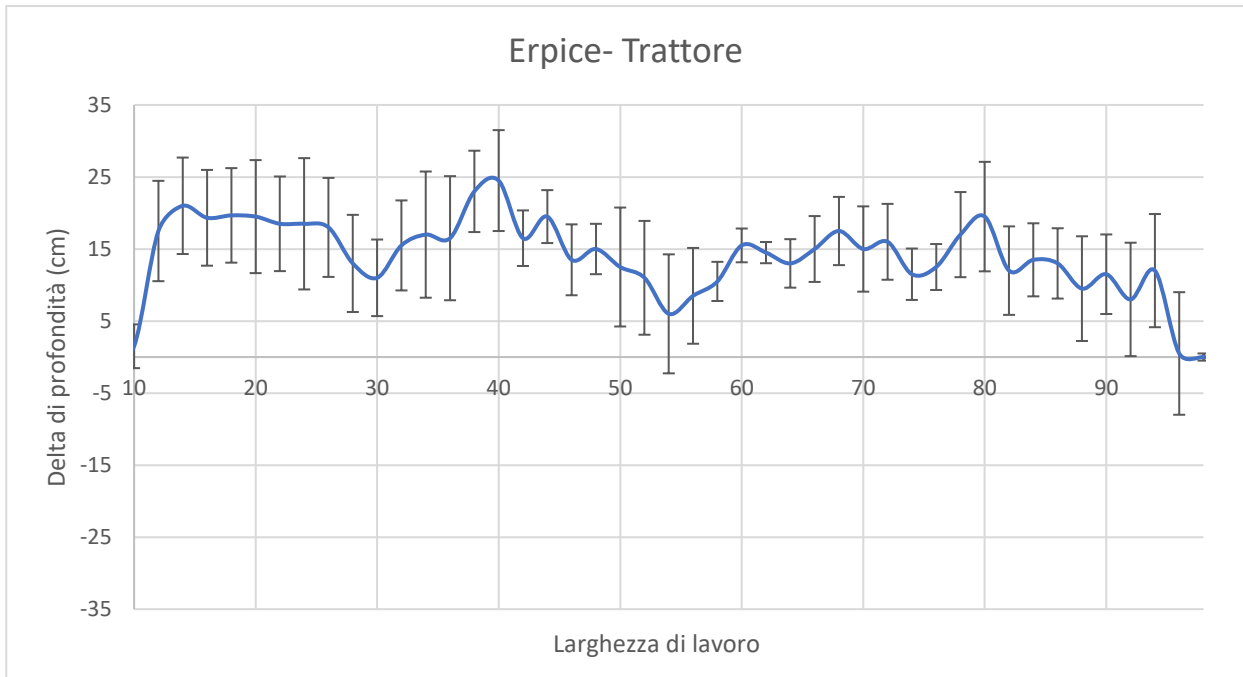


Tabella 5

Considerando l'analisi della varianza, utilizzando come dati le mediane delle lavorazioni effettuate non si sono riscontrate differenze statisticamente significative sulla qualità di lavorazione del suolo.

ANOVA							
Fv	Gl	Devianza	Varianza	Fc	F0.05	F0.01	
totale	101	5871,428					
N blocco	2	1,29258	0,64629	0,0109	0,951253	0,990051	ns
errore	99	5870,136	59,2943				

Tabella 6 ANOVA

6.4 CONTO ECONOMICO

Un elemento chiave per poter comprendere se Robotti150D potrà essere un prodotto sfruttabile in agricoltura si devono comprendere i costi da sostenere rispetto ad una agricoltura con una coltivazione convenzionale.

A tal proposito sono state identificate le seguenti formule per costituire il conto economico finale.

I primi dati rilevati dal libretto di uso e manutenzione della macchina e da tabelle di settore sono stati:

- ✓ Potenza dei motori (kW)
- ✓ Valore iniziale e valore finale (€)
- ✓ Tasso di interesse (%)
- ✓ Coefficiente di riparazione della macchina (α)
- ✓ Coefficiente di manutenzione della macchina (β)
- ✓ Prezzo del gasolio (€/kg)
- ✓ Prezzo dell'olio (€/kg)
- ✓ Costo manodopera (€/h)

Individuati i dati iniziali si procede con il calcolo della Capacità Utile di lavoro C_u (h/ha) cioè la capacità reale di lavoro di una macchina nella condizione in cui si trova e l'utilizzazione annua della macchina U_a (h). I calcoli sono possibili se si reperiscono ulteriori dati come: larghezza di lavoro (m), velocità di avanzamento, numero di lavorazioni che nel caso della prova su mais si attesta sulle sei lavorazioni con il robot, la superficie da trattare che nel caso della prova è di 1ha e il Rendimento di utilizzazione della macchina calcolato in precedenza tramite i tempi di lavorazione rilevati e nel caso di Robotti è pari a 0,51.

$$\boxed{R_u = R_o \cdot R_c}$$

↓ ↓

$R_o = \frac{TE}{TO}$	$R_c = \frac{TO}{TU}$
-----------------------	-----------------------

Figura 29 Formula rendimento utile (R_u) dove: R_o = rendimento operativo; R_c : rendimento del cantiere; TE : tempo effettivo di lavoro; TO : tempo operativo di lavoro; TU : tempo di utilizzazione

$$Cu = Ce \cdot Ro \cdot Rc = 0,1 \cdot Ve \cdot Le \cdot Ro \cdot Rc$$

Figura 30 Calcolo Capacità utile di lavoro (Cu); Ce: capacità effettiva di lavoro; Ve: velocità effettiva; Le: larghezza effettiva

$UA = \frac{\text{SUP. LAVORATA} \cdot \text{N DI LAVORAZIONI}}{CU}$
--

Figura 31 Utilizzazione oraria Annuata

L'utilizzazione annua della macchina solitamente tende ad essere diversa rispetto all'utilizzazione ottimale della macchina (Uo) data dal rapporto tra obsolescenza tecnica (Ot) e la durata fisica (Nh) del robot. Inoltre, il rapporto tra la durata fisica e utilizzazione annua permette di individuare la durata economica (n) della macchina, ovvero il periodo di tempo utile in cui si può ritenere raggiunto il completo deprezzamento della macchina. Nel caso in cui la durata economica fosse maggiore dell'obsolescenza tecnica si considererà quest'ultima; invece, se la durata economica sarà minore dell'obsolescenza tecnica si considererà la durata minore.

$$n = \frac{Nh}{Ua} \longrightarrow \begin{cases} \text{se } \frac{Nh}{Ua} > Ot \rightarrow n = Ot \\ \text{se } \frac{Nh}{Ua} < Ot \rightarrow n = \frac{Nh}{Ua} \end{cases}$$

Figura 32: calcolo durata economica

Per poter calcolare in costo di esercizio delle macchine, è necessario trovare le spese fondamentali annue (Cfa), cioè spese che sussistono anche in assenza di utilizzo del mezzo e le spese orarie di utilizzazione (Cuh), cioè la quota di spese proporzionali al livello di utilizzo della macchina.

Le spese fondamentali annue (Cfa) sono suddivise in quota annua di reintegra, quota annua degli interessi e quota delle spese varie.

La quota di reintegra (Qr) è la quantità di capitale necessaria che consente di finanziare la sostituzione della macchina al termine della sua vita.

$$Qr = \frac{Vi - Vf}{n}$$

Figura 33: calcolo quota di reintegra

La quota annua d'interesse del capitale investito (Q_i) definisce il costo annuo del capitale investito nella macchina agricola considerata.

$$Q_i = r \cdot \frac{V_i + V_f}{2}$$

Figura 34: calcolo quota di interesse

La quota annua delle spese varie (Q_v) è data dalla somma delle quote di ricovero (Q_{ri}), quote di assicurazione (Q_{rs}), quote tasse (Q_t) e quote direzione e contabilità. Solitamente queste quote vengono considerate in percentuale rispetto al valore medio del mezzo.

$$Q_v = (\%ricovero + \%assicurazione + \%tasse, direzione, contabilità) \cdot \frac{V_i + V_f}{2}$$

Figura 35: calcolo quota delle spese varie

Le spese orarie di utilizzazione si suddividono in quote di riparazione e manutenzione (Q_{rm}), quote di consumi di lubrificante e carburante (Cl e Cg) e le quote di manodopera (Q_o).

Le quote di riparazione e manutenzione sono indispensabili per il buon funzionamento e mantenimento della macchina. La riparazione è la spesa sostenuta per sostituire un elemento rotto mentre la manutenzione è l'insieme di lavori per assicurare il funzionamento regolare e il buono stato di conservazione della macchina. Ogni macchina o attrezzo presenta dei coefficienti di riparazione (α) e di manutenzione (β).

$$Q_{rm} = \frac{\alpha \cdot V_i}{Nh} + \beta \cdot M$$

Figura 36: calcolo quota di riparazione e manutenzione

Le quote di consumo lubrificante e carburante indicano il costo orario del prodotto utilizzato. Il risultato viene dato in funzione del consumo specifico dei motori a gasolio o benzina e del consumo specifico del lubrificante moltiplicato per la potenza nominale della macchina e il prezzo del carburante o del lubrificante (€/kg). Nel calcolo del costo dei carburanti bisogna indicare anche il carico del motore in funzione dell'operazione compiuta.

$$C_g = cs_g \cdot W \cdot CM \cdot p$$

$$Cl = cs_l \cdot W \cdot p$$

Figura 37: calcolo consumo di carburante e lubrificante

Le quote di manodopera si riferiscono alla retribuzione di chi conduce il mezzo o per ulteriori operazioni come nel caso di Robotti dove la manodopera è necessaria per la costruzione del cantiere di lavoro per l'accensione iniziale. Il costo è indicato in €/h.

Il costo orario medio (Ch) della macchina sarà quindi dato dal rapporto tra i costi fondamentali annui e l'utilizzazione annua della macchina sommando successivamente i costi variabili.

$$Ch_{(U)} = \frac{Cfa}{U} + Cuh \quad \left[\frac{\text{€}}{h} \right]$$

Figura 38: calcolo costo orario medio

Queste formule hanno permesso di individuare il costo unitario orario (€/ha) di Robotti 150D e di un trattore agricolo di potenza analoga.

Per quanto riguarda Robotti il coefficiente di manutenzione è stato rilevato utilizzando i dati della seguente tabella e considerando la durata fisica di 5000 ore.

MANUTENZIONE	
INTERVALLO	Tempo di manutenzione necessario (h)
NELLE PRIME 10h	0,5
NELLE PRIME 50h	2
OGNI 50h	0,5
OGNI 200h	0,5
OGNI 250h	1
OGNI 500h	6
OGNI 1000h	0,5
OGNI 1500h	0,5
OGNI 3000h	0,5
OGNI 3000-6000h	0,5

Tabella 7 dati di manutenzione utili per il calcolo del coefficiente di manutenzione

Dati principali rilevati per Robotti 150D:

DATI		
potenza motori ruote	106	kW
valore iniziale trattore	200.000	€
tasso di interesse	4	%
coefficiente di riparazione robot (α)	0.2	
coefficiente di manutenzione robot (β)	0.03	
prezzo del gasolio	1,15	€/kg
prezzo olio	7	€/kg
costo manodopera	17	€/h

Tabella 8,9: dati necessari per il calcolo del conto economico di Robotti 150D

calcolo Cu e utilizzazione annua		
larghezza di lavoro (interfilare o multipli)	2,1	m
velocità di avanzamento	3	km/h
Ru	0,51	
Cu	0,32	ha/h
numero di lavorazioni	3-6-9	
superficie da trattare	1-3-5-7-10-20-30-50	ha
utilizzazione annua macchina (Ua)	187	h

Tabella 9

Dati principali rilevati per un trattore convenzionale di potenza simile:

DATI		
potenza motori ruote	100	kW
valore iniziale trattore	90.000,00	€
tasso di interesse	4	%
coefficiente di riparazione trattore (α)	0,6	
coefficiente di manutenzione trattore (β)	0,1	
prezzo del gasolio	1,15	€/kg
prezzo olio	7	€/kg
costo manodopera	17	€/h

Tabella 10,11: dati necessari per il calcolo del conto economico del trattore

calcolo Cu e utilizzazione annua		
larghezza di lavoro (interfilare o multipli)	3	m
velocità di avanzamento	4	km/h
Ru	0,62	
Cu	0,744	ha/h
numero di lavorazioni	3-6-9	
superficie da trattare	1-3-5-7-10-20-30-50	ha
utilizzazione annua macchina (Ua)	80,65	h

Tabella 11

Il rendimento utile (Ru) è stato trovato in funzione delle misurazioni dei tempi di lavoro precedentemente rilevati. Per comprendere al meglio la variazione del costo unitario totale (€/ha) sono state prese in considerazione da 3 a 9 lavorazioni sullo stesso appezzamento in una superficie variabile da 1 a 50ha al fine di valutare di quanto varia l'utilizzazione annua della macchina e i costi orari di Robotti150D e di un trattore convenzionale.

Come si può già notare dai primi dati un trattore convenzionale presenta una capacità utile di lavoro maggiore rispetto al robot, dato dal fatto che il trattore riesce a lavorare con una maggiore larghezza di lavoro e una maggiore velocità di avanzamento.

Il conto economico ha proseguito con il calcolo del costo orario:

CALCOLO COSTO ORARIO TRATTORE	DATI	UNITÀ	CALCOLO COSTO ORARIO ROBOTTI	DATI	UNITÀ
valore iniziale	90.000	€	valore iniziale	200.000	€
valore finale	4.500	€	valore finale	10.000	€
obsolescenza tecnica (Ot)	10	anni	obsolescenza tecnica (Ot)	8	anni
durata fisica (Nh)	10.000	h	durata fisica (Nh)	5.000	h
utilizzazione annua ottimale (Uo)	1.000	h	utilizzazione annua ottimale (Uo)	625	h
durata economica (n)	10	anni	durata economica (n)	8	anni
quota di reintegra	8.550	€/anno	quota di reintegra	23.750	€/anno
quota interessi	1.890	€/anno	quota interessi	4.200	€/anno
quota spese varie	1.181	€/anno	quota spese varie	2.625	€/anno
Somma Costi Fondamentali annui	11.621	€/anno	Somma Costi Fondamentali annui	30.575	€/anno
quota riparazioni e manutenzioni	7,1	€/h	quota riparazioni e manutenzioni	8,5	€/h
quota consumi	15	€/h	quota consumi	31	€/h
quota manodopera	17	€/h	quota manodopera	8,5	€/h
Somma costi di Utilizzazione	39,3	€/h	Somma costi di Utilizzazione	47,8	€/h
Costi orari macchina	183,40	€/h	Costi orari trattore	211,48	€/h
Costi orari totali	183,4	€/h	Costi orari totali	211,5	€/h
Costi unitari totali	246,5	€/ha	Costi unitari totali	658,2	€/ha

Tabella 12 conto economico

Come si può comprendere dalla tabella i costi per il trattore sono piuttosto inferiori rispetto a Robotti, soprattutto per i costi fissi fondamentali annui dato principalmente dal minore valore iniziale del trattore rispetto al robot. Inoltre, la maggiore durata fisica del trattore porta ad una maggiore facilità di ammortamento della macchina. I costi orari e unitari totali sono indicati per un numero di 6 lavorazioni in una superficie di 10ha.

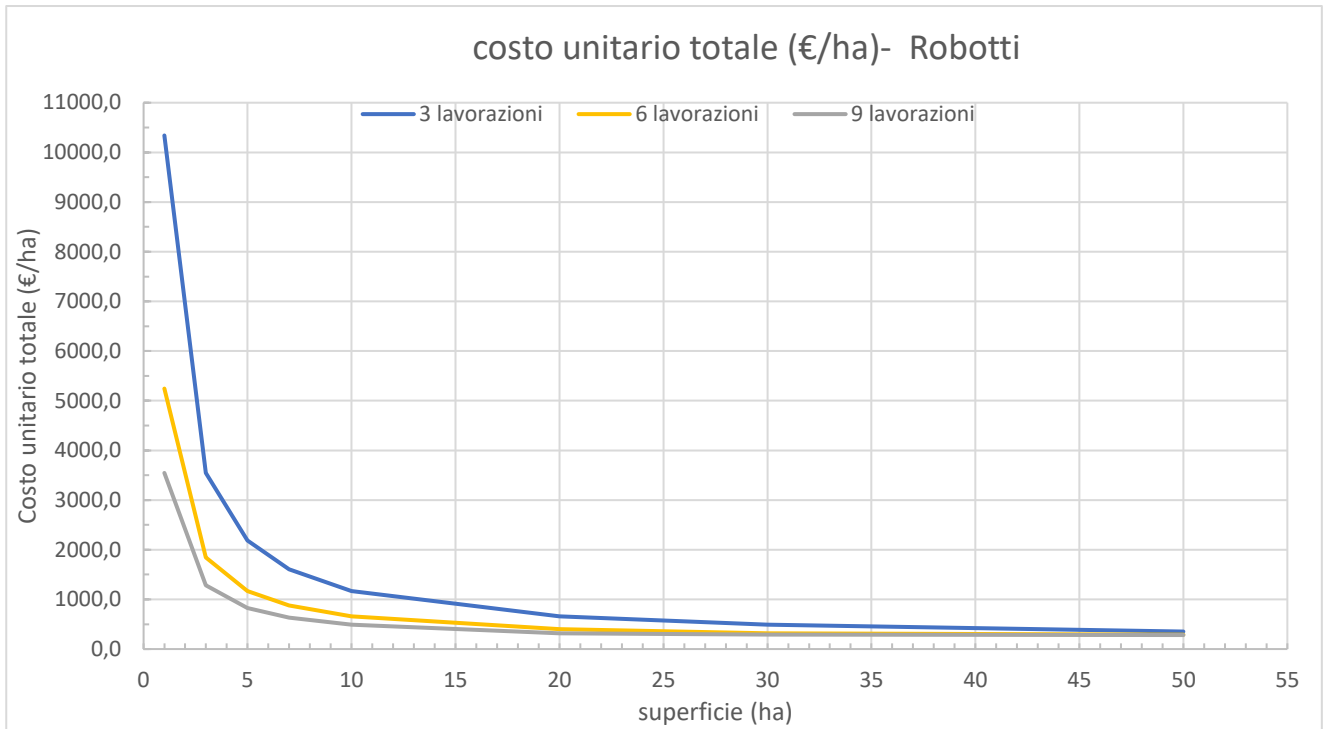


Figura 39: costo unitario totale Robotti 150D

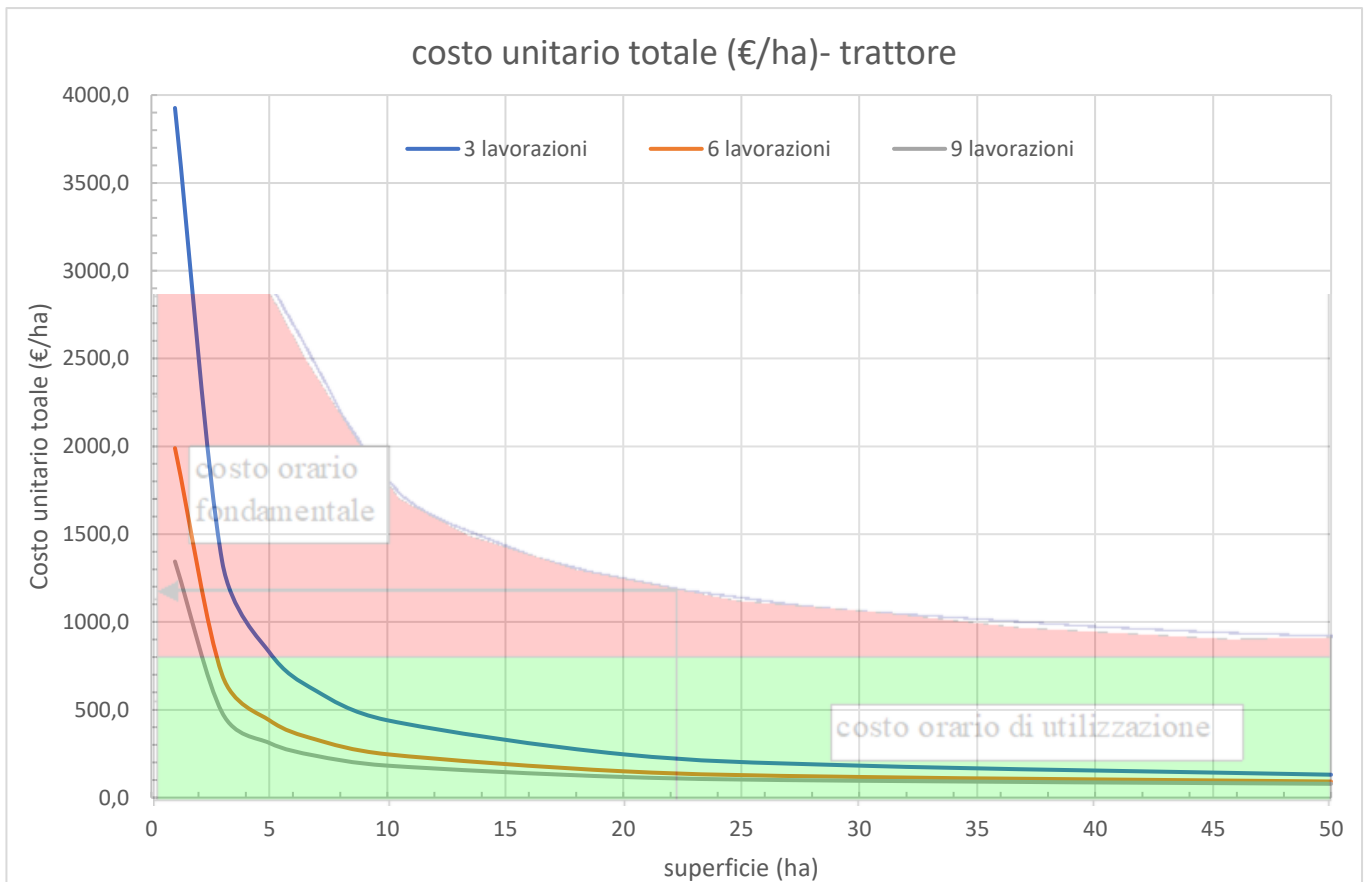


Figura 40: costo unitario totale trattore

Analizzando i grafici è possibile comprendere che all'aumentare della superficie e delle lavorazioni per superficie il costo unitario totale tende a diminuire per entrambe le macchine e tenderanno a prevalere i costi orari di utilizzazione rispetto ai costi orari fondamentali. Al tempo stesso si nota però che le scale di costo tra il robot e il trattore sono diverse essendo il robot più costoso rispetto al trattore.

6.5 DIMENSIONAMENTO DELLE MACCHINE AGRICOLE

In funzione dei periodi di esecuzione le lavorazioni si differenziano in differibili e non differibili.

I lavori differibili sono chiamati così perché le date di esecuzione non presentano nessuna rigidità, di conseguenza possono essere differibili nel tempo come la manutenzione o il miglioramento dei fabbricati.

I lavori non differibili invece sono vincolati a date precise di esecuzione come i lavori stagionali connessi al ciclo vegetativo delle colture, di conseguenza i mezzi o i fattori di produzione devono essere previsti in maniera tempestiva.

Per redigere un piano di lavoro aziendale ci si potrà limitare all'osservazione dei lavori "non differibili". L'esecuzione del lavoro, quindi, deve essere svolta in un arco di tempo utilizzabile per effettuare l'operazione stessa con criteri di normalità. Questo arco di tempo viene definito come Periodo Utile (PU). Il periodo utile è dato dal prodotto dei giorni utili (gu) per le ore giornaliere in cui è possibile lavorare in criteri di normalità senza danneggiamenti (hg).

$$Pu = gu \cdot hg \quad [h]$$

Figura 41: calcolo Pu

I giorni utili sono definiti dal coefficiente di sensibilità pedoclimatica (Cpc), dai giorni di calendario (gc) e i giorni di festività (gf). I giorni da calendario sono i giorni massimi consecutivi entro cui si deve svolgere il lavoro, questi possono passare da un minimo di 0,5-2 giorni fino ad alcune decine di giorni. I giorni disponibili (gd) sono invece i giorni in cui può essere eseguita correttamente l'operazione; quindi, solo una frazione dei giorni di calendario sarà realmente utilizzabile.

Il coefficiente di sensibilità pedoclimatica, indica l'influenza del clima e delle condizioni del terreno in funzione della durata del periodo considerato.

$$Cpc = \frac{gd}{gc} \qquad gu = Cpc \cdot (gc - gf)$$

Figura 423: calcolo coefficiente di sensibilità pedoclimatica (Cpc) e giorni utili (gu)

Una volta individuato PU, grazie anche ai dati ottenuti precedentemente per il calcolo di Cu è possibile ottenere la larghezza effettiva (Le) della macchina utile per una certa superficie da lavorare. Tramite questa operazione è possibile individuare la larghezza di lavoro richiesta da Robotti e dal trattore convenzionale per la stessa superficie lavorata valutando così l'eventuale convenienza del robot sul trattore grazie alla maggiore capacità di ore giornaliere di lavoro.

$$Cu = \frac{A_0}{Pu} \qquad Cu = 0,1 \cdot Ve \cdot Le \cdot Ro \cdot Rc$$

$$\frac{A_0}{Pu} = 0,1 Ve \cdot Le \cdot Ro \cdot Rc$$

$$Le = \frac{10A_0}{Pu \cdot Ve \cdot Ro \cdot Rc}$$

Figura 43: calcolo larghezza effettiva (Le) utile per il dimensionamento dell'attrezzo. (A₀) =Superficie lavorata

Nell'individuazione dei dati è stata presa in considerazione la lavorazione del suolo nel periodo di ottobre nella zona di Legnaro (PD) che prevede una probabilità di piogge del 23% e di 15 giorni di calendario (gc) per la lavorazione.

Lavorazione suolo in ottobre		
gc	15	giorni
gl	13	giorni
gp	3	giorni
impraticabilità	2	giorni
gd	10	giorni
Cpc	67%	
gu	8,7	giorni
hg – Robotti 150D	18	h
hg - trattore	5	h
Pu -Robotti 150D	156	h
Pu -trattore	43,33	h
Ru – Robotti 150D	0,51	
Ru - trattore	0,62	
Ve – Robotti 150D	3	km/h
Ve - trattore	4	km/h

Tabella 13: dati utili per il dimensionamento degli attrezzi

Robotti 150D		
Ettari (ha)	Le	potenza (kW)
1	0,04	1,4
3	0,1	4,2
5	0,2	7,0
7	0,3	9,8
10	0,4	14,0
20	0,8	28,1
30	1,3	42,1
50	2,1	70,2
80	3,4	112,3

trattore		
Ettari (ha)	Le	potenza (kW)
1	0,1	3,1
3	0,3	9,4
5	0,5	15,6
7	0,7	21,8
10	0,9	31,2
20	1,9	62,4
30	2,8	93,5
50	4,7	155,9
80	7,4	249,5

Tabella 14: larghezza dell'attrezzo(mt) e potenza richiesta (kw) in funzione della superficie lavorata

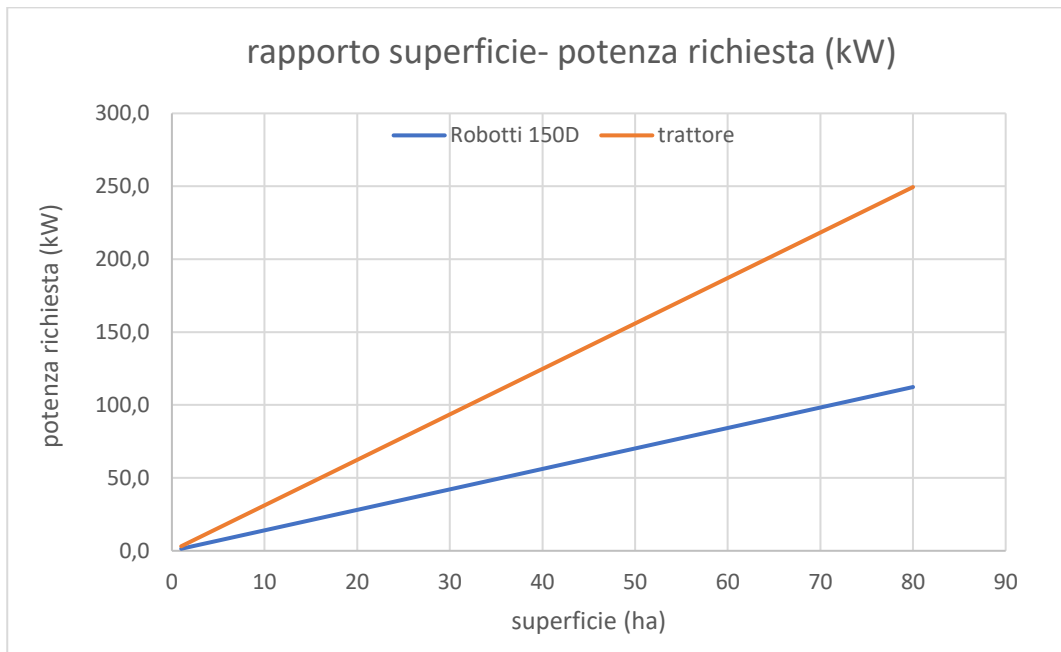


Figura 44: rapporto tra superficie e potenza richiesta.

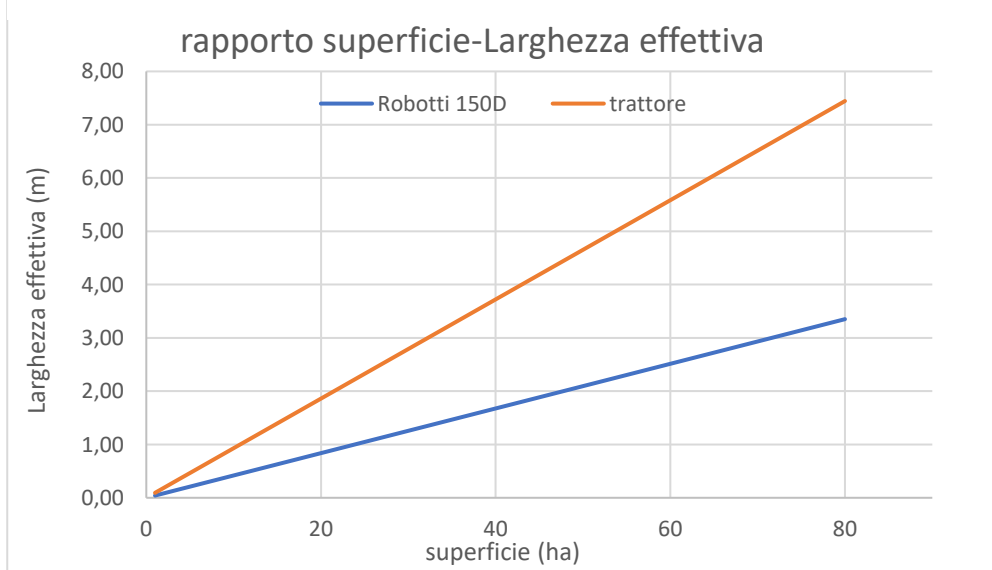


Figura 45: rapporto tra superficie e larghezza effettiva dell'attrezzo.

Come si può notare dalla tabella 14 e dalla figura 45 la larghezza effettiva delle macchine per superficie lavorata tende ad essere minore in Robotti 150D rispetto al trattore convenzionale. Questa differenza è data dalla capacità del robot di disporre di una maggiore capacità di ore di lavoro (hg) rispetto ad un trattore che, durante il periodo utilizzato per il calcolo del Pu, lavora per meno ore data la minore disponibilità di luce giornaliera. La capacità del robot di lavorare per un maggior numero di ore porterebbe a concentrare il periodo di lavoro dell'operatore solo in alcuni momenti della giornata come il posizionamento in campo, ed eventuali rabbocchi di carburante o prodotti utili alla lavorazione riducendo così possibili incidenti sul lavoro dati da distrazioni o da un eccessivo carico di lavoro al fine di concludere le lavorazioni non differibili.

Inoltre, come indicato nella figura 44, la potenza richiesta per superficie lavorata tende ad essere anch'essa minore nel robot rispetto al trattore. Questo comporterà una maggiore efficienza del robot nelle lavorazioni di preparazione del suolo nonostante la minore larghezza dell'attrezzo utilizzato e la minore potenza richiesta. Il minore dimensionamento della potenza e della larghezza delle attrezzature richieste può portare a dei vantaggi: un motore più piccolo e una larghezza di lavoro minore richiede meno materie prime per la costruzione di questi, influenzando così sia sul costo iniziale di acquisto che sui successivi costi di manutenzione e riparazione. Inoltre, il giusto dimensionamento dell'attrezzatura in funzione della potenza può ridurre i consumi di carburante, limitando così emissioni in atmosfera.

CONCLUSIONE

Con il presente elaborato, sono state presentate le diverse peculiarità della robotica in agricoltura con lo scopo di poter dare una conoscenza rispetto a questa nuova forma di agricoltura.

L'utilizzo dei robot in campo agricolo è presente da poco tempo rispetto ai robot utilizzati in fabbriche, di conseguenza lo studio della loro applicazione in campo è fondamentale, come nel caso di Robotti 150D, per poterne valutare la loro efficienza ed efficacia.

Questa comparativa ha permesso di capire i punti di forza e di debolezza di Robotti 150D rispetto all'utilizzo di una trattrice convenzionale. La macchina si presenta piuttosto versatile nei diversi utilizzi, anche grazie alla scelta della larghezza della carreggiata del robot fino a 3,5mt durante la fase di acquisto. Sicuramente la creazione del cantiere di lavoro tramite la Webapp richiede del tempo da parte dell'operatore, sia per il training iniziale, servizio solitamente dato dal rivenditore, sia per l'uso quotidiano al fine di comprendere il significato degli errori della macchina e capire come risolverli. Il robot, una volta in funzione però, porta ad una buona lavorazione del terreno, soprattutto se si vuole gestire l'appezzamento in corsie di traffico controllato. Questa gestione del terreno può essere utile soprattutto per coltivazione di ortaggi in pieno campo.

Una nota negativa è la costante presenza di un operatore durante le lavorazioni in campo, annullando di fatto il vantaggio dell'autonomia della macchina. Questo aspetto, però, potrebbe ridursi se si presenta una sinergia tra uomo e robot, cioè mentre il robot svolge una determinata lavorazione in campo l'operatore svolge un'altra operazione con la trattrice, sempre nelle vicinanze, riducendo così i tempi totali di preparazione del campo. Un altro sistema per ovviare a questo problema è la presenza di più robot all'interno dello stesso appezzamento controllati da un singolo operatore. Inoltre, i costi rilevati dal conto economico rendono svantaggioso l'acquisto di un robot dato che il prezzo €/ha è più del doppio rispetto ad una trattrice agricola convenzionale. Di conseguenza, se non sono presenti dei sussidi economici difficilmente un agricoltore valuterà l'acquisto del robot.

Allo stesso tempo, l'efficienza del robot in termini di periodo utile di lavorazione è più che superiore rispetto ad una trattrice agricola riducendo così il dimensionamento del motore e dell'attrezzatura posta dietro macchina limitando costi di manutenzione e consumi di carburante.

Nonostante le evidenze riportate in questa tesi, si può evincere con il proseguire dello studio della robotica in agricoltura e con l'elaborazione di nuove norme a riguardo sarà possibile ottenere una macchina capace di lavorare in completa autonomia e sicurezza.

BIBLIOGRAFIA

- ABN AMRO in conjunction with FME Cluster Agri & Food and GMV. (2020). *Battle for agricultural robots begins Dutch AgriTech market can triple in ten years Sources 24 Acknowledgements 25.*
- Backman, J., Linkolehto, R., Lemsalu, M., & Kaivosoja, J. (2022). Building a Robot Tractor Using Commercial Components and Widely Used Standards. *IFAC-PapersOnLine*, 55(32), 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.11.106>
- Balman, A., Chatalova, L., Valentinov, V., & Gagalyuk, T. (2018). *CAN MODERN AGRICULTURE MEET SOCIETAL. February.*
- Basu, S., Omotubora, A., Beeson, M., & Fox, C. (2020). Legal framework for small autonomous agricultural robots. *AI and Society*, 35(1), 113–134. <https://doi.org/10.1007/s00146-018-0846-4>
- Baylou, P. (1987). Agricultural Robots. *IFAC Proceedings Volumes*, 20(5), 111–119. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)55251-9](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)55251-9)
- Bechar, A., & Edan, Y. (2003). Human-robot collaboration for improved target recognition of agricultural robots. *Industrial Robot*, 30(5), 432–436. <https://doi.org/10.1108/01439910310492194>
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2016). Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94–111. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.06.014>
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2017). Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems. *Biosystems Engineering*, 153, 110–128. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.11.004>
- Benos, L., Bechar, A., & Bochtis, D. (2020). Safety and ergonomics in human-robot interactive agricultural operations. *Biosystems Engineering*, 200, 55–72. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.09.009>
- Cheein, F. A., Herrera, D., Gimenez, J., Carelli, R., Torres-Torriti, M., Rosell-Polo, J. R., Escola, A., & Arno, J. (2015). Human-robot interaction in precision agriculture: Sharing the workspace with service units. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, 2015-June*(June), 289–295. <https://doi.org/10.1109/ICIT.2015.7125113>
- Foldager, F. F., Thule, C., Balling, O., & Larsen, P. G. (2021). Towards a Digital Twin - Modelling an Agricultural Vehicle. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12479 LNCS, 109–123. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83723-5_8
- Gil, G., Casagrande, D. E., Cortés, L. P., & Verschae, R. (2023). Why the low adoption of robotics in the farms? Challenges for the establishment of commercial agricultural robots. *Smart Agricultural Technology*, 3(November 2021), 100069. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100069>
- Gusev, E. M. (2020). Evolution of Agricultural Technologies: from “Gray” to “Green.” *Arid Ecosystems*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1134/S2079096120010060>
- Hamuda, H. E. a F. B., & Patkó, I. (2010). *Relationship between Environmental Impacts and Modern Agriculture. 1*(1), 87–98.
- Hossain, M. Z., & Komatsuzaki, M. (2021). Weed management and economic analysis of a robotic lawnmower: A case study in a japanese pear orchard. *Agriculture (Switzerland)*, 11(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020113>
- Lenain, R., & Cartade, P. (2012). Development of Robotics Tools for Agricultural Task Achievement: The example of robot formation control. ... *and Systems, IROS*

- Mege, S. (2020). *D2.11 Robotic markets in EU-landscape WP2-Business models for value chain integration and optimization*. <https://agrobofood.eu/>
- Pedersen S., F. and B. S. (n.d.). *Agricultural Robots-Applications and Economic Perspectives*. www.intechopen.com
- Pedersen, S. M., Fountas, S., Have, H., & Blackmore, B. S. (2006). Agricultural robots - System analysis and economic feasibility. *Precision Agriculture*, 7(4), 295–308. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9014-9>
- ROBOTTI, *We Automate Farming*. (n.d.). Retrieved June 8, 2023, from www.agrointelli.com
- Santiago Santos Valle, A. M. S. Faoj. K. A. E. F. (2020). *AGRICULTURE 4.0 Start Agricultural robotics and automated equipment for sustainable crop production*.
- Slaughter, D. C., Giles, D. K., & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.008>
- Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, 22(3), 818–833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>
- Thrall, P. H., Bever, J. D., & Burdon, J. J. (2010). Evolutionary change in agriculture: The past, present and future. *Evolutionary Applications*, 3(5–6), 405–408. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00155.x>
- Vahdanjoo, M., Gislum, R., & Sørensen, C. A. G. (2023). Operational, Economic, and Environmental Assessment of an Agricultural Robot in Seeding and Weeding Operations. *AgriEngineering*, 5(1), 299–324. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5010020>
- Vasconez, J. P., Kantor, G. A., & Auat Cheein, F. A. (2019). Human–robot interaction in agriculture: A survey and current challenges. *Biosystems Engineering*, 179, 35–48. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.12.005>
- Wilson, J. N. (2000). Guidance of agricultural vehicles-a historical perspective. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 25). www.elsevier.com/locate/compag
- Zhou, B. Z. and J., & Additional. (2016). Recent Development and Applications of Agricultural Robots. *Intech*, 225–240. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.81149>

SITOGRAFIA

<https://www.Argointelli.com> (consultato dicembre 2022)

<https://www.agricultural-robotics.com/news/farming-with-no-tractor-driver-is-it-possible>
(consultato dicembre 2022)

www.treccani.it/vocabolario/robot/. (consultato marzo 2023)

<https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/news-ed-eventi/news/news-dati-inail-agricoltura-2021.html> (consultato giugno 2023)

<http://data.europa.eu/eli/dir/2006/42/2019-07-26> (consultato giugno 2023)

<http://data.europa.eu/eli/reg/2013/167/2019-04-18> (consultato giugno 2023)

<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52021AE2559&qid=1687625295554>
(consultato giugno 2023)

https://teseo.clal.it/?section=gasolio_agricolo (consultato giugno 2023)