



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e  
Ambiente

Dip. Territorio e Sistemi Agro-  
Forestali

Corso di Laurea in  
Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche

**Confronto tra robot agricolo e un trattore per operazioni di  
diserbo meccanico in vigneto**

**Relatore:**

Prof. Luigi Sartori

**Correlatore:**

Dott. Marco Sozzi

**Laureando:**

Luca Freoni

Matricola n°1192609

## Anno accademico 2021-2022

### SOMMARIO

---

Capitolo 1 .....	3
1.0 Riassunto .....	3
1.1 Abstract.....	4
Capitolo 2 .....	5
2.0 Introduzione.....	5
Capitolo 3 .....	7
3.0 Robot agricoli .....	7
3.1 Metodi e tecnologie per la robotica agricola .....	7
3.2 I principali componenti.....	8
3.2.1 Il motore .....	8
3.2.3 La guida autonoma in vigneto .....	11
3.3 Le funzioni e le principali lavorazioni svolte .....	12
3.4 I vari marchi presenti in vendita .....	14
3.4.1 Sitia.....	15
3.4.2 Naïo Technologies.....	16
3.4.3 Free Green Nature .....	17
3.4.4 Yanmar .....	18
Capitolo 4 .....	19
4.0 Gli obiettivi.....	19
Capitolo 5 .....	21
5.0 Il Bakus.....	21
5.1 Le caratteristiche .....	22
5.1.1 Le dimensioni .....	22
5.1.2 Il motore .....	22
5.1.3 I sensori .....	22
5.1.4 Attrezzi elettrici o passivi .....	23
Capitolo 6 .....	25
6.0 Tempi di lavoro .....	25
6.2 Le capacità di lavoro .....	27
6.3 I costi .....	28

6.4 I luoghi di lavoro.....	31
6.5 Il trattore utilizzato per il confronto .....	31
Capitolo 7.....	33
7.1 Il progetto.....	33
7.2 Le osservazioni .....	33
7.3 I costi.....	34
Capitolo 8.....	35
8.1 Descrizione.....	35
8.2 Le osservazioni .....	35
8.2 I consumi.....	36
8.3 I costi.....	36
Capitolo 9.....	37
9.0 considerazioni .....	37
Bibliografia .....	39

## 1.0 RIASSUNTO

L'agricoltura si è evoluta, rispetto al passato si hanno molte più attenzioni verso l'ambiente e i prodotti che vengono utilizzati su di esso. Uno dei principali dibattiti è l'uso del diserbo chimico, tossico sia per l'ambiente che la persona. Oggi giorno vi sono molti rimedi per ovviare all'uso della chimica per il controllo delle erbe infestanti. In questo studio sono stati comparati con l'utilizzo di dati due diverse attrezzature ma che eseguono la medesima operazione. Da una parte vengono descritti i funzionamenti e le varie parti dell'agricoltura 4.0, ovvero la robotica e l'intelligenza artificiale. In particolare, è stato preso in considerazione il robot Bakus, frutto di un progetto innovativo della Vitibot, un'azienda francese che ha lanciato il mezzo nel 2019 e ora è diventata una delle prime aziende produttrici a livello mondiale di agbot per la viticoltura. Bakus di Vitibot è un esempio di innovazione sostenibile che mira a rivoluzionare la viticoltura: è equipaggiato con tutto il necessario per operare in sicurezza sia di giorno sia di notte, è dotato di sensori in grado di identificare le sole aree dove intervenire, e garantisce la gestione delle erbe presenti nel sottofila del vigneto evitando completamente l'utilizzo di erbicidi (Zonini1821, 2021). Dall'altra parte è analizzato un comune trattore agricolo munito di un intercetto a lama, dal quale sono stati raccolti i dati sui tempi di lavoro e sui consumi. Dato che la raccolta dati di entrambi i mezzi, non è stata eseguita sullo stesso appezzamento, i risultati ottenuti non rispecchiano a pieno la realtà, a causa delle diverse caratteristiche dell'ambiente di lavoro. Dai risultati ottenuti si può notare che, sia in termini di lavoro svolto che a livello economico, Bakus risulta più efficiente ed economico rispetto ad un normale trattore agricolo. Ciò risulta veritiero se la superficie di lavoro fosse estesa per poter giustificare la spesa iniziale di acquisto del robot. Ma oltre che ad un risparmio economico vi è anche un vantaggio ecologico date le emissioni zero garantite dai motori elettrici.

## 1.1 ABSTRACT

Agriculture has evolved over the years, in fact compared to the past there is much more attention to the environment and the products that are used on it. One of the main debates is about the use of chemical weeding, toxic to both the environment and the person. Today there are many ways remedy the use of chemistry to control infested herbs. In this study, two different equipment which perform the same operation are compared thanks to the use of data. On the one hand, agriculture 4.0, that is robotics and artificial intelligence, is taken into consideration, describing the functioning of the various parts. In particular, the Bakus robot is examined, the result of an innovative project by Vitibot, a French company which launched the vehicle in 2019 and has now become one of the first companies producing agbot, for viticulture, worldwide. Bakus by Vitibot is an example of sustainable innovation that aims to revolutionize viticulture: it is equipped with everything necessary to operate safely both day and night. It's sensors that can identify the areas where to intervene. It guarantees the management of the herbs present in the sub-row of the vineyard completely avoiding the use of herbicides. On the other hand, a common agricultural tractor equipped with a blade inter-row is taken into consideration, and the data on working times and consumption were collected. Because of the impossibility, which can give results that are not entirely real but this since it would lead to minimal variation in the result, these are almost completely irrelevant details. From the results obtained it can be seen that, both in terms of work and economically, Bakus is more efficient and economical than a normal agricultural tractor. This is true if the work surface is extended to justify the initial purchase cost of the robot. But in addition to economic savings, there is also an ecological advantage thanks to the zero emissions guaranteed by electric motors.

### 2.0 INTRODUZIONE

Il mondo agricolo si sta evolvendo sempre più, grazie all'avvento della tecnologia 4.0, la quale interessa soprattutto il l'agricoltura e l'allevamento. Ormai la presenza dei trattori a guida autonoma e dei robot agricoli non è più una novità soprattutto dove vi sono grandi estensioni da lavorare come negli USA. Nutrire oltre nove miliardi di persone entro il 2050 mantenendo la sostenibilità ambientale è una sfida dove robotica e intelligenza artificiale possono giocare un ruolo cruciale. La robotica e l'intelligenza artificiale sono infatti considerati settori tecnologici ad elevato impatto sull'agricoltura per la possibilità che offrono di automatizzare e migliorare i processi di coltivazione con impatto positivo sulla qualità dei prodotti e sulla sostenibilità. D'altra parte, l'agricoltura è già un settore di punta per la robotica di servizio impiegata per uso professionale. (Farinelli, Finzi , & Mastrogiovanni, 2021) In Italia si sta vedendo anche qua la presenza sempre maggiore di nuove tecnologie. Il termine robot agricoli è comunemente usato per riferirsi a macchine robotiche mobili che supportano o eseguono attività agricole. Le nuove attrezzature posso esser applicate in vari settori agrari per aver benefeci socioeconomici e tecnologici ma soprattutto apportano benefici ambientali. Solitamente sono più leggeri di un trattore tradizionale e compattano meno il terreno, consumano meno energia e, nel caso di un motore elettrico, possono essere ricaricato mediante energia rinnovabile (fotovoltaica, eolica) direttamente in azienda, permette l'uso di metodi alternativi al diserbo chimico, richiede poca manutenzione. Per quanto riguarda la viticoltura i robot presenti vi è una minor presenza per l'elevato grado di complessità della coltura, rispetto a colture a campo aperto dove la robotica ha quasi soppianto il lavoro manuale. Le lavorazioni che possono essere compiute da queste tecnologie vanno dal diserbo meccanico dell'interfilare, alle operazioni di trattamento con antiparassitari.



### 3.0 ROBOT AGRICOLI

I robot agricoli di nuova generazione hanno disparati impieghi nelle diverse fasi della produzione agricola, dalla lavorazione del terreno e la semina, fino alla raccolta. Possono essere utilizzati in attività orticole come la potatura, il controllo degli infestanti, il diserbo, l'irrorazione ed il monitoraggio della crescita e dello stato di salute delle piante. La diffusione di questi robot è accompagnata dallo sviluppo di metodi di intelligenza artificiale che permettono di automatizzare processi sempre più complessi (Farinelli, Finzi , & Mastrogiovanni, 2021). Sono infatti disponibili metodologie e tecnologie per il monitoraggio delle coltivazioni, la stima dello stato delle piante, la pianificazione delle lavorazioni, la previsione della resa, fino all'esecuzione autonoma e mirata di operazioni agricole garantendo la riduzione degli sprechi, l'impiego selettivo di sostanze inquinanti (fertilizzanti, erbicidi e pesticidi), e maggiore efficienza nella coltivazione.

### 3.1 METODI E TECNOLOGIE PER LA ROBOTICA AGRICOLA

I robot agricoli autonomi terrestri possono esser dedicati ad un solo compito o possono esser piattaforme generiche multiuso (portattrezzi). Possono operare in condizioni difficili, in presenza di fango, pioggia, nebbia, umidità, basse e alte temperature, devono essere quindi piattaforme robuste con meccanismi di locomozione, manipolazione e percezione spesso molto dipendenti dal compito da svolgere. Ad esempio, operazioni come la potatura o la raccolta selettiva richiedono robot avanzati dotati di manipolatori robotici e sofisticate dotazioni sensoriali (RTK/GNSS, IMU, telecamere, laser scanner) a supporto sia della navigazione (es. per la localizzazione e la mappatura), sia della manipolazione (per la scansione, la localizzazione ed il riconoscimento di terreni, piante, frutti). I sistemi sensoriali sono particolarmente rilevanti in un contesto non strutturato e complesso come quello agricolo. Metodi di intelligenza artificiale possono essere impiegati dai robot agricoli per localizzarsi e fare scansioni dei territori e delle colture, per riconoscere la tipologia della pianta e monitorarne lo stato in tempo reale acquisendo immagini e



raccogliendo dati sensoriali come temperatura, umidità, o livello di pH del suolo. Molto diffusi sono i metodi di visione artificiale basati su tecniche di Deep Learning, che forniscono risultati molto promettenti nella classificazione dei frutti e nel rilevamento delle infestanti in ambienti non strutturati. Metodi di pianificazione, schedulazione, coordinazione e controllo sono fondamentali per controllare sistemi in cui diversi robot agricoli devono lavorare in sintonia, ma anche per gestire in modo autonomo altri sistemi agricoli come l'irrigazione e l'irrorazione a seconda delle condizioni delle colture. Opportune interfacce, più o meno avanzate, possono fornire agli agricoltori lo stato delle colture segnalando eventuali anomalie nelle condizioni delle piante. (Farinelli, Finzi , & Mastrogiovanni, 2021)

## **3.2 I PRINCIPALI COMPONENTI**

Il termine robot deriva, infatti, dal ceco “robota” e significa “lavoro esecutivo” (Esposito, 2021). La robotica è considerata una connessione intelligente tra percezione e azione, i robot sono infatti costituiti da più elementi, che ne vanno a costituire “il corpo” e “l’anima”: presentano una struttura meccanica, con organi di locomozione e di manipolazione – quali ruote, braccia, utensili o mani artificiali; un sistema sensoriale, che grazie a sensori propriocettivi ed esteroceettivi riesce a monitorare lo stato dell’ambiente esterno e le condizioni della macchina stessa; una struttura di controllo che grazie all’azione di un sistema di attuatori, anima le componenti meccaniche del robot; una struttura di governo, ossia una componente algoritmica capace di assegnare un comportamento reattivo al robot, ed è dunque la parte – che include i software – che consente il corretto funzionamento della macchina.

### **3.2.1 Il motore**

Vi sono varie tipologie di motore che possono esser montate su un agbot. il più diffuso e ovviamente più gettonato è il motore con alimentazione elettrica, circa il 78% dei produttori di robot utilizza batterie per il funzionamento dei propri mezzi. Il 14% montano motori termici a diesel e le restate 8% utilizza un motore ibrido. (Marco Sozzi, 31/2021)

L'utilizzo per la maggiore di un motore elettrico deriva, in primis, da una scelta di aumentare l'efficienza energetica del cantiere di lavoro, poi per la sostenibilità ambientale

con la riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub> durante il lavoro e per un fattore economico dato che il prezzo al chilo delle batterie al litio è in costante diminuzione rispetto al prezzo a tonnellata dei combustibili fossili, come il diesel, che negli ultimi anni ha mostrato una tendenza alla crescita e il cui valore dipende da molteplici fattori, compresi quelli geopolitici. I vantaggi che apportano i motori elettrici nelle lavorazioni sono: non hanno emissioni di monossido di carbonio e di altri gas, riducendo così l'impatto ambientale dell'agricoltura e riducendo l'inquinamento. I motori elettrici hanno la caratteristica di esser silenziosi diminuendo così i danni all'udito che potrebbero subire gli operatori, i quali non sono più costretti a portare dispositivi di protezione per l'udito mentre lavorano a stretto contatto i robot agricoli. Il costo di ricarica è molto più basso rispetto al costo di rifornimento di un motore a combustione, il quale il prezzo del carburante è in continua oscillazione. I difetti dei motori elettrici sono la scarsa autonomia, che di solito si aggira tra le 7 alle 10 ore ma si può arrivare anche a 24 ore con l'ausilio di pannelli fotovoltaici montati direttamente sul robot che ricaricano le batterie agli ioni di litio, un esempio è Agri.Q. Un robot per la raccolta dati che lavora nei vigneti il quale dotato di pannello fotovoltaico che lo rende energeticamente indipendente. Un altro difetto è il tempo di ricarica delle batterie, il quale può variare molto a seconda della disponibilità di kW/h dell'azienda. Un costo ancora elevato, ma con tendenza alla diminuzione per lo sviluppo di nuove tecnologie, è il prezzo delle batterie e la loro sostituzione e il loro smaltimento.

### **3.2.2 La sensoristica**

Nella rivoluzione digitale e dell'intelligenza artificiale a cui siamo assistendo ora, questo modello di agricoltura si arricchisce di una serie di nuove applicazioni tecnologiche. Ora le attrezzature agricole possono venire dotate di nuova sensoristica, i software che raccolgono i dati possono utilizzare anche l'apprendimento automatico, e i robot possono percorrere il terreno per mezzo di veicoli su ruote o di quelli a scorrimento su binari. L'obiettivo è, ad esempio, quello di identificare le malerbe e di decidere la quantità di erbicida che deve essere spruzzata, per poi intervenire automaticamente, oppure quello di imparare a rilevare e a raccogliere i frutti o ancora il riconoscimento di malattie o stress sulla vegetazione.

Questi sistemi di comunicazione possono aumentare l'efficacia di un cantiere di lavoro attraverso i sistemi di telemetria. Poi oltre che a questa tecnologia base per gli automatismi.

I robot possono montare svariati tipi di sensori, ognuno con uno scopo specifico per una specifica coltura. I sensori possono essere:

- Ottici: i sensori ottici principali sono quelli ad infrarossi, il mezzo può rendere visibile la quantità di clorofilla presente nelle viti, fornendo così un parametro di notevole importanza per l'agronomo e l'enologo. Sono utili a elaborare indici, come l'Ndvi (Normalized Difference Vegetation Index) ossia indice di vegetazione della differenza normalizzata, che forniscono informazioni sullo stato di salute della pianta, il cosiddetto vigore vegetativo (Cinquemani, 2020).
- Prossimità: utilizzati per il controllo del mezzo e dei suoi movimenti. I sensori di prossimità possono essere realizzati basandosi su diversi tipi di tecnologie:
  - con sensori induttivi; I sensori di prossimità induttivi si basano sul principio della variazione di riluttanza che presenta un elettromagnete, quando nelle vicinanze si presenta un oggetto realizzato in materiale ferromagnetico, la comparsa di materiale ferromagnetico all'interno del campo magnetico, fa sì che il campo stesso si chiuda meglio, con conseguente abbassamento della riluttanza. I circuiti interni del sensore rilevano la variazione di riluttanza, e superata una certa soglia, fanno commutare il segnale d'uscita. Pertanto, questi sensori di prossimità possono rilevare solo la presenza d'oggetti realizzati in materiale ferromagnetico e la portata nominale è genericamente piuttosto bassa, dell'ordine di qualche millimetro. (“Sensore di prossimità - Blocchi CAD 3D e Modelli 3D”)
  - con sensori capacitivi; I sensori capacitivi si basano sul principio della rilevazione della capacità elettrica di un condensatore: il loro lato sensibile ne costituisce un'armatura, l'eventuale presenza nelle immediate vicinanze di un oggetto conduttore, realizza l'altra armatura del condensatore. Così la presenza di un oggetto crea una capacità che i circuiti interni rilevano, comandando la commutazione del segnale d'uscita. (“Sensore di prossimità - Blocchi CAD 3D e Modelli 3D”)
  - sensori ad ultrasuoni; I sensori di prossimità ad ultrasuoni funzionano sul principio del Sonar: emettono impulsi sonori ultrasonici, e rilevano un'eventuale eco di ritorno generata dalla presenza di un oggetto all'interno della portata nominale. (“Sensore di prossimità - Blocchi CAD 3D e Modelli 3D”)

- con sensori ottici. I sensori di prossimità ottici (chiamati anche Fotoelettrici) si basano sulla rilevazione della riflessione di un fascio luminoso da parte dell'oggetto rilevato. Normalmente viene usato un fascio di raggio infrarossi, in quanto questa radiazione difficilmente si confonde con i disturbi generati da fonti luminose ambientali.
- Termici: in grado di valutare lo stress idrico della coltura in quanto una chioma ben idratata riesce a mantenere bassa la propria temperatura tramite l'evapotraspirazione.

### 3.2.3 La guida autonoma in vigneto

I robot sono in grado di percorrere i filari e svoltare in capezzagna in maniera autonoma. Il robot a guida autonoma AMR è un dispositivo in grado di muoversi in un ambiente dinamico usando una mappa che si è creato precedentemente. (Vitali, 2020) La navigazione avviene attraverso laser scanner, sistemi di posizionamento satellitare o sistemi di visione (questi ultimi per avere informazioni più dettagliate in prossimità del veicolo da fornire al sistema di controllo); l'utilizzo dei dati forniti da questi tre sistemi permettono all'AMR di calcolare il percorso più efficace per svolgere le missioni programmate dall'operatore. Inoltre, il laser scanner e il sistema di visione possono essere utilizzati per rilevare ostacoli e modificare il percorso programmato in maniera dinamica. Per eseguire un lavoro in completa autonomia il robot ha bisogno di informazioni, molte delle quali devono essere inserite da un operatore, e sono: gestione della larghezza di lavoro, spazio di manovra per la svolta presente, pianificazione dell'attività successiva, ricarica, manutenzione. I dati che al robot servono per la guida che non devono essere inseriti da un operatore vengono forniti utilizzando il sistema GIS. Il termine GIS (Geographic Information System) racchiude l'insieme delle tecnologie informatiche che permettono l'acquisizione, la memorizzazione e l'elaborazione di informazione geografica.

Le tecnologie GIS sono:

- Acquisizione: sensori di acquisizione immagini, di movimento, di posizione;
- Memorizzazione: geo database;
- Visualizzazione ed Elaborazione: Software GIS, servizi di web-mapping

- permette la creazione e la modifica visuale dei percorsi;
- i dati sono salvati in un formato standard importabile in altri software.

Le principali funzionalità sono:

- Calcolo coordinate punti;
- Calcolo automatico delle distanze;
- Calcolo automatico degli angoli di angolo-angoli di rotazione;
- Semplicità di utilizzo;
- Salvataggio ed esportazione dei dati;

Questo è reso possibile da quattro sistemi che si integrano a vicenda:

- Il GNSS viene utilizzato per fornire la posizione di un utente in termini di latitudine, longitudine, altitudine, velocità, direzione e tempo usando un procedimento matematico chiamato “trilaterazione”
- Immagini 3D. Telecamere appositamente montate sul robot sono in grado di scattare delle foto del vigneto che viene poi ricostruito digitalmente tramite un software. Le immagini a tre dimensioni forniscono quindi ai robot informazioni sull'ambiente circostante e sulla presenza di ostacoli (Cinquemani, 2020).
- Lidar. Si tratta di una tecnica di telerilevamento che permette di determinare la distanza di un oggetto utilizzando un impulso laser. Questo sistema è molto accurato e permette al robot di muoversi in vigna anche di notte (Cinquemani, 2020).
- Ultrasuoni. Sono dotati anche di sensori ad ultrasuoni, come quelli in dotazione alle autovetture per facilitare il parcheggio, che permettono non solo di migliorare la navigazione in vigna, ma anche di arrestare il movimento del robot nel caso si trovi davanti un ostacolo, come una persona (Cinquemani, 2020).

### **3.3 LE FUNZIONI E LE PRINCIPALI LAVORAZIONI SVOLTE**

I robot agricoli possono compiere varie funzioni a seconda del luogo di lavoro che può essere una coltura arborea, una coltura orticola o una coltura erbacea. Vi sono robot

specifici per una sola coltura o posso eseguire operazioni in più colture. Le funzioni che possono esser fatte sono:

- Porta-attrezzi: è un robot che non è specifico per una certa operazione, è in grado di esser utilizzato per varie lavorazioni perché, in molti modelli, è dotato di attacco



Figura 3.1 roboMAX abbinato ad una cimatrice



Figura 3.2 Robot Slopehelper di Pek con sistemi di AI

a tre punti, presa PTO e anche all'occorrenza prese idrauliche. In molti robot di questo tipo è possibile l'attacco di attrezzature già presenti in azienda, perché utilizzate sui classici trattori (Figura 3.1) (Figura 3.2)

- Diserbo meccanico: lavorazione eseguita in colture arboree e in orticole. Eseguito rimuovendo meccanicamente le malerbe con l'uso di varie applicazioni, come ad esempio lama orizzontale (soprattutto in colture arboree) oppure con l'uso di un rotore verticale;
- Diserbo chimico: utilizzato nelle colture orticole e erbacee. Con l'utilizzo di sensori è in grado di colpire con precisione solo le malerbe. Questa pratica apporta un'azione più mirata e più sostenibile economicamente per il risparmio di prodotto utilizzato;
- Difesa: presenti per colture erbacee, arboree e orticole. Dotati di una propria irroratrice per l'esecuzione dei trattamenti fitosanitari mirati sulla coltura diminuendo l'effetto deriva;
- Monitoraggio: modelli presenti per tutte le colture. Dotati di sensori per il monitoraggio della vegetazione, utili per un controllo dello stato sanitario e di maturazione delle colture (Figura 3.3)

- Raccolta: adatto solo ad alcune colture, ad esempio le fragole, e per le erbacee. Robot specifici in grado di vedere il grado di maturazione, e con l'utilizzo di applicazioni apposte per colture sono in grado di prelevare il prodotto senza danneggiarlo e senza danneggiare la pianta.



*Figura 1.3 VineScout operazione di monitoraggio*

### **3.4 I VARI MARCHI PRESENTI IN VENDITA**

A livello internazionale sono presenti quasi un centinaio di produttori di piattaforme robotiche destinate all'agricoltura, di cui più della metà con sede in Europa (M.Sozzi, 16/2022). In viticoltura, caratterizzata da picchi di lavoro stagionali, zone di coltivazione collinari e spesso in forte pendenza, frequenza elevata di trattamenti fitosanitari, ma anche elevata redditività, l'impiego di robot ha prospettive particolarmente interessanti e non a caso sono già diverse le soluzioni disponibili o in via di commercializzazione. I principali robot già in commercio per la viticoltura sono (redazione, 2021):

### 3.4.1 Sitia



*Figura 3.4 Un TrektoR al lavoro*

Fondata nel 1986 a Nantes, Sitia è una società di ingegneria che progetta e produce macchine speciali e innovative nei settori dell'automazione, della simulazione, dell'informatica meccanica e industriale. Dotata di un proprio dipartimento di innovazione robotica, Sitia ha messo a punto il robot agricolo TrektoR (figura 3) in grado di lavorare autonomamente non solo su vigneti a filari stretti e larghi, ma anche in orticoltura e in arboricoltura grazie alla possibilità di variare sia il suo interasse, sia la sua altezza da terra operando a cavallo della coltura.

Mosso da un motore ibrido diesel-elettrico, TrektoR può essere configurato per svolgere in autonomia molte attività ripetitive, dalla coltivazione del suolo all'irrorazione, utilizzando i normali attrezzi esistenti in azienda che può trasportare grazie un attacco a tre punti standard di cat.2 e a dei punti di attacco dietro e tra le ruote. Un completo sistema di sensori permette al trektoR di operare in sicurezza guidato da un sistema GPS RTK



### 3.4.2 Naïo Technologies



*Figura 3.5 Ted, mentre fa manovra tra i filari*

Sempre dalla Francia, questa volta dalla zona di Tolosa, arriva un altro robot scavallante. Si chiama Ted (figura 4) ed è prodotto dalla Naïo Technologies per il diserbo meccanico del vigneto. Dotato di quattro ruote motrici e di un sistema di propulsione full-electric, è in grado di adattarsi a differenti tipologie di impianto e di azionare una vasta gamma di utensili per la sarchiatura che è possibile installare su un portautensili centrale con sollevamento a parallelogramma (redazione, 2021). A una velocità massima di 6 chilometri orari, Ted può lavorare fino a circa 3,5 ettari al giorno, e grazie al peso contenuto e alle 4 ruote motrici non si ferma neanche sulle pendenze più accentuate. Una volta eseguita la mappatura del vigneto, Ted stabilisce il percorso da compiere in funzione delle coordinate GPS, avvalendosi di un complesso sistema di sensori laser tipo Lidar, ultrasuoni, e fotocamere che ricostruiscono il vigneto in 3D.

### 3.4.3 Free Green Nature



Figura 3.2 Icaro X4

È invece italianissima, e precisamente di Colle Umberto di Treviso, la start up Free Green Nature che propone l'ingegnoso e innovativo robot Icaro X4 (figura 5) per il trattamento dei vigneti con raggi UVC, capace di scongiurare gli attacchi di Oidio, Peronospora, Botrite senza l'impiego di chimica o fitofarmaci. Alimentato da un motore ibrido a benzina e batteria al litio, Icaro X4 è dotato di due bracci motorizzati sui quali sono posizionati 8 emettitori di raggi UV-C. Passando tra i filari, Icaro X4 irradia i raggi UV-C sulla superficie fogliare della vite danneggiando così il DNA dei microrganismi che causano le malattie. La frequenza delle operazioni di trattamento è stabilita da una stazione posta al centro del campo, provvista di sensori sostenuti da una batteria alimentata a energia solare. "Questi sensori raccolgono i dati climatici e, quando vengono identificate condizioni favorevoli per la proliferazione dei microrganismi, inviano al robot il segnale di inizio trattamento." ("Analisi LCA di screening per un sistema di trattamento robotico ...") Non si tratta quindi di un sistema curativo, ma di prevenzione attiva con una capacità massima di copertura di 10 – 15 ettari, variabili in base alla tipologia del vigneto, e in particolare dalla pendenza e dalle distanze da percorrere per passare da un appezzamento all'altro.

### 3.4.4 Yanmar



Figura 3.3 Il robot YV01

Non poteva poi mancare un rappresentante del Giappone, altro Paese all'avanguardia nello sviluppo di sistemi automatizzati. Il robot YV01 (figura 6) di Yanmar, appena presentato al VITeff International Sparkling Wine Technology Exhibition di Epernay in Francia, è un irroratore autonomo che opera a cavallo dei vigneti con meccanismo di spruzzatura elettrostatica. Le gocce di spray, caricate elettricamente, sono attratte dalle foglie delle piante in modo che tutte le superfici, anche quelle nascoste, siano trattate e l'eccesso di spray sia ridotto al minimo (redazione, 2021).

Alimentato dal motore 4 cilindri a benzina Honda IGX 800 da 27 cavalli, e con un sistema di trazione a cingoli in gomma, l'YV01 può operare su pendenze longitudinali fino al 45 per cento e del 19 per cento laterali. La capacità del serbatoio per i trattamenti è di 200 litri, mentre le dimensioni e il peso contenuto (circa 1.000 chili) ne consentono un facile trasporto da un appezzamento all'altro.

### 4.0 GLI OBIETTIVI

Il quadro generale di questo elaborato è uno studio sulla reale efficienza di Bakus un robot innovativo creato dalla startup francese Vitibot. Si afferma che l'utilizzo del robot agricolo porti ad un risparmio economico e una riduzione dell'impatto ambientale dell'agricoltura odierna. Il primo passo è stata la descrizione del robot in tutte le sue parti per capirne i funzionamenti e le sue possibilità. Poi con uno studio eseguito da Christophe Gaviglio il quale ha analizzato tutti i tempi di Bakus durante il lavoro per così ottenerne la capacità lavorativa ossia le ore per ettaro. L'operazione che è stata presa in considerazione è quella del diserbo meccanico, che è largamente diffusa per ovviare all'utilizzo di diserbanti chimici, i quali dannosi sia per l'ambiente che per l'essere umano. Lo studio è stato eseguito nei vigneti a Touraine nella Valle della Loira. L'obiettivo è quello di capire quanto e in che modo il robot Bakus riesce a esser più efficiente ed economicamente conveniente di un normale trattore agricolo. Per fare ciò è stato preso in considerazione uno studio, dell'ingegnere Michele Mattetti dell'università di Bologna, che ha analizzato le capacità di lavoro e i consumi di Radius SL. Radius SL è un telaio porta attrezzi, attaccato frontalmente al trattore, (in questo caso un Massey Ferguson 3710 frutteto) sul quale sono state montate su ambo i lati due lamette interceppo. Lo studio è stato eseguito durante un'edizione di Enovitis in campo, in provincia di Siena a Montepulciano. Avendo tempi di lavoro di entrambi i mezzi è possibile calcolarne le capacità e metterle a confronto per capire quale dei due è il più efficiente. Per i costi sono stati calcolati i valori di ammortamento per ambedue i mezzi portando però il valore finale a 0, ciò dovuto alla mancanza di un mercato dell'usato del robot Bakus e conseguentemente di dati sulla perdita di valore o il prezzo di un robot usato.



### 5.0 IL BAKUS

La Vitibot ha voluto lanciare, nelle Champagne dello champagne in Francia, nel 2019 il Bakus.



*Figura 4.1 Bakus nei vigneti di Ca'Bolan. foto di Paola Pagani*

Dopo più di 6 anni di studi e sperimentazioni, i dipendenti della Vitibot, sono stati in grado di lanciare un mezzo innovativo e che riuscisse a rispondere al meglio alle sfide dell'agricoltura odierna e del futuro Bakus di Vitibot è un esempio di innovazione sostenibile che mira a rivoluzionare la viticoltura: è equipaggiato con tutto il necessario per operare in sicurezza sia di giorno sia di notte, è dotato di sensori in grado di identificare le sole aree dove intervenire, e garantisce la gestione delle erbe presenti nel sottofila del vigneto evitando completamente l'utilizzo di erbicidi. I primi esemplari sono stati venduti nella regione dello Champagne. Da allora più di 25 Bakus sono stati distribuiti nella regione di Bordeaux a Pays de Loire, in Provenza e in Borgogna Complici il successo ottenuto in patria e la ricerca di soluzioni di questa tipologia da parte dei produttori vitivinicoli italiani. Il suo primo rullar di ruote in suolo italiano lo ha fatto presso la tenuta Cà Bolani, in Friuli, il più esteso vigneto privato del Nord Italia di proprietà di ZONIN 1821, dove la dimostrazione di Bakus ha ricevuto un caloroso benvenuto. Il parco della Tenuta Ca' Bolani ha rappresentato una cornice esclusiva per i

referenti agronomici di numerose altre aziende vitivinicole del Nord est d'Italia, che hanno partecipato alla giornata di test di Bakus tra le vigne restituendo riscontri estremamente positivi. (Pagani, 2021)

## **5.1 LE CARATTERISTICHE**

### **5.1.1 Le dimensioni**

Bakus, senza alcuna applicazione viene a pesare circa 2.000 chili, a seconda della larghezza tra i filari sono disponibili due versioni, entrambe hanno una lunghezza di 3,5 metri ma la versione L è concepita per vigneti con un interfilare maggiore, ha una larghezza di 1.95 metri ed è alta 2.5 metri. La versione S più piccola di dimensioni, progettata per interfilari più stretti, difatti misura di larghezza 1.75 metri e un'altezza di 2.0 metri. Bakus è in grado di muoversi tra un filare e l'altro in totale autonomia, lo spazio che occorre per effettuare un giro completo su sé stesso è di circa 4 metri, questo è possibile grazie alle 4 ruote motrici e direzionabili. Riesce a lavorare su pendenze fino al 45% e con una pendenza laterale massima del 20%.

### **5.1.2 Il motore**

La propulsione e la messa in funzione di tutti gli apparati, è garantita da quattro batterie agli ioni di litio, che a seconda del modello sono da 40-60 kWh, che alimentano i 4 motori elettrici brushless indipendenti, i quali hanno anche un sistema che garantisce il recupero dell'energia quando il mezzo si trova in discesa. L'autonomia, che viene assicurata dalla casa produttrice, è di circa 10h, la quale è molto influenzata dalla pendenza del terreno e dal tipo di attrezzatura impiegata. La velocità massima che può esser raggiunta è di 6 km/h e con una forza di trazione di 1.800 chilogrammi. Il tempo di ricarica delle batterie per passare dallo 0% al 80% è stimato intorno alle 2 ore, l'efficienza di funzionamento che il produttore dichiara è inferiore ad un euro all'ora.

### **5.1.3 I sensori**

La guida automatica di Bakus ha una precisione centimetrica, tutto ciò è garantito da due GPS RTK<sup>1</sup>. Il robot è unico perché il suo sistema di navigazione autonomo gli consente di muoversi all'interno del vigneto rilevando il minimo ostacolo, grazie alle immagini delle telecamere 3D di ifm che consentono una ricostruzione virtuale a 360° dell'ambiente. Il

---

<sup>1</sup> RTK è un metodo di misurazione che può ottenere la precisione di posizionamento a livello di centimetro in tempo reale sul campo. Può fornire coordinate tridimensionali dei punti di osservazione in tempo reale e raggiungere un'elevata precisione in centimetri.

sensores della fotocamera 3D genera una nuvola di punti (figura 4.2) basata sulla tecnologia PMD (= Photonic Mixer Device). Grazie alla tecnologia PMD, il rilevatore di immagini funziona indipendentemente dalla luce ambientale. Altri sensori di guida sono gestiti da

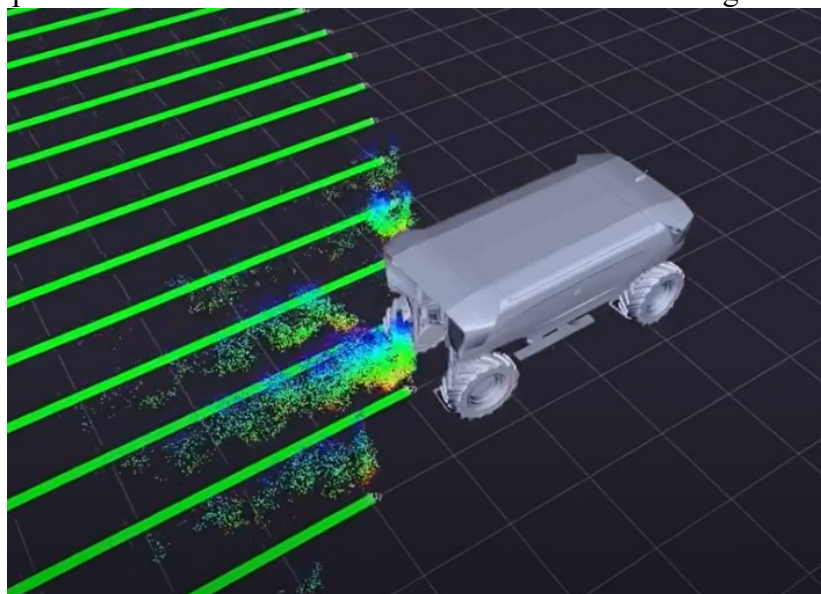


Figura 4.2 immagine fotocamera PMD

due centraline inerziali che segnalano i cambiamenti anomali della tipografia, ciò provoca il rallentamento e/o l'arresto di Bakus. Oltre a queste centraline vi sono altri 12 sensori meccanici disposti intorno al robot, che se azionati, ne provocano l'arresto immediato. Vi sono poi i sensori che garantiscono l'esecuzione del lavoro, i quali sono in grado di identificare le sole aree dove intervenire con varie tipologie di attività.

#### 5.1.4 Attrezzi elettrici o passivi

Sia per il modello S che per il modello M, Vitibot ha realizzato una serie di attrezzature elettriche installabili sui porta attrezzi laterali, dove è possibile combinare fino a due attrezzi per lato, e in simultanea. Sviluppate in modo da preservare al meglio le radici e le giovani piante. Per adesso Vitibot ha reso disponibile 3 attrezzature, ossia:

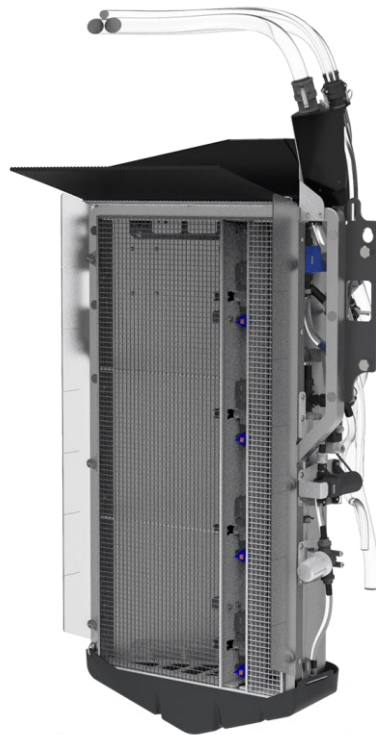


Figura 4 lama interceppo e rompi zolla



- la lama interceppo (figura 4.3) la quale può esser coordinata con un puntello o di un disco per l'apertura del terreno per il successivo passaggio della lama, la lama è in grado di recuperare dati sulle piante mancanti. È stata progettata per lavorare fino ad un massimo di 6km/h;
- il trinciaerba possiede un sistema di coltelli a Y per il taglio del interfila, la larghezza di lavoro è di 416mm e può esser combinato con strumenti di lavorazione ad interceppo così da compiere due operazioni in una solo passata
- la cimatrice fa parte degli strumenti a blocco modulare ossia tutti il resto degli strumenti che non vanno attaccanti sull'asta porta oggetti.

Oltre agli strumenti elettrici di Vitibot è possibile l'utilizzo, in combinazione, o no, della maggior parte di strumenti passivi (dischi falciatori, zappatrici a dita, sarchiatrici, vomeri scalzanti, ecc...). Prossimamente arriverà anche il pannello di recupero per l'irrorazione confinata. Si compone di due vasche da 200 l ciascuna e due pannelli di recupero faccia a faccia (figura 4.4) il cui orientamento del getto d'aria genera un effetto vorticoso favorendo una buona penetrazione del prodotto nello spessore della vegetazione. L'irrorazione è accoppiata alle telecamere utilizzate per l'autoguida. A seconda dell'altezza della vegetazione o in presenza di viti morte, il robot è in grado di chiudere uno o più ugelli.



*Figura 4.4 gruppo per l'irrorazione*

### 6.0 TEMPI DI LAVORO

Lo studio del lavoro ha come obiettivi la valutazione della produttività del lavoro stesso e la sua ottimizzazione ai fini della riduzione dei costi, il miglioramento delle condizioni operative, la sicurezza e il comfort. Per analizzare i tempi di lavoro bisogna scomporre il lavoro eseguito e calcolarne i tempi per le varie fasi dell'operazione. Le varie parti da prendere in considerazione sono:

- Tempo effettivo o utile di lavoro (TU): Si intende il tempo rilevato di effettivo lavoro, cioè al netto di ogni perditempo. Esso rappresenta l'unica vera fase produttiva del lavoro: le macchine per la lavorazione del terreno stanno effettivamente lavorando il terreno, le irroratrici stanno distribuendo il fitofarmaco, le seminatrici il seme.
- Tempi accessori (TA): Per il compimento del lavoro, sono necessarie operazioni accessorie che comportano assorbimenti di tempo in lavoro non produttivo. Costituiscono il TA i tre tempi TAV, TAS, TAC, ovvero:  $TA = TAV + TAS + TAC$ 
  - Tempo di svolta (TAV): Macchine lunghe o comunque poco maneggevoli possono impiegare anche diversi minuti per invertire la direzione, specie fra i filari delle piante arboree. In caso di macchine dal costo di esercizio elevato, come quelle per la raccolta, o che sono impegnate in operazioni che richiedono la massima tempestività come nella difesa delle colture, questi tempi debbono invece essere compressi quanto più possibile.
  - Tempo per rifornimenti e scarichi (TAS): Si riferisce al tempo per rifornire o per scaricare serbatoi e contenitori. Fanno parte di questo tempo accessorio i tempi per il rifornimento del serbatoio delle irroratrici con acqua e fitofarmaci, oppure della tramoggia delle seminatrici con seme o dello spandiconcime con concime.
  - Tempi per regolazioni e cure (TAC): Essi si verificano soprattutto ad inizio lavoro, quando è necessario regolare la macchina in rapporto alle condizioni del campo, ma possono verificarsi nuovamente durante il lavoro. Oltre alle regolazioni, viene preso in considerazione anche i tempi impiegati per il controllo della macchina in campo.
- Tempi morti (TM): si riferiscono alle interruzioni che si verificano durante il normale svolgimento del lavoro.
  - Tempi morti inevitabili (TMI): cioè perditempi dovuti a cause accidentali, come rotture di parti meccaniche, ingolfamenti, slittamenti, ecc.

- Tempi morti evitabili (TME): sono i perditempi dovuti ad ozio, a cattiva organizzazione del cantiere.
- Tempo di riposo (TR): Il riposo è necessario e nei rilevamenti l'assenza di TR indica una qualche anomalia; probabilmente, gli addetti, sentendosi osservati, non hanno ritenuto di effettuare soste di riposo.
- Tempo di preparazione della macchina in campo (TPL): Si riferisce al tempo necessario per preparare la macchina prima di iniziare il lavoro e si verifica in campo.
- Tempo di preparazione al centro aziendale (TPH): Comprende i tempi per la esecuzione delle operazioni che vengono effettuate prima di lasciare il centro aziendale, e fra queste il rifornimento di combustibile, la lubrificazione, la pulizia dei filtri, la verifica dei livelli, etc.
- Tempo di trasferimento dal centro aziendale al campo e viceversa (TI): Questa fase può richiedere molto tempo quando gli appezzamenti sono lontani dal centro aziendale oppure nel caso dell'attività contoterzista

Sommando i tempi operativi, morti, di riposo, di preparazione sul campo, si ottiene il *Tempo di utilizzazione in campo*:  $TU = TO + TM + TR + TPL$  esso rappresenta il tempo complessivo di permanenza in campo della macchina. Sommando il tempo di utilizzazione in campo, il tempo di preparazione nel centro aziendale e i tempi di trasferimento, si ottiene il *Tempo totale di impiego giornaliero*:  $TT = TU + TPH + TI$

	TI			
TP	TPH			
	TPL			
	TR			
TM	TME			
		TMI		
TA	TAC	TO	TU	TT
	TAS			
	TAV			
	TE			

L'analisi dei tempi di lavoro consiste nello scomporre il lavoro oggetto di studio in operazioni elementari (fasi di lavoro), alle quali corrisponderanno determinati tempi elementari di esecuzione. (“Analisi del cantiere di lavoro - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA”) Permette di:

- evidenziare gli errori di metodo conseguenti alla scelta della macchina e del cantiere; modalità di conduzione della stessa; organizzazione rifornimenti (concimi, sementi, gasolio, ...);
- quantificare i vantaggi conseguibili con attrezzi più razionali, manodopera specializzata, tecniche nuove;
- Aumentare l'utilizzazione delle macchine e migliorare la logistica.

## 6.2 LE CAPACITÀ DI LAVORO

La capacità di lavoro di una macchina operatrice (ha/h) è, evidentemente, legata ai tempi di lavoro. Si distinguono così, oltre alla capacità teorica, diverse capacità di lavoro in funzione dei tempi considerati. Il rapporto tra queste capacità con quella teorica consente di valutare altrettanti coefficienti di utilizzazione. (Tab.6.1) Il valore massimo della capacità di lavoro è rappresentato dalla capacità teorica ( $C_t$ ), che è riferita a condizioni ideali di funzionamento, utilizzando tutta la larghezza di lavoro ( $b$ ) e procedendo alla massima velocità consentita ( $v_a$ ), senza arresti o rallentamenti:

$$C_t = b \times v_a \times 0,1 \text{ (ha/h)}$$

In realtà: viene utilizzata solo una parte ( $b_e$ ) della larghezza di lavoro offerta dalla MO, mentre l'avanzamento avviene con inevitabili rallentamenti e quindi a velocità inferiori ( $v_e$ ) a quelle teoriche. In questo modo si ottiene la capacità effettiva, che considera solo il tempo (TU) in cui la macchina sta effettivamente lavorando:

$$C_e = b_e \times v_e \times 10^{-1} \text{ (ha/h)}$$

La capacità operativa si riferisce, invece, al tempo operativo TO (h/ha) che tiene conto dei tempi accessori (TA) ed è quindi fortemente influenzata dalla forma e dalla dimensione degli appezzamenti, oltre che dal tipo di lavoro e dalla macchina impiegata:

$$C_o = \frac{1}{T_o} = \text{(ha/h)}$$

Infine, la capacità reale di lavoro ( $C_{re}$ ), fa riferimento al tempo di utilizzazione in campo (TU) (h/ha), per cui entrano in gioco l'organizzazione del cantiere per eliminare, o comunque ridurre, i tempi morti evitabili e i tempi di preparazione in campo, mantenendo la corretta incidenza dei tempi di riposo (normalmente ~ 5%):

$$C_{re} = \frac{1}{TU}(\text{ha/h})$$

I valori più bassi della  $C_{re}$ , pari a 0,50-0,60 della  $C_t$ , si verificano normalmente per le macchine da raccolta, mentre i valori più elevati, pari a 0,75-0,80 della  $C_t$  ed anche più, si rilevano sulle macchine per la lavorazione del terreno. (Bodria, Pellizzini, & Piccarolo, 2018)

Tabella 6.1 capacità di lavoro delle macchine operatrici

Denominazione	Formula	Significato dei simboli
Capacità teorica	$C_t = b \cdot v_a \cdot 10^{-1}$	$b$ = larghezza teorica di lavoro (m) $v_a$ = velocità massima di avanzamento (km/h)
Capacità effettiva	$C_e = b_e \cdot v_e \cdot 10^{-1}$ $C_e = \frac{1}{TE}$	$b_e$ = larghezza effettiva di lavoro (m) $v_e$ = velocità effettiva di avanzamento (km/h) $TE$ = tempo effettivo di lavoro (h/ha)
Capacità operativa	$C_o = \frac{1}{TO}$ $C_t = \mu_o \cdot C_t$	$TO$ = tempo operativo di lavoro (h/ha) $\mu_o$ = coefficiente di utilizzazione operativo ( $C_o/C_t$ )
Capacità reale	$C_{re} = \frac{1}{TU}$ $C_{re} = \mu_{re} \cdot C_t$	$TU$ = tempo di utilizzazione in campo (h/ha) $\mu_{re}$ = coefficiente di utilizzazione reale ( $C_{re}/C_t$ )

### 6.3 I COSTI

Che sia possedere che utilizzare una macchina operatrice o una macchina accessorio ha un costo per l'imprenditore agricolo. Esistono di fatti due tipi di costi e sono le spese fondamentali annue e le spese orarie di utilizzazione.

- Le spese fondamentali annue ( $C_{fa}$ ) sono i costi da sostenere indifferentemente da quanto la macchina lavora durante l'anno, sono espresse in €/anno e comprendono:
  - La quota annua di reintegra del capitale investito dalla macchina ( $Qr$ ) ovvero consente di avere a disposizione, al termine della vita della macchina, il capitale necessario per finanziarne la sostituzione. La quota lineare si ottiene sapendo il valore iniziale ( $V_i$ ), il valore finale ( $V_f$ ) e la durata prevista della macchina in anni ( $n$ ):

$$Qr = \frac{V_i - V_f}{n} \quad \text{o} \quad Qr = \frac{V_i}{n}$$

Ma raramente il prezzo pagato per l'acquisto della macchina coincide con il prezzo di listino perché possono esserci stati sconti, esser una macchina vecchia, contributi pubblici o ricorso al credito. Il valore finale ( $V_f$ ) rappresenta il capitale non soggetto a deprezzamento. Per la valutazione può

esser eseguita con l'ausilio di valori del mercato riportati in alcune pubblicazioni, attraverso la propria esperienza o con stime partendo dal valore iniziale ( $V_i$ ), il numero di anni della macchina ( $n$ ) e il tasso di deprezzamento ( $t_d$ )

$$V_f = V_i \times (1 - t_d)^{n+1}$$

Il numero di anni di durata di una macchina è difficile da valutare con precisione soprattutto nell'ambiente italiano. In mancanza di dati specifici vale la tabella dove si pone in relazione l'obsolescenza tecnica ( $O_t$ ) (l'invecchiamento tecnologico ed economico per il quale una macchina è superata da modelli innovativi e che dipende dal suo ciclo di vita) con la maturità tecnologica.

- La quota annua degli interessi passivi del capitale ( $Q_i$ ). Rappresenta il costo annuo del capitale investito nella macchina agricola considerata. Viene determinato supponendo un deprezzamento lineare della macchina durante tutto il periodo di utilizzazione.

$$Q_i = r \times \frac{V_i + V_f}{2} \quad \text{o} \quad Q_i = r \times \frac{V_i}{2}$$

Dove  $r$  rappresenta il saggio di interesse sul costo del capitale posseduto dall'imprenditore e investito in macchine agricole, solitamente si aggira al 3%.

- La quota annua di spese varie ( $Q_v$ ), suddivisa in:
  - Spese di ricovero ( $Q_r$ ) è relativa ai mezzi posti al riparo considerato: il canone d'affitto del capannone, le spese fisse medie sulla struttura, lo spazio occupato e una percentuale del valore del mezzo considerato.
  - Spese per l'assicurazione ( $Q_s$ ) si aggirano tra lo 0.6% e 1% del valore medio.
  - Spese per le tasse ( $Q_t$ ) sul 1% del valore medio.
  - Spese varie per la direzione, contabilità ecc. ( $Q_d$ ) sul 1% del valore medio
- Le spese orarie di utilizzazione ( $C_u$ ) sono proporzionali al livello di utilizzazione della macchina, espresse in €/h e comprendono.
  - Le spese per le riparazioni e manutenzione ( $Q_{rm}$ ). Le riparazioni e le manutenzioni sono operazioni indispensabili a reintegrare e conservare la buona condizione tecnica e la regolarità di funzionamento della macchina compromessa dall'usura, danni e incidenti. Se non si tengono le registrazioni, si tenta una stima sulla base di: informazioni assunte da altri operatori, indicazioni del costruttore o formule di stima

$$Q_{rm} = \frac{\alpha \times V_i}{N_h} + \beta \times M$$

Dove

$\alpha$  = coefficiente di riparazione

$N_h$  = durata fisica

$\beta$  = coefficiente di manutenzione

$M$  = la mercede oraria dell'operaio addetto alla manutenzione

- Le spese per i consumi di materiale ( $Q_c$ ). Fanno parte le spese per i carburanti i lubrificanti e altri materiali come, ad esempio, spago o film plastico ecc. Possono essere di tipo consuntivo se rilevate direttamente in azienda moltiplicando il consumo effettivo dei materiali per il rispettivo prezzo pagato. E l'importo così ottenuto diviso per le ore effettive determina tale voce di costo su base oraria. Nel caso di costo a preventivo, il costo va stimato
- Le spese per la manodopera addetta alla guida e al servizio della macchina ( $Q_o$ ). La retribuzione del conducente del trattore o dell'operatrice semovente e la retribuzione di eventuali altri operatori coinvolti nell'operazione. Sono date dal prodotto fra il numero delle ore effettuate e il salario orario conteggiate su base annua, solo il salario se conteggiate su base oraria (Sartori)

Costo annuo totale d'impiego ( $C_a$ ): è la somma delle spese fondamentali annue con quelle di utilizzazione rapportate su base annua:

$$C_a = C_{fa} + C_{uh} \times U \quad \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

Costo orario medio ( $C_h$ ) della macchina

$$C_h = \frac{C_{fa}}{U} + C_{uh} \quad \frac{\text{€}}{h}$$

Costo orario per ettaro ( $C_l$ ) viene determinato una volta fissata la capacità di lavoro della macchina:

$$C_l = \frac{C_h}{C_u} \quad \frac{\text{€}}{ha}$$

## 6.4 I LUOGHI DI LAVORO

I due mezzi sono stati comparati in due ambienti di lavoro differenti. Mentre i rilevamenti e l'analisi dei dati osservati su Bakus sono stati ottenuti su vigneti a guyot in Francia più precisamente nella zona dello Touraine una zona centrale alla Valle della Loira. In questa regione dove dominano vigneti stretti non più di 150cm di larghezza e con il filo di banchina non superiore ai 55 cm; perciò, si ottengono vigneti con sestri d'impianto molto ridotti e una quantità di ceppi per ettaro molto elevata. Dove il robot Bakus è perfettamente in grado di lavorare grazie alla sua dimensione compatta e alle sue quattro ruote sterzanti indipendenti. Per quanto riguarda la raccolta dati sul lavoro trattore, è stato preso in considerazione un lavoro eseguito dall'ingegner Michele Mattetti, dell'università di Bologna, che ha provato in campo l'interceppi Radius. La prova è stata eseguita alla tenuta di Trerose sita a Montepulciano in provincia di Siena. I vigneti sono posti su dei colli in posizione sud-est e impiantati seguendo le pendenze del terreno.

## 6.5 IL TRATTORE UTILIZZATO PER IL CONFRONTO

Per il confronto è stato preso in considerazione un Massey Ferguson modello 3710 frutteto con attaccata anteriormente sull'attacco a tre punti l'interceppo Radius SL (figura 6.1). Il lavoro può essere eseguito montando sul telaio una lama solo da un lato oppure montando le lame sia a destra che a sinistra. Vi sono vari modelli, i quali possono essere attaccati posteriormente, ventralmente o anteriormente come il modello preso in esame. La lametta interceppo permette il rivoltamento del terreno (o diserbo meccanico) superficiale (4-5 cm di profondità) nella zona vicino al ceppo - senza che questi venga danneggiato. Le ruote d'appoggio pneumatiche da 16 pollici montate sul telaio e regolabili con martinetto meccanico, definiscono la profondità di lavoro. Il tastatore idraulico del Radius SL con sistema a semplice effetto, manda l'olio in scarico libero e



Figura 6.1 Dimostrazione Radius SL



previene danneggiamenti anche su giovani piante. La velocità potenziale della macchina si attesta sui 10 chilometri orari. Il numero di passaggi necessario ad ottenere il risultato desiderato (si può arrivare anche a 4 o 5 all'anno), dipende oltre che dalle condizioni climatiche, anche da quelle del terreno: l'optimum è un suolo in condizioni di tempera e, in caso di primavera con piogge abbondanti, può essere richiesto un passaggio con spollonatrice (applicabile al telaio). "La lama qui utilizzata è un attrezzo che consente un lavoro veloce, semplice e a bassa richiesta di idraulica e manutenzione." ("Radius SL, l'alternativa ecocompatibile ai diserbanti chimici")

### 7.1 IL PROGETTO

Grazie ad uno studio su Bakus, eseguito da Christophe Gaviglio, nel quale vengono eseguite varie osservazioni e ricavati i dati per poter eseguire un'analisi dei tempi di lavoro di Bakus. Il progetto finanziato da FranceAgrimer, tra il 2019 e il 2021, aveva l'obiettivo di rilevare le prestazioni del agbot nella operazione di diserbo meccanico nel vigneto per determinarne un interesse economico. I partner di questo progetto, l'IFV, il Comitato Champagne e la Camera regionale dei Paesi della Loira ha avuto un'interessante vicinanza geografica con i principali produttori di robot, condizione favorevole per la moltiplicazione delle osservazioni vigneto. (Gaviglio, 2021)

### 7.2 LE OSSERVAZIONI

I tempi per ettaro che sono stati osservati sono:

- 2h 30 in vigneti larghi, disposti a 2.20 metri tra i filari
- 6 h in vigneti stretti, disposti a 1.10 metri tra i filari

La velocità di lavoro media si attesta attorno ai 3.5 km/h, anche se Bakus possiede una velocità massima di 6km/h. Si è potuto notare, a volte, una differenza tra la velocità di lavoro impostata e la velocità di lavoro reale, la quale risulta inferiore. Il dato che influenza maggiormente il tempo di lavoro effettivo (TU) è la frequenza delle interruzioni del lavoro, le quali non sono richieste dell'utente. Le quali si verificano con una media di circa due per ora e durano meno di un minuto, perciò, avendo circa un tempo morto inevitabile (TMI) di circa due minuti. Le cause di questi arresti sono di varia natura e possono essere:

- Problemi di ricezione del segnale di posizionamento satellitare
- Problemi di ricezione delle correzioni (tramite la rete cellulare)
- La sicurezza dei motori elettrici quando il robot è sotto sforzo
- Contatto con i sensori del paraurti che possono bloccare il robot, questo può accadere perché i paraurti sono posizionati vicino al suolo e un ramo potrebbe azionare i sensori

Il tempo necessario per una svolta alla fine del filare è un parametro importante che varia a seconda della lunghezza media dei filari, perché definisce la quantità di tempo durante la quale il robot non lavora, un esempio: se vi sono 60 filari da lavorare e un tempo medio di svolta di un minuto il robot avrà un tempo totale di svolta (TAV) di un'ora, ossia un'ora che trascorre senza lavorare. Più i filari sono corti più questo diventa un problema, al

contrario se i filari sono lunghi il tempo di manovra diventa irrisorio sul lavoro eseguito. Bakus per la manovra a fine filare impiega circa 60 secondi.

### **7.3 I COSTI**

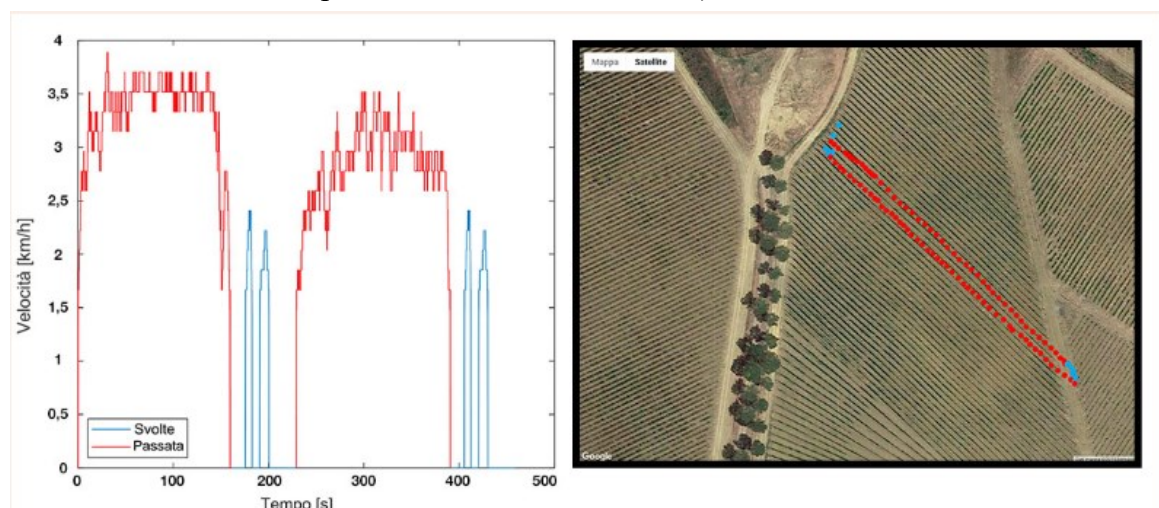
Il quadro dello studio prevede sei interventi l'anno per una durata di 3 ore per ettaro. si tratta di un totale di 18 ore per ettaro. cio equivale a 360 ore di lavorazione annua per 20 ettari. Il prezzo per l'acquisto di Bakus si aggira sui 150.000 euro IVA esclusa compreso dell'attrezzatura per il diserbo meccanico e mappatura dei terreni che all'incirca sono 500€/ha. Se prendiamo in considerazione una durata di 7 anni con valore finale del mezzo pari a 0 (supponiamo ciò per la difficile stima e per non esserci dati sul mercato dell'usato di questo mezzo) abbiamo un valore di ammortamento di circa 1070 euro per ettaro lavorato. Ci sono anche quote riservate al acquisto del software e all'utilizzo dei satelliti che si aggirano sui 4500 €. Poi vi è il costo proporzionale della manodopera assegnata al robot funzionante. Di cui solo il 35% del tempo è effettivamente dedicato ad esso (trasporto tra appezzamenti e monitoraggio regolare). A 20€/h, il costo dell'operatore scende a 7€/h e perciò si ha una spesa per ettaro di 126 euro. Infine, ci sono costi variabili dello strumento: 1€/h per elettricità e 4€/h per manutenzione, pneumatici per un totale di 90€/ha Risultato: su 20ha, al ritmo di 360h di utilizzo all'anno, il costo totale del robot con manodopera ammonta a 1.286€/ha. Oltre 30ha e 540h di utilizzo si scende a 950€/ha.

## 8.1 DESCRIZIONE

Durante un evento di enovitis in campo, ingegneri come Michele Mattetti dell'università di Bologna, hanno raccolto e analizzato i dati valutando così la capacità di lavoro di un trattore equipaggiato con un portattrezzi con montate una copia di lame bilaterali. Più precisamente è stata rilevata la capacità di lavoro di un Massey Ferguson con abbinato un Radius SL. La raccolta dei dati è stata eseguita attraverso dei sensori come sensori GPS, montati sul trattore, che hanno permesso di rilevare la velocità e i tempi, ma anche altri tipi di sensori, come flussimetri per valutarne i consumi di carburante e di gasolio.

## 8.2 LE OSSERVAZIONI

Le prove in campo hanno evidenziato l'ottima qualità della lavorazione grazie alla peculiare geometria della lama che rivolta in modo ottimale sia il terreno che le infestanti. Questa azione espone l'apparato radicale delle malerbe agli agenti atmosferici favorendone il disseccamento. ("Radius SL, l'alternativa ecocompatibile ai diserbanti chimici") Inoltre, la presenza del tastatore consente all'organo lavorante di evitare il danneggiamento del fusto e di massimizzare la velocità d'avanzamento. Anche se il giorno della prova è stata raggiunta la velocità massima di soli 5 km/h a causa dell'elevata pendenza, il costruttore dichiara che questa macchina può essere utilizzata fino alla velocità di 10km/h. ("Radius SL, l'alternativa ecocompatibile ai diserbanti chimici")



I tempi di lavoro calcolati dall'università di bologna ossia quelli ottenuti in campo, il trattore impiega 1 ora per lavorare un ettaro. Questo dato è stato rilevato supponendo che la larghezza dell'interfilare fosse di 4.5 metri, ma si può arrivare anche a due ettari per ora con interfilari di larghezza minore. Come si può notare dal grafico, vi sono due fasi di

lavoro, di cui in una ossia nella prima fase è stata registrata una velocità maggiore e invece nella seconda una velocità minore. Questo è dovuto perché nella prima fase il trattore procedeva in discesa e perciò si è registrata una velocità di circa 3.5 chilometri orari di media, nella seconda fase procedeva in salita e quindi si è registrata una velocità media di 2.7 chilometri orari.

Il tempo di svolta (TAV) è stato registrato di circa 40 secondi. . (“Radius SL, l'alternativa ecocompatibile ai diserbanti chimici”)

## **8.2 I CONSUMI**

I consumi che rilevati in campo, con un trattore che ha una potenza di 77 kW, sono di 4.2 litri ora nella fase in discesa e 5.7 litri ora nella fase in salita. Quindi un media oraria per quel tipo di terreno di 4.95 litri ora, perciò, un consumo per ettaro di 4.95 litri ettaro data la capacità di lavoro di un ettaro all'ora.

Oltre che al gasolio vi è anche una richiesta e un consumo di olio per il corretto funzionamento dell'attrezzo. Ossia richiede che vi siano almeno dai 6 ai 10 litri al minuto di olio con una pressione massima di circa 175 bar. Il consumo di olio invece si attesta sui 8/12 litri al minuto.

## **8.3 I COSTI**

Il costo di acquisto di una macchina operatrice supponendo di spendere circa 90.000 euro IVA esclusa, e ammortizzo l'acquisto in 7 anni. Supponendo di dovere lavorare 20 ettari, con filari più stretti di circa la metà, e ipotizzando una capacità di lavoro di 2 ore per ettaro. Il totale delle ore per passaggio è di 40 ore, eseguendo 6 passaggi per un totale di 240 ore annue. Per essere ammortizzato il trattore occorrono 650 euro ettaro/ annui. Poi bisogna effettuare l'acquisto dell'attrezzatura completa per la lavorazione del terreno, in questo caso il Radius SL ad un costo di circa 13.500 euro IVA esclusa la quale la si ammortizza in 5 anni per un totale di 135 euro per ettaro. Per la manodopera essendo specializzata e con una paga oraria di circa 20€/h occorrono circa 240 euro per ettaro. Supponendo il consumo di 4.95 litri per ora e al giorno d'oggi il gasolio agricolo è venduto a 1.37 euro al litro la spesa totale di gasolio per ettaro è di circa 80 euro. Per un totale di circa 1100 €/ha considerando 20 ettari. Ma se vengono considerati 30 ha ovvero 360h di lavoro con un costo per ettaro di 850 €/ha.

### 9.0 CONSIDERAZIONI

L'agricoltura è le nuove tecnologie impiantate su di essa possono dare lo slancio ad un settore più efficiente ma soprattutto più ecosostenibile. I robot agricoli stanno aiutando molte aziende nei lavori che prima erano molto dispendiosi o nei quali occorreva molta manodopera che al giorno d'oggi è difficile da reperire. Oltre che ad un aiuto nei lavori i robot, maggiormente quelli elettrici, aiutano a diminuire l'inquinamento ambientale. Questo perché molti montano un motore 100% elettrico e per quei pochi che montano motori a combustione hanno motori talmente efficienti da ridurre l'impatto ambientale. Oltre che all'inquinamento dato che solitamente sono più leggeri di un normale trattore agricolo e sono in grado di compiere più mansioni in una sola passata, riducono il compattamento del suolo favorendo la formazione di hummus.

Dallo studio compiuto e dalla comparazione eseguita si nota che Bakus è nettamente svantaggiato rispetto ad un trattore normale nel compiere la medesima operazione. In termini di tempo Bakus ci impiega circa un ora in più per ettaro però su questo non è tenuto conto che rispetto ad un trattore normale, il robot è in grado di lavorare anche nei filari più stretti. I risultati ottenuti sul lavoro utile non sono del tutto comparabili perché le larghezze del sesto d'impianto sono diverse. Per esser più oggettivi si può prendere la velocità di avanzamento durante il lavoro che all'incirca è la medesima quindi per unità di tempo Bakus compie circa la stessa quantità di lavoro di un trattore normale. Per quanto riguardano i costi Bakus è svantaggiato per quanto riguarda la spesa iniziale e il suo ammortamento durante l'hanno è abbastanza alto rispetto al trattore ma a differenza di esso vi sono costi di utilizzazione bassi. Dato che il mezzo è completamente autonomo e una volta programmato è in grado di compiere il lavoro in completa autonomia; perciò, non serve che vi sia un operaio specializzato, come l'autista che guida del trattore, ma serve solo una persona che lo controlli in caso di arresti accidentali causati dal contatto con i sensori con vegetazione o ostacoli imprevisti. Bakus è ancora una tecnologia in via di sviluppo e quindi non giustificata per aziende di medie-piccole dimensioni, le quali otterrebbero un vantaggio solo ambientale date le emissioni zero, (con una superficie al di

sotto dei 30 ettari) ma aziende con superfici di maggiori dimensioni e possibilmente organizzate a corpo unico, così da non evitare numerosi spostamenti tra un vigneto e l'altro, il robot inizia ad essere un vantaggio oltre che ambientale anche economico. Per essere veramente vantaggioso anche per queste realtà di grandi dimensioni, dovrebbero essere munite di impianti per la produzione di energia elettrica (come ad esempio pannelli fotovoltaici, impianti eolici, ecc) perché dato che il prezzo dell'energia elettrica è in continua crescita nell'ultimo periodo. La robotica in viticoltura sta facendo passi da gigante, e sempre di più imprese agricole italiane hanno al loro interno mezzi tecnologici o robot che aiutano le aziende ma anche l'ambiente. ma manca ancora tempo prima che questa tecnologia diventi alla portata di tutti.

## BIBLIOGRAFIA

---

- Bodria, L., Pellizzini, G., & Piccarolo, P. (2018). *Meccanica e meccanizzazione agricola*. milano: Edagricole - Edizioni Agricole di New Business Media srl.
- Cinquemani, T. (2020, agosto 26). Viticoltura di precisione, un robot per dati accurati e sempre aggiornati. *Agronotizie* .
- Esposito, B. (2021, novembre 12). Robotica: un aiuto all'agricoltura 4.0. *RuralHack*.
- Farinelli, A., Finzi, A., & Mastrogiovanni, F. (2021, settembre 07). IA e robotica per un'agricoltura sostenibile: "sbocciano" i progetti italiani avanzati. *Agende Digitale*.
- Gaviglio, C. (2021). Performance des robots viticoles - Synthèse. *MateVi* .
- M. Sozzi, A. L. (16/2022). I robot sono realtà nelle campagne italiane . *L'informatore agrario* , 59.
- Marco Sozzi, M. B. (31/2021). Ecco chi sono i principali produttori di robot agricoli. *L'informatore agrario*, 51.
- Pagani, P. (2021, giugno 24). Vitibot: Bakus sbarca in Italia . *Vigne, Vini e Qualità*.
- redazione, d. (2021). robot agricoli, a cavallo del filare. ecco cinque modelli già pronti per il mercato . *trattoriweb*.
- Sartori, L. (s.d.). Meccanizzazione Agricola .
- Vitali, O. (2020). *Robot a guida autonoma di Naio-Technologies*. Vitali Oreste.
- Zonini1821. (2021). *Vitibot: Bakus sbarca in Italia*. Zonini1821.

## SITOGRAFIA

- <https://agronotizie.imaginenetwork.com/agrimeccanica/2020/08/26/viticoltura-di-precisione-un-robot-per-dati-accurati-e-sempre-aggiornati/67594>
- <https://www.ruralhack.org/robotica-e-agricoltura-4-0/#:~:text=A%20lungo%20temuti%20poich%C3%A8%20nell,e%20significa%20%E2%80%9Clavoro%20esecutivo%E2%80%9D.>
- <https://www.meccagri.it/nella-viticoltura-del-domani-entrano-i-robot/>
- <https://orestevitali.com/2020/robot-agricolo/robot-a-guida-autonoma-di-naio-technologies/>



- <https://vigneviniequalita.edagricole.it/notizie-dalle-aziende/vitibot-bakus-sbarca-in-italia/>
- [https://www.di3a.unict.it/sites/default/files/documenti\\_sito/180530-MECCANIZZAZIONE%202018-Rev1.pdf](https://www.di3a.unict.it/sites/default/files/documenti_sito/180530-MECCANIZZAZIONE%202018-Rev1.pdf)
- <https://www.trattoriweb.com/robot-agricoli-ecco-cinque-modelli-gia-pronti-per-il-mercato/>
- [https://www.matevi-france.com/uploads/tx\\_matevibase/Performance\\_des\\_robots\\_viticoles\\_matevi\\_2021.pdf](https://www.matevi-france.com/uploads/tx_matevibase/Performance_des_robots_viticoles_matevi_2021.pdf) (Gaviglio, 2021)
- *Radius SL, l'alternativa ecocompatibile ai diserbanti chimici,*  
<https://agronotizie.imaginenetwork.com/agrimeccanica/2019/10/16/radius-sl-l-alternativa-ecocompatibile-ai-diserbanti-chimici/64315>.

## *RINGRAZIAMENTI*

*Alla fine di questo elaborato voglio ringraziare chi l'ha reso possibile e chi mi ha dato una mano ossia il mio relatore Sartori e il correlatore Sozzi, un grazie per tutti i consigli e le indicazioni ricevute.*

*Voglio ringraziare la mia famiglia che mi ha sempre spronato e aiutato negli studi e che mi ha supportato durante questo periodo, alla loro pazienza.*

*Voglio ringraziare i miei amici che mi sono stati accanto durante tutto il mio percorso di universitario*

*E poi un sentito grazie a Giulia che mi sprona sempre a far meglio ed è grazie a lei che questa tesi è così. Grazie mille di cuore a tutti.*