



FEASR



REGIONE DEL VENETO



FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI

Gestione robotizzata del vigneto



Il progetto Rovitis 4.0



Il progetto Rovitis 4.0 propone un sistema altamente innovativo per il settore vitivinicolo del Veneto: una gestione robotizzata del vigneto, che si basa sul dialogo tra un mezzo robotico, una sensoristica e un software DSS (Sistema di Supporto alle Decisioni). L'effettiva convenienza nel dotarsi di tale tecnologia è stata esaminata tramite la sperimentazione effettuata presso un'azienda in regime convenzionale e una in biologico.

Rovitis 4.0 vuole rappresentare un punto di riferimento a livello regionale, nazionale ed europeo per colmare il divario creatosi tra le ultime tecnologie e il settore primario, in particolare nel settore viticolo. L'idea alla base è quella di un'azienda agricola capace di "autogestirsi" grazie all'utilizzo interconnesso di sensori sul campo e di macchine in grado di eseguire lavorazioni in modo autonomo.

Sommario

Premessa	pag. 2
Obiettivi	pag. 3
L'origine ed il contesto dell'innovazione	pag. 4
La costruzione del nuovo prototipo di robot	pag. 5
Il sistema di guida autonoma	pag. 7
La ricarica automatica	pag. 10
Il sistema di irrorazione di precisione	pag. 11
La sperimentazione in campo	pag. 13
La valutazione in vigneto dell'innovazione tecnologica	pag. 15
Analisi effetti economici e ambientali	pag. 19
Conclusioni e prospettive	pag. 21
I partner	pag. 23

Premessa

L'innovazione è una delle priorità trasversali dello sviluppo rurale ed è uno dei principali strumenti per la competitività e sostenibilità delle aziende agricole.

Per favorire lo sviluppo dell'innovazione, di nuovi prodotti, di nuove tecniche di produzione, nuovi modelli organizzativi e gestionali, il Programma di Sviluppo Rurale (PSR) Veneto riconosce un ruolo fondamentale alla Misura Cooperazione.

Questa contribuisce al raggiungimento degli obiettivi della priorità trasversale dell'innovazione, attraverso due sottomisure: la 16.1 per il "sostegno per la costituzione e la gestione dei Gruppi Operativi del Partenariato Europeo dell'Innovazione (PEI) in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura" e la 16.2 per la "realizzazione di progetti pilota e sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie nel settore agroalimentare e in quello forestale".

La Misura 16 quindi sostiene forme di cooperazione e beneficiari diversificati ed è finalizzata al superamento degli svantaggi economici, ambientali e di altro genere derivanti dalla frammentazione dei processi di innovazione. Promuove inoltre il trasferimento di conoscenze nel settore agricolo, forestale e nelle zone rurali.

La Misura intende contribuire a stimolare l'innovazione e la cooperazione nelle aree rurali, a migliorare la competitività delle aziende agricole, a perseguire gli obiettivi agro-climatico ambientali e a favorire la diversificazione e la creazione e sviluppo di piccole imprese.

I Gruppi Operativi sono partenariati in cui almeno uno dei soggetti componenti ha la qualifica di impresa del settore agricolo o agroalimentare, o loro associazione, e di cui possono far parte altri soggetti funzionali allo svolgimento di una serie di attività il cui obiettivo finale è lo sviluppo di innovazione (ricercatori, consulenti, organizzazioni, Enti pubblici e portatori di interessi collettivi diffusi, ecc.).

Il Gruppo Operativo, partendo dalla rilevazione del fabbisogno di innovazione, si forma attorno a un tema di interesse pratico per le imprese.

Al fine di diffondere il più possibile i risultati delle proprie ricerche, ogni Gruppo Operativo partecipa alla Rete Rurale nazionale e all'EIP-Agri, la strategia europea per la condivisione delle ricerche e il trasferimento dell'innovazione nelle aziende agricole.



L'origine e il contesto dell'innovazione

(a cura del Leader Partner Giorgio Pantano)

Dalle ricerche svolte dall'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale - France) emerge che esiste una relazione tra l'uso dei pesticidi e alcune malattie dei viticoltori e l'INAIL ha rilevato, dal 2007 al 2013, un aumento delle malattie professionali in agricoltura. Nella gestione del vigneto l'operatore percorre sempre la stessa strada per circa 28 volte all'anno per tutti gli anni di vita dell'impianto viticolo (Figura 1).

L'Az. Agr. Giorgio Pantano si è posta l'obiettivo, nel 2008, di migrare ad una gestione intelligente del vigneto, basata sulla robotica, che permettesse di semplificare la vita dell'agricoltore limitando anche il contatto con i prodotti fitosanitari. Dopo un'attenta ricerca di mercato, non trovando a quel tempo nessuna soluzione realmente utilizzabile, l'azienda ha deciso di sviluppare una soluzione robotica con proprie risorse.

Dopo diverse iterazioni di design, concetti e R&D, l'Azienda ha ottenuto un primo prototipo (Dodich), successivamente denominato Rovitis™; le diverse fasi di sviluppo sono raffigurate nella Figura 2. Il prototipo era capace di uscire da una stazione base, raggiungere il vigneto operando nei filari e ritornare alla base. L'operazione robotizzata più importante era l'irrorazione. Questa operazione è stata resa autonoma applicando i seguenti meccanismi: trazione meccanica basata su concetto di skid-steer, regolazione della macchina con due livelli di controllo attraverso un sistema a "cascata" ed infine uso di sensori a basso costo (i.e. Laser scanner). Sfortunatamente, date le caratteristiche prototipali, esistevano diverse problematiche nel suo utilizzo anche in superfici inferiori a un ettaro.

Lo sviluppo del progetto

Nel 2017 attraverso le misure 16.1 e 16.2 del PSR proposte dalla Regione Veneto, l'Az. Agr. Pantano, forte dell'esperienza acquisita, su suggerimento del Dott. Terzaroli del CODITVB, Dott. Belvini e Dott. Pizzolato di ExtendaVitis, ha coinvolto i partner del progetto. L'Az. Agr. Pantano sin dal primo momento si è posta in prima linea per l'attuazione del progetto e di conseguenza ha svolto il compito di Leader Partner. L'obiettivo del progetto consiste nel produrre due nuovi piccoli robot a guida autonoma facilmente ammortizzabili dalle aziende agricole per implementare la viticoltura di precisione (i.e. operazioni basate su dati, ricarica automatica, flotta di robots). Il concetto del progetto si può visualizzare in Figura 3.

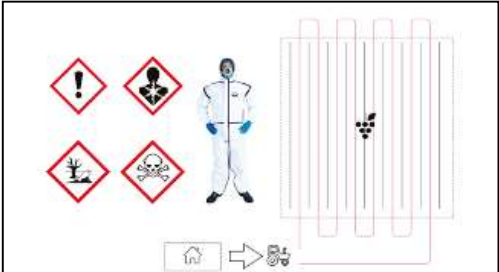


Figura 1. Utilizzo di fitosanitari in ambiente agricolo.



Figura 2. Evoluzione del Robot in viticoltura, Rovitis. Da un primo concetto basato su una minipala si è passati ad un prototipo completamente funzionante.

Obiettivi

Nel corso degli ultimi anni nel settore vitivinicolo sono state sviluppate e adattate molte tecnologie volte a migliorare la gestione aziendale (razionalizzazione delle concimazioni, riduzione dei consumi idrici, dei fitofarmaci, ecc.), basate su sistemi di raccolta di informazioni che abbinano hardware e software innovativi in grado di analizzare dati da fonti multiple in tempo reale.

Con tali tecniche è possibile effettuare interventi mirati e diversificati su singole parcelle nell'ambito di uno stesso appezzamento, permettendo al viticoltore di migliorare le rese qualitative del proprio vigneto.

Tuttavia molte delle soluzioni attualmente proposte sul mercato hanno forti limiti di costo o applicabilità e solo le grandi aziende viticole possono dotarsi di impianti di questo tipo, mentre tutte le altre piccole-medie aziende Venete si trovano in difficoltà nell'adeguamento tecnologico, restando escluse dai processi di innovazione.

Rovitis 4.0 vuole dimostrare la fattibilità, l'efficacia e la sostenibilità economica e ambientale di una particolare gestione robotizzata del vigneto, in alternativa alla gestione tradizionale.

Questa soluzione garantisce molteplici benefici per l'azienda agricola, con vantaggi economici, ambientali e sociali:

- ottimizza le risorse e riduce i costi di produzione delle uve, anche per aziende di dimensioni minori di 20 ha;
- minimizza l'impatto ambientale, grazie ad un uso razionale e mirato dei prodotti fitosanitari riduce i rischi per la salute degli operatori nelle pratiche agricole.

I costi di realizzazione contenuti vogliono rendere il sistema accessibile anche alle piccole aziende.

Teaching

Operator decides where to go

Home station

Parking and automatic filling of liquids

In-field sensors

Information is coming from the real field, better knowledge of crop status

On-board sensors

Information directly from the robot, no need of UAVs

DSS

Choose best spraying timing

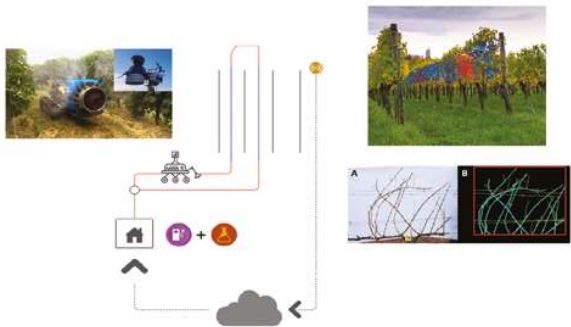


Figura 3. Concetto del progetto Rovitis 4.0 proposto da Azienda Pantano.

La costruzione del nuovo prototipo di robot (a cura di CET Electronics)

La struttura meccanica di Rovitis 4.0 nasce dall'esperienza di Energreen nello sviluppo di macchine radiocomandate, in sinergia con quella di CET Electronics nello sviluppo di prototipi e sistemi elettronici su misura.

Due prototipi di robot sono stati creati a partire dal design di una macchina preesistente, con importanti rivisitazioni a livello meccanico, dei serbatoi e dell'impianto elettrico. Le caratteristiche tecniche di base sono elencate in Tab. 1. Ciascun robot è stato equipaggiato con diversi sensori funzionali alla guida autonoma ed altri funzionali all'analisi della vegetazione (Tab. 2).

Il "cervello" del robot è rappresentato da diverse unità di calcolo embedded, CPU e GPU, montate a bordo macchina, nelle quali vengono continuamente processati i dati rilevati dai sensori. Su queste unità funzionano il software di navigazione autonoma e quello di analisi automatica delle immagini, quest'ultimo utilizzato sia per la guida tramite stereo visione e il riconoscimento di situazioni di allarme, sia per il riconoscimento della vegetazione per l'irrorazione a rateo variabile.

Un nuovo sistema di controllo elettronico ECU (Engine Control Unit), sviluppato ad hoc, permette la gestione del robot, nonché dell'apparato irrorante. Il sistema consente il controllo di tutti gli attuatori del robot, sia manualmente tramite l'interfaccia web denominata "Aurora" ed il radiocomando, sia tramite il software di navigazione autonoma installato nella CPU. La centralina elettronica ha un sistema di sicurezza integrato che controlla l'arresto o lo spegnimento della macchina in caso di impatto su ostacoli o, in generale, se vengono identificate situazioni di pericolo.

Monitoraggio da remoto e collegamento al DSS

Uno degli aspetti innovativi di Rovitis 4.0 è la sua connessione in cloud, che permette da una parte il suo controllo o la sua programmazione da remoto, dall'altra l'integrazione con altri dati raccolti da sensori in campo e le informazioni elaborate da un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS). L'utente accede al monitoraggio del robot tramite il software "Aurora web". Nel software viene inizialmente configurata una mappa degli



CARATTERISTICHE TECNICHE BASE:	
Marca motore	Yanmar
Modello motore	3 cilindri Diesel
Potenza	40 cv (27,5 kw)
Capacità carburante	42 lt
Cilri al minuto al lavoro	max 3000 rpm, tipici 2000 rpm
Peso macchina base	1150 kg
Trasmissione	Idrostatica
Cingoli	gomma, 250 mm
Pendenza	Fino a 40°

Tabella 1.

SENSORI A BORDO MACCHINA	
Per Navigazione:	Per ispezione chioma:
GPS	Stereocamere "WCAM"
Laserscanner 3D	Sensori NDVI
Stereocamere	
Accelerometro	
Giroscopio	
Encoder	

Tabella 2.

apezzamenti aziendali, definendo le caratteristiche rilevanti per la guida (dimensione, interfila), informazioni necessarie per l'esecuzione delle attività del robot in autonomia. E' possibile quindi **programmare dal web azioni specifiche**, come l'irrorazione di un determinato appezzamento o altre attività, e monitorare tutti i parametri di funzionamento del robot in tempo reale.

La presenza di una **stazione meteo** (Fig. 3) in campo consente di sfruttare i suggerimenti del DSS, sulla base di modelli previsionali integrati che elaborano i dati dei sensori. Il sistema suggerisce quando è necessario che il robot esegua un trattamento fitosanitario, sulla base di un indice di rischio di infezione calcolato sulla coltura (Fig. 2)

In una visione più ampia di modernizzazione della gestione aziendale, il sistema via web consente di gestire tutte le attività del robot in maniera integrata con **le altre attività aziendali**: i trattamenti fitosanitari, ad esempio, vengono automaticamente inclusi nel quadro di campagna e nei movimenti di magazzino. Infine, tramite altri sensori a bordo, il robot può **raccolgere dati dal campo** (es. mappatura NDVI) che a loro volta possono alimentare modelli previsionali e aumentare la conoscenza del vigneto, permettendo interventi puntuali di precisione.



Figura 3: Stazione meteo dotata di sistema di visione, installata in vigneto per il funzionamento di modelli previsionali collegati alle attività del robot.

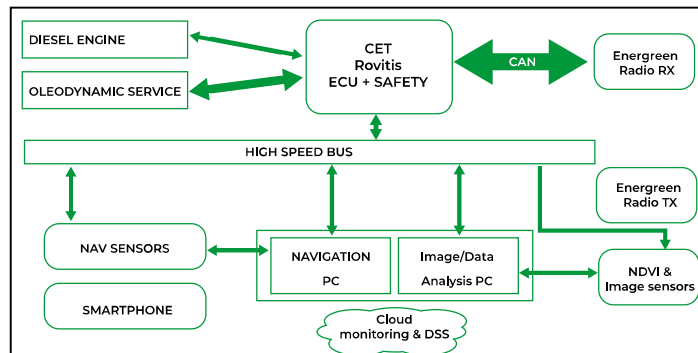


Figura 1. Schematizzazione delle componenti del robot e le loro relazioni di funzionamento.

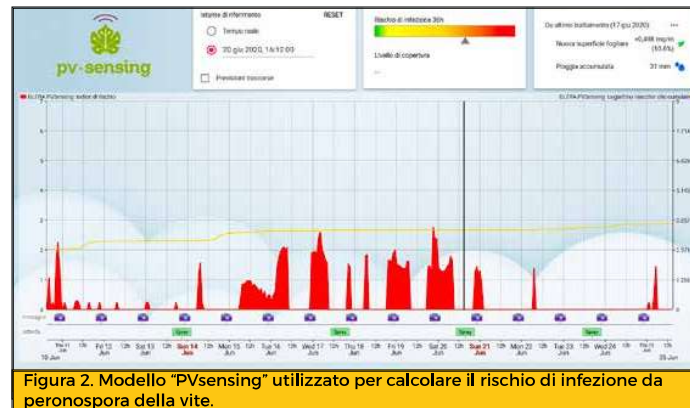


Figura 2. Modello "PVsensing" utilizzato per calcolare il rischio di infezione da peronospora della vite.

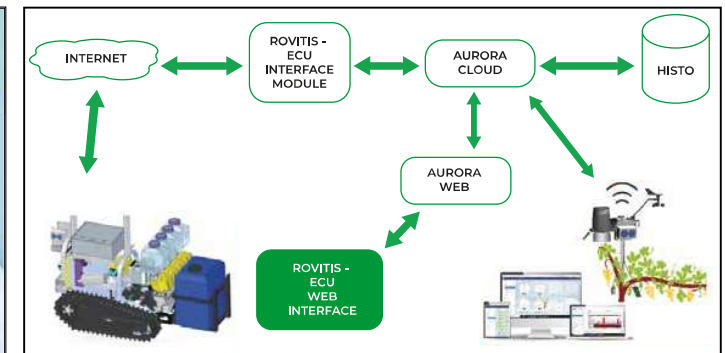


Figura 4. Schematizzazione dell'interconnessione fra il robot e altri elementi tramite il cloud.

Il sistema di guida autonoma

Fusione dei sensori e "Teach & Repeat" (a cura di Università di Maribor)

Per costruire un robot autonomo affidabile, robusto e facile da usare, è stato necessario sviluppare la logica decisionale sottostante il software di navigazione automatica. Grazie all'utilizzo della vecchia piattaforma "Dodich", accompagnata dal meta-sistema operativo - ROS (Robot Operating System) - sono stati progettati, implementati e verificati diversi nuovi algoritmi sviluppati dall'Università di Maribor. Questo ha incluso la LOCALIZZAZIONE per posizionare accuratamente il robot, la PIANIFICAZIONE DEL PERCORSO per trovare il modo più ottimale di pianificare i percorsi di lavoro e l'INSEGUIMENTO DEL PERCORSO per manovrare il robot sul percorso pianificato. In seguito sono stati sviluppati altri due algoritmi: l'INSEGUIMENTO IN VIGNETO grazie alle identificazioni delle piante, e l'ALGORITMO DI FUSIONE DEI SENSORI che ha reso possibile l'utilizzo del robot anche in caso di guasto di uno dei sensori sottostanti. Tutti gli algoritmi sono stati poi inseriti sulla piattaforma Rovitis 4.0 per dimostrare l'utilità della modalità TEACH & REPEAT, dove il robot veniva inizialmente istruito sul da farsi e poi ripeteva l'azione autonomamente più e più volte, senza interazione umana.

Irrobustimento della navigazione basata su Lidar (a cura di Az. Agr. Pantano, M. Pantano)

Se la navigazione con ROS (Robot Operating System) e SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) è il giusto sistema per usare i robot nelle aziende agricole, era rimasto il problema di far operare concretamente il robot sui vigneti dell'azienda Pantano. È stata quindi ripresa la logica degli originali algoritmi di navigazione del 2014, scritti in C, e con il supporto di un polo tecnologico è stato possibile perfezionare il tutto mettendo a punto un robusto sistema funzionante basato su Lidar (Laser scanner 3D). Con questo perfezionamento il robot è capace di partire dalla stazione base (home station), eseguire il trattamento sulla prima superficie ed infine tornare alla stazione base per ricaricarsi e ripartire per una seconda lavorazione. Dato l'utilizzo di un sistema basato su LIDAR, la macchina Rovitis è capace di riconoscere correttamente il suo ambiente operativo. Ad esempio, gli ostacoli vengono evitati attraverso un algoritmo intelligente di path planning, vedi esempio in Figura 3. Con questa metodologia, si è potuto rispettare ed implementare la norma ISO 15066, la quale detta linee guida per



Figura 1. Componenti essenziali per navigazione autonoma in vigneto.

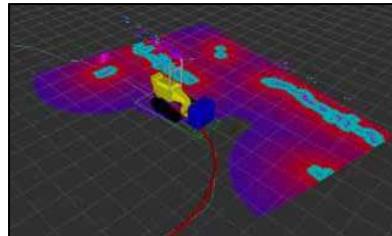


Figura 2. Percezione dell'ambiente attraverso lidar e mappe.



Figura 3. La macchina si ferma di fronte alla presenza di ostacoli.



Figura 4. Web app basata su algoritmi opensource per monitoraggio delle macchine.

l'adozione di robot in coesistenza con operatori umani. Per consentire l'uso della macchina da parte di altri viticoltori, tenendo conto della complessità in uso pratico, sono state applicate metodologie provenienti da Human Centred Design, rispettando norme di ISO 9241. Di conseguenza sono state sviluppate da Azienda Pantano alcune app per il controllo della macchina. Una app, sviluppata per smartphone Android, è stata creata per l'addestramento della macchina, vedi Figura 5. Una web app, sviluppata utilizzando algoritmi open source conosciuti nella community di agricoltori mondiali, per permettere di monitorare lo stato della macchina durante processi operativi, vedi Figura 4. Attraverso queste due app, il robot, quando arriva nell'azienda agricola, viene "addestrato". In questa operazione il viticoltore posiziona il mezzo nella stazione base dotata di ricarica. Successivamente, lo "accompagna" ad ispezionare il vigneto attraverso il percorso desiderato (e.g. anche con manovre di retromarcia) e lo riporta nella posizione iniziale di partenza. Con questo addestramento il robot memorizza l'area dell'azienda in cui dovrà operare con mappe e altri dati tecnologici. In particolare, distinguendo tra ostacoli occasionali (e.g. trattore) ed ostacoli fissi (e.g. sesto di vigneto), consentendo quindi di seguire varianti del percorso compatibili alla versione "addestrata".



Figura 5. App android per addestramento di Rovitis 4.0.

Sviluppo di una seconda macchina e interazione fra robot (a cura di Az. Agr. Pantano)

Per dimostrare il funzionamento dei concetti sviluppati in Rovitis 4.0 in azienda Pantano è stato allestito un nuovo robot. L'allestimento ha visto un processo di ammodernamento della vecchia piattaforma Dodich. La piattaforma presentava caratteristiche tipiche di una macchina datata (e.g. controlli in assenza di retroazione) di conseguenza è stata utilizzata una ECU aftermarket di alta qualità per adattare la piattaforma ai requisiti per la guida autonoma come raffigurato in Figura 7.

In seguito all'ammodernamento della piattaforma mecatronica, è stato adattato il software ad alto livello utilizzato in Az. Agricola Pantano. Data l'elevata flessibilità utilizzata nello sviluppo del software è stato possibile portare l'autonomia nella macchina qui citata attraverso un solo adattamento dei parametri di controllo (e.g. accelerazioni in sterzata). Infine sono state applicate, strategie per la comunicazione e collaborazione basate su scambio di informazioni riguardanti traiettorie tra diversi robot, vedi Figura 6.

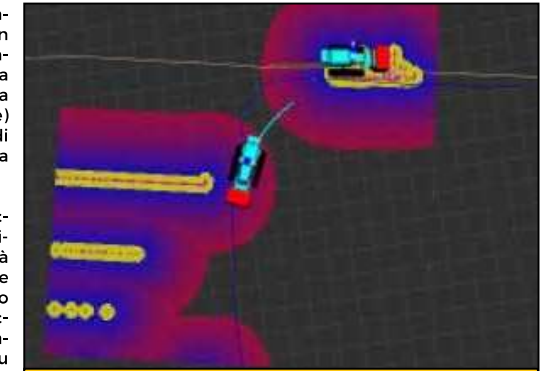


Figura 6. Interazioni tra due macchine.

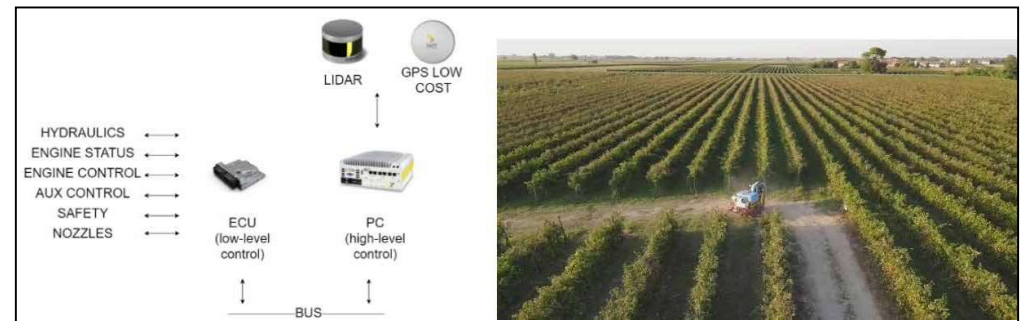


Figura 7. Architettura a doppio livello per l'ammodernamento di Dodich e Dodich in azione.

Sviluppo della navigazione tramite stereo visione (a cura di CET Electronics)

Per il secondo prototipo di robot, sperimentato presso l'azienda Terre Grosse, nel secondo anno di progetto è stato avviato lo sviluppo di un sistema di guida autonoma alternativo, basato sull'uso di GPS-RTK integrato con **stereo camere**, per superare alcune limitazioni legate all'utilizzo del Lidar. La stereo visione permette infatti una **ricostruzione 3D** dell'ambiente osservato, in maniera analoga al laser scanner, fondamentale per l'orientamento del robot durante la guida, ma con il vantaggio di poter **sfruttare le informazioni visive** degli oggetti. E' così possibile **riconoscere la tipologia di ostacoli** che si presentano lungo il percorso del robot, rendendo la guida più sicura e meno soggetta alle variabili ambientali. Un apposito software di analisi delle immagini è stato sviluppato da CET Electronics per il riconoscimento automatico di elementi quali: la traiettoria calpestabile, la vegetazione lungo i filari, ostacoli (come ad esempio persone o fossati). La presenza di erba alta lungo il percorso, ad esempio, viene distinta da altre barriere fisiche (es. un muro) e non viene interpretata come un ostacolo insormontabile: una distinzione che il sistema Lidar non sarebbe in grado di fare. L'utilizzo di queste tecniche di visione artificiale è importante sia come ausilio alla guida, correggendo localmente la guida basata su GPS, sia, soprattutto, per la **sicurezza**, assicurando la guida anche in assenza sporadica del segnale GPS e garantendo l'arresto o la deviazione del robot di fronte ad ostacoli particolarmente pericolosi (es. persone, fossi, alberi). L'elaborazione delle immagini per il riconoscimento della scena e la ricostruzione della mappa di navigazione 3D avviene direttamente a bordo macchina e deve garantire l'estrazione di informazioni necessarie alla guida entro i tempi utili di avanzamento del robot. Questo aspetto richiede una grande potenza computazionale a bordo, che verrà integrata nelle future versioni del robot.



Figura 8. Stereo camera montata su testa del robot con sistema di protezione delle ottiche.

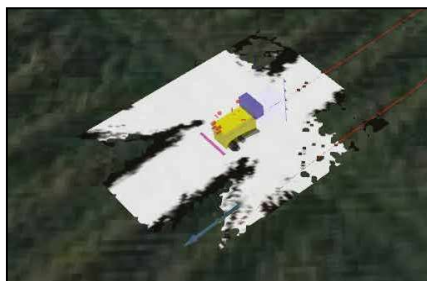


Figura 9. Mappa 3D dell'ambiente circostante il robot, ricostruita dalla fusione delle mappe di profondità delle stereo camere.

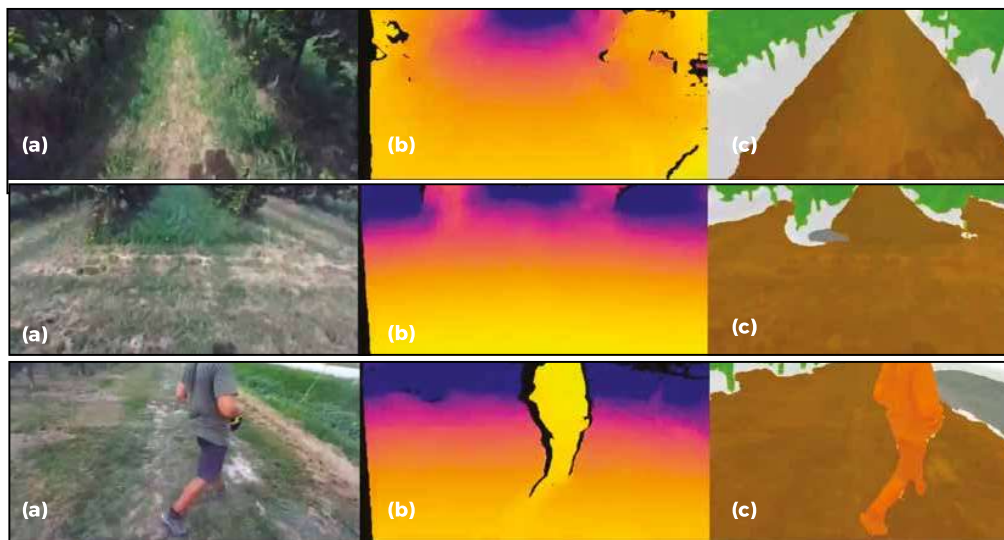


Figura 10. In alto: visione percorso nell'interfila; al centro: avvicinamento a più percorsi possibili su interfila diversi; in basso: presenza di persona e fossato. Si riportano: (a) immagini da telecamera; (b) elaborazione mappa di profondità; (c) segmentazione della scena con riconoscimento di: suolo calpestabile (marrone), vegetazione vigneto (verde), persona (arancione), fossato (grigio).

La ricarica automatica (a cura di Az. Agr. Pantano)

Azienda Pantano ha sviluppato anche una modalità di ricarica automatica dei prodotti antiparassitari per ridurre ulteriormente l'impegno dell'uomo nell'utilizzo del robot. Per garantire una soluzione compatibile con le aziende vitivinicole, è stato adottato un sistema con componenti a basso costo. In questo caso, Azienda Pantano ha utilizzato un robot Gantry a tre assi che grazie ad algoritmi di computer vision riesce ad indirizzare l'ugello di ricarica alla corretta postazione. In più, per consentire una miscelazione corretta delle polveri, è stato adottato un sistema basato sui componenti di una macchina distributrice automatica di bevande. Di conseguenza, assicurando una miscelazione corretta ed una ricarica affidabile. Alcuni dettagli del prototipo per la ricarica possono essere visti in Figura 1.

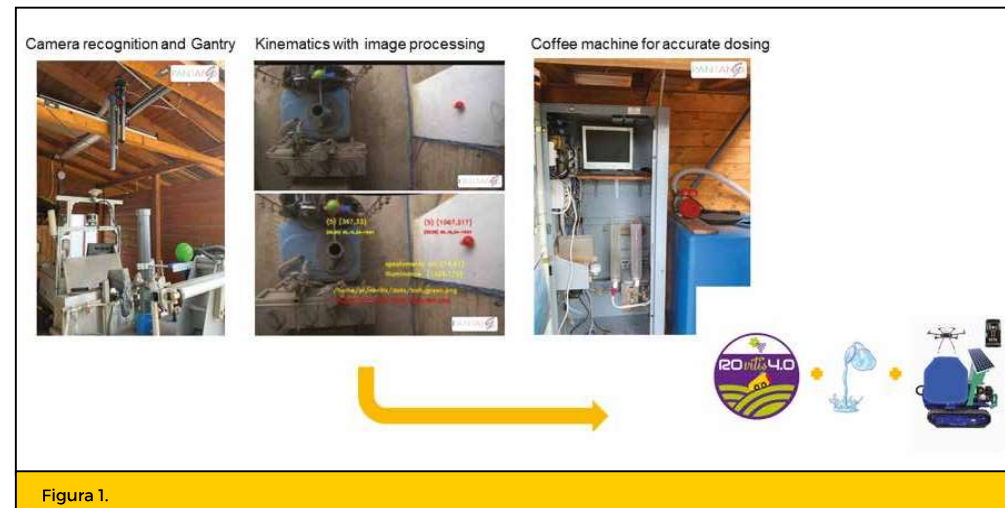


Figura 1.

Il sistema di irrorazione di precisione

(a cura di CET Electronics)

ROVITIS 4.0 è stato sviluppato non solo nell'ottica di una modernizzazione e automazione aziendale, ma anche nell'ottica di rendere maggiormente sostenibile la viticoltura rispetto all'impatto ambientale. A questo scopo, oltre al collegamento con un DSS, si è lavorato allo sviluppo ad hoc per il progetto di un **sistema di irrorazione di precisione "dinamico"**, mirato sulla vegetazione con un rateo variabile in funzione della quantità di vegetazione osservata lungo il percorso, minimizzando le perdite di prodotto per effetto deriva. Il sistema di irrorazione di precisione è stato creato in due versioni prototipali per i due robot sviluppati nel progetto, sulla base di un atomizzatore standard a torretta, le cui caratteristiche tecniche sono riportate in Tab. 1.

Riconoscimento della chioma

Il sistema di riconoscimento automatico della chioma è basato sull'utilizzo di due particolari stereocamere, sviluppate ad hoc per questa applicazione da CET Electronics. Le telecamere, montate sulla parte frontale del robot (Fig.1), durante il suo avanzamento ispezionano la chioma lungo il filare, acquisendo foto. Le immagini raccolte vengono elaborate in tempo reale da un software appositamente sviluppato durante il progetto, che funziona attraverso una rete neurale addestrata su numerose immagini, annotate manualmente con la collaborazione del CREA-VE. Il software è in grado di **riconoscere la chioma** (distinguendola da sfondo, pali, etc.) e di quantificarla con una **misura di volume e superficie fogliare** (Fig. 3). Questa misura viene distinta per diversi settori in altezza, e viene poi utilizzata per il comando indipendente di ciascun ugello.



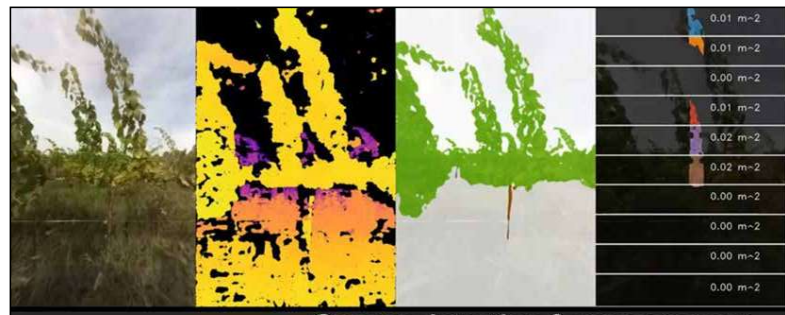
Figura 1. Stereo camere montate sulla testa del robot per il riconoscimento della vegetazione.

DATI TECNICI atomizzatore di base	
Capacità	200 l
Ventola	55 cm
Potenza	9,6 kw
Portata	55 l/min
Volume d'aria	16140 m³/h
Peso	380 kg

Tabella 1.



Figura 2. Particolare dell'atomizzatore a torretta, integrato con barre irroranti estensibili.



Canopy detection & measurement

Figura 3. Elaborazione delle immagini fornita automaticamente per la quantificazione della vegetazione da irrorare.

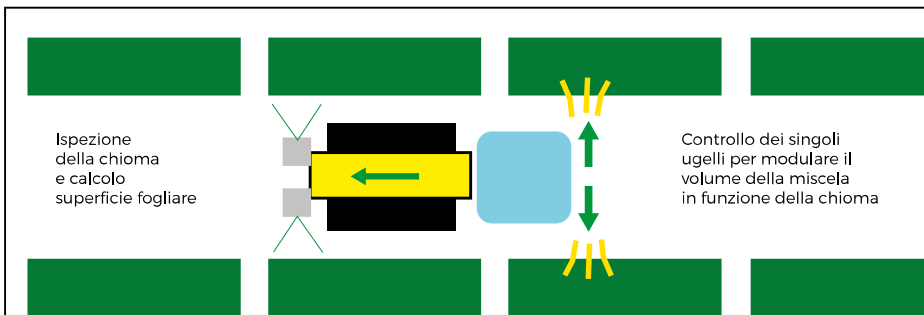


Figura 4. Schematizzazione del funzionamento del sistema di irrorazione "dinamico" di precisione.

Miscelazione dei fitosanitari a bordo

A differenza di un normale atomizzatore, dove i prodotti fitosanitari vengono miscelati nella botte ad ogni intervento da parte di un operatore, in ROVITIS 4.0 è stato sviluppato un **sistema di miscelazione automatica a bordo macchina**.

Quattro serbatoi da 10/20 lt (Fig. 5) permettono di trasportare a bordo altrettanti prodotti fitosanitari (solo in forma liquida), concentrati come nel loro formulato commerciale. La botte dell'atomizzatore (200 lt) contiene invece solo acqua pulita, mentre **la diluizione e la miscelazione dei prodotti avviene direttamente in linea** tramite un sistema di pompe peristaltiche, con brevetto depositato, che permette un **dosaggio di precisione**.

Data la disponibilità dei fitosanitari nei serbatoi, la ricetta di ogni trattamento viene prescritta alla macchina tramite il portale web e i dosaggi vengono effettuati automaticamente, senza necessità di alcun intervento umano.

La soluzione sviluppata comporta diversi vantaggi:

- ✓ Limita i contatti dell'operatore umano con i prodotti fitosanitari, essendo necessaria una ricarica dei serbatoi solo saltuariamente (e non ad ogni intervento).
- ✓ Evita lo spreco di prodotto dovuto ai residui finali di miscela nella botte (problema che riguarda anche gli atomizzatori a recupero).
- ✓ Permette un dosaggio più preciso e programmabile da remoto.
- ✓ Consente di variare automaticamente ricetta nel passaggio a diversi appezzamenti.

Barre estensibili e rateo variabile

La miscela di fitosanitari creata a bordo viene irrorata attraverso barre verticali laterali, con 5 ugelli ciascuna, a controllo indipendente. Le barre sono **estensibili** per adattarsi all'interfila, alle sporgenze delle piante e alla posizione del robot, mantenendo una distanza prefissata dalla vegetazione. Gli ugelli a ventaglio con possibilità di modulazione PWM (Pulse Width Modulation) del flusso consentono un'irrorazione mirata ad una zona ristretta della vegetazione, con dosaggio variabile. Essi vengono attivati, ciascuno in maniera indipendente, tramite un software che interpreta l'elaborazione delle immagini della chioma, modulando il dosaggio della miscela in funzione della superficie fogliare rilevata nell'area coperta da ciascun ugello (Fig. 6).



Figura 5. Particolare dei serbatoi per i fitosanitari.



Figura 6. Comando controllato e modulato degli ugelli.

La sperimentazione in campo

La sperimentazione in Az. Agr. Pantano (a cura di Az. Agr. Pantano e CREA)

Nelle superfici di test sono stati eseguiti i trattamenti fitosanitari per tutta la stagione viticola. A tal scopo, all'interno dell'azienda sono stati individuati due appezzamenti con il vitigno Clera (impianto del 2003 e sovrinnesto del 2008), allevati a spalliera e potati a Sylvoz di circa 3.000 mq e 1.400 mq rispettivamente. In ogni appezzamento sono state ricavate due parcelle, una trattata con l'attrezzatura innovativa e l'altra con l'atomizzatore normalmente utilizzato in azienda. Nel complesso sono stati eseguiti 13 interventi con prodotti anticrittogamici, alle stesse date e medesime caratteristiche, nelle due parcelle a confronto per ciascun appezzamento. Nelle superfici destinate all'uso del robot Rovitis 4.0, equipaggiato con un atomizzatore tradizionale, il robot ha eseguito i trattamenti in modo autonomo. Nelle aree viticole venete, l'annata agraria in cui è stata effettuata la sperimentazione ha visto perlopiù uno sviluppo fenologico anticipato ed una persistente mancanza di precipitazioni nel periodo inverno-primaverile. Nella zona in esame si è inoltre osservata una ridotta piovosità nel mese di giugno (vedi Figura 1).

Nell'annata 2020, anche nelle parcelle trattate utilizzando il robot Rovitis 4.0, con 13 trattamenti anticrittogamici, è stato possibile vendemmiare uve sane, conferite dall'az. Pantano alla Cantina di Cona.

L'applicazione pratica presso l'azienda Pantano del progetto Rovitis 4.0 ha rappresentato anche una fonte di ispirazione per alcune recenti iniziative intraprese da altri gruppi imprenditoriali a livello nazionale; ad esempio, la creazione di una start-up volta alla produzione di robot innovativi per vigneti e l'ipotesi di sostituzione del parco macchine con flotte di robot a guida autonoma in una delle più importanti aziende vitivinicole italiane.

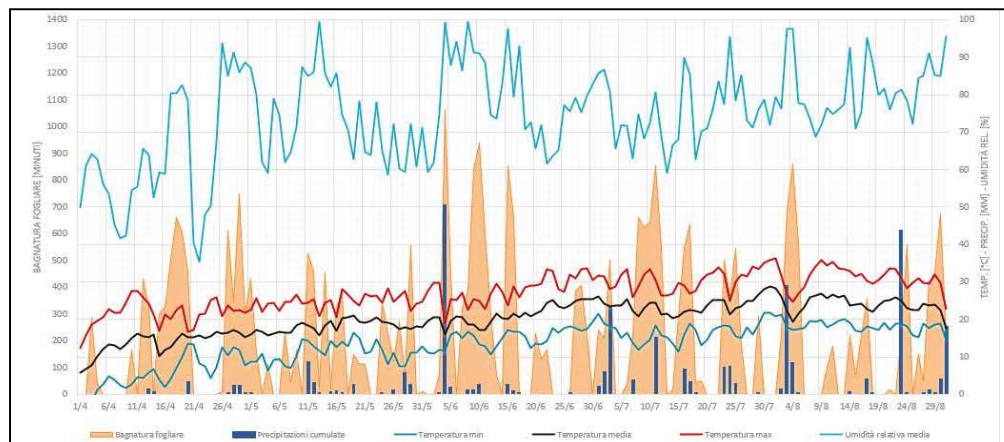


Figura 1. Azienda Pantano - Andamento meteorologico della stagione vegetativa 2020.

La sperimentazione in Azienda Agricola Terre Grosse (a cura di Terre Grosse e CREA)

Terre Grosse è l'azienda vitivinicola a conduzione biologica in cui si è svolta la seconda sperimentazione in campo, utilizzando uno dei due prototipi di robot. In quest'azienda si è studiata la **guida autonoma basata su computer vision**, ma il principale focus della sperimentazione è stato sull'**irrorazione a rateo variabile**. In seguito alla raccolta dati in campo e allo sviluppo sperimentale di questa tecnologia nel 2019, nel 2020 si è potuta testare l'efficacia del nuovo atomizzatore "dinamico" in un caso d'uso reale. Nei vigneti dell'azienda, a Zenson di Piave (TV), è stata individuata una parcella sperimentale in cui effettuare i trattamenti con il robot e un'altra analoga in cui effettuarli con normale trattore ed atomizzatore aziendali, allo scopo di mettere a confronto le due gestioni. La parcella sperimentale, di circa 3.000 mq, comprende i vitigni Manzoni Bianco (Incrocio Manzoni 6.0.13) e Sauvignon Blanc, impianti del 1990 con allevamento a Sylvoz. Di regola i trattamenti anticrittogamici nel 2020 (14.5 completi in totale) sono stati eseguiti entro lo stesso giorno e con le stesse ricette con il robot e con il trattore, nelle rispettive parcelle¹. Per la scelta dei giorni di trattamento si sono seguite le indicazioni del modello previsionale "PVsensing", integrato nel software di gestione del robot. Nel grafico in Fig. 2 si riporta il **risparmio in rame/ha** per gli eventi in cui le condizioni di trattamento sono state esattamente comparabili fra robot e trattore: esso varia **tra il 5 e l'85%** durante la stagione in funzione dello sviluppo vegetativo ed è dovuto all'adattamento automatico della dose di miscela alla quantità di vegetazione rilevata lungo i filari, **evitando l'irrorazione di fallanze e buchi di vegetazione**. Nel complesso, considerati tutti i trattamenti effettuati (anche quelli non comparabili fra le due parcelle), la sperimentazione ha evidenziato un **risparmio del 43% nella quantità totale di rame/ha** impiegata dal robot rispetto alla gestione standard. Si tratta di un risultato legato alle peculiarità aziendali (vegetazione molto ridotta e frequente presenza di fallanze), ma pur sempre molto significativo, che lascia intravedere potenzialità anche maggiori guardando al risparmio sui singoli trattamenti eseguiti in perfetta comparazione fra robot e trattore, specie nelle fasi iniziali della stagione.

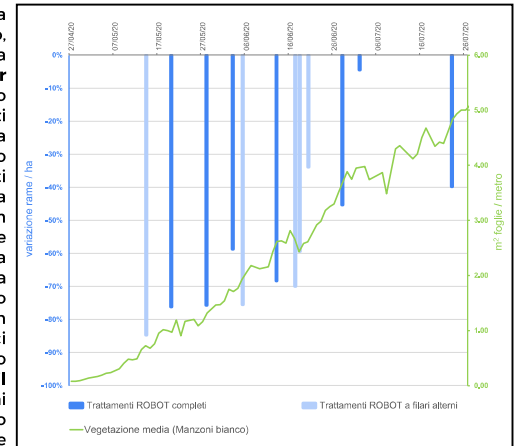


Figura 2. Risparmio nei dosaggi di rame per trattamento con Robot rispetto allo standard aziendale - Terre Grosse, 2020

Fanno eccezione alcuni eventi imputabili a problemi tecnici o logistici nella gestione della sperimentazione, in cui è stato necessario utilizzare il trattore al posto del robot (3 trattamenti), o differenziare la ricetta (2 trattamenti)

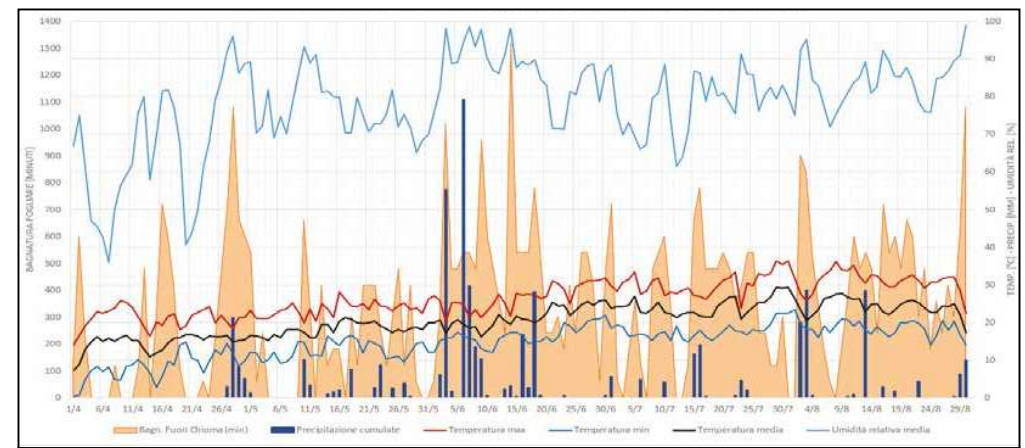


Figura 3. Azienda Terre Grosse - Andamento meteorologico della stagione vegetativa 2020.

La valutazione in vigneto dell'innovazione tecnologica

Il CREA ha partecipato al progetto nella fase di sperimentazione in campo dell'innovazione tecnologica proposta, con lo scopo di valutare, in confronto con la tecnica tradizionale:

1. l'efficacia protettiva del robot nei trattamenti di controllo delle malattie crittogamiche (in primis peronospora)
2. la qualità della distribuzione dei fitofarmaci sulla vegetazione trattata.

1. L'efficacia protettiva

a cura di A. Zanzotto, M. Gardiman e L. Aiello, CREA - Centro di Ricerca Viticoltura ed Enologia

Metodologia

Nel 2020 nei vigneti delle due aziende partner sono state individuate le parcelle ove condurre le prove: una di Sauvignon blanc, una di Manzoni bianco (Az. Terre Grosse, a conduzione biologica) e due di Glera (Az. G. Pantano, a conduzione convenzionale).

Per ciascuna parcella sono state allestite due tesi: una trattata con l'atomizzatore aziendale (TESI AZ) e una trattata con il robot (TESI ROB). Si è inoltre allestita una parcella testimone che non è stata trattata con prodotti antiperonosporici e antioidici (TESI NT) per consentire una comparazione con le tesi trattate.

All'interno di ciascuna azienda, i trattamenti fitosanitari nelle due tesi a confronto sono stati eseguiti nella stessa giornata e coi medesimi principi attivi (solo prodotti ammessi in agricoltura biologica presso l'Azienda Terre Grosse).



Figura 1. Rilievi in vigneto.

Durante la stagione vegetativa sono stati condotti periodici monitoraggi sullo sviluppo delle viti, le principali fasi fenologiche, l'andamento delle infezioni nelle parcelle sperimentali (Fig. 1 e 2).

Su ciascuna delle tesi a confronto sono stati eseguiti tre tipi di rilievo epidemiologico, su foglie e grappoli:

- 1) ricerca in vigneto dei primi sintomi della malattia
- 2) conta periodica dei nuovi organi colpiti dalla peronospora
- 3) valutazione, in alcune fasi, degli indici di malattia (es. I%: indice di gravità degli attacchi).

Al momento della vendemmia sono stati inoltre valutati a campione i quantitativi e i principali aspetti qualitativi dell'uva prodotta.

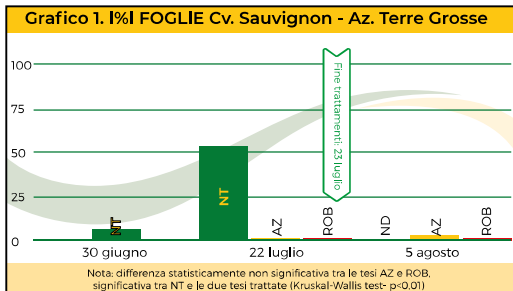


Figura 2. Peronospora su parcella non trattata.

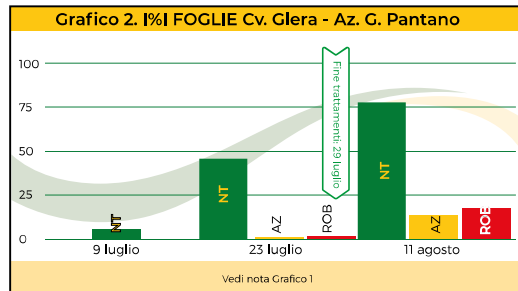
Risultati

Le prove su Sauvignon blanc (graf. 1 e 3) e su Manzoni bianco presso l'Az. Terre Grosse hanno evidenziato una consistente pressione di malattia sul NT. In un solo momento della stagione vegetativa la tesi TT ROB si è mostrata meno efficace nel contenimento delle nuove infezioni peronosporiche su foglia.

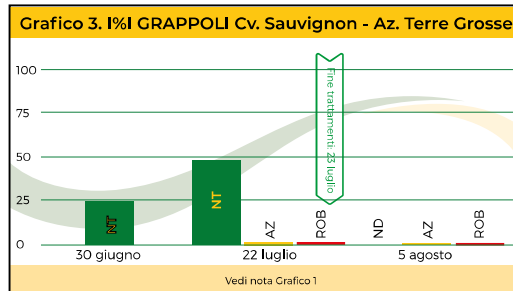
La ridotta piovosità nei mesi primaverili presso l'Az. G. Pantano ha indotto un generale ritardo nella comparsa delle infezioni. Anche sul vitigno Glera qui coltivato (graf. 2 e 4) il NT ha subito evidenti attacchi di peronospora.



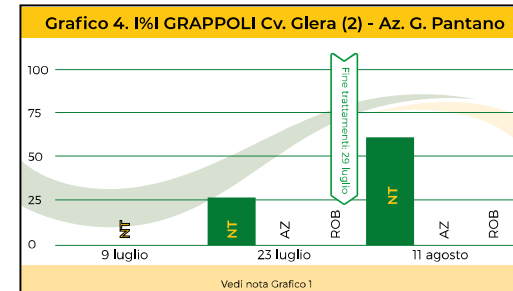
Nota: differenza statisticamente non significativa tra le tesi AZ e ROB, significativa tra NT e le due tesi trattate (Kruskal-Wallis test - p<0.01)



Vedi nota Grafico 1



Vedi nota Grafico 1



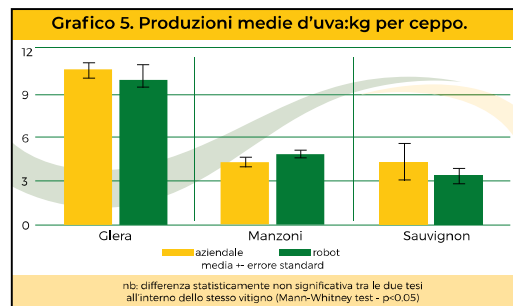
Vedi nota Grafico 1

In entrambe le aziende la presenza dell'oidio è stata irrilevante.

Sulle tesi trattate le infezioni sono state efficacemente contenute per tutto il periodo di persistenza dei prodotti utilizzati

Le valutazioni sulle rese produttive, pur nella variabilità dei valori dovuta alle diverse cultivar e sistemi di conduzione utilizzati, non hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra le tesi in esame (graf. 5).

Alcune peculiarità si sono manifestate a livello di certi parametri qualitativi dei mosti (tab. 1), ma in ogni caso di trascurabile rilevanza pratica.



nb: differenza statisticamente non significativa tra le due tesi all'interno dello stesso vitigno (Mann-Whitney test - p<0.05)

Vitigno	Sauvignon b. (24 agosto)		Manzoni b. (27 agosto)		Glera (11 settembre)	
	AZ	ROB	AZ	ROB	AZ	ROB
Brix	19,83	20,43	22,64	23,78	16,88	17,91
pH	3,29	3,31	3,33	3,36*	3,25	3,52*
Acidità Totale (g/l)	8,66	8,34	7,11	6,37*	5,48	5,14
Acido Tartarico (g/l)	6,59	6,15	6,78	6,64	5,34	5,33
Acido Malico (g/l)	3,40	4,42	3,06	2,39	1,95	2,06

Tabella 1. Riepilogo dei principali caratteri qualitativi dei mosti.

* differenza statisticamente significativa tra le due tesi all'interno dello stesso vitigno (Mann-Whitney test - p<0.05)

Conclusioni

Nel complesso, nelle condizioni sperimentali di prova, l'innovazione tecnologica utilizzata dalle due aziende partner ha evidenziato una buona capacità di supportare l'applicazione dei prodotti fitosanitari per la difesa fungicida. Nella gran parte dei rilievi svolti non si sono osservate differenze significative con la tesi trattata con l'atomizzatore aziendale. L'annata viticola 2020 è stata caratterizzata da un avvio contenuto delle prime infezioni peronosporiche ma in seguito la incidenza e la gravità degli attacchi sui testimoni non trattati hanno permesso di evidenziare gli incoraggianti risultati ottenuti con l'impiego del robot. Le prove andrebbero ripetute per più anni e in più siti, per testare l'attrezzatura innovativa in funzione della variabilità stagionale e di altri diversi contesti operativi.



Figura 3. Robot in vigneto (Az. G. Pantano).

2. Valutazione della qualità della distribuzione dei prodotti fitosanitari a cura di: Marcello Biocca, Federico Pallottino, Pietro Gallo. CREA- Centro di Ricerca Ingegneria e Trasformazioni Agroalimentari

Metodologia

L'attività sperimentale è stata preceduta dai rilievi sulle prestazioni dei gruppi irroranti dei robot, attraverso la misura della portata degli ugelli, della velocità di avanzamento, delle pressioni effettive di esercizio e della direzione e intensità del flusso d'aria prodotto dalla ventola (Figura 1). Questi rilievi hanno permesso di ricavare il volume ad ettaro effettivamente distribuito e di regolare la macchina per i trattamenti previsti. Ai fini della valutazione della qualità dell'applicazione, sono state utilizzate delle cartine idrosensibili. L'analisi del numero e delle dimensioni degli impatti rilevati sulle cartine permette inoltre di calcolare il numero delle gocce a cm² e le dimensioni delle stesse.

Durante le prove le cartine idrosensibili sono state disposte sulla vegetazione secondo lo schema illustrato in Figura 2, con l'impiego di 18 cartine per posizione, con la collocazione di coppie di cartine (una sulla pagina inferiore e una sulla pagina superiore delle foglie) in tre punti della chioma e a tre altezze. Questo campionamento è stato replicato su tre posizioni, per un tratto di filare di circa 15 m, per un totale di 54 cartine per ogni tesi. Le condizioni micrometeorologiche durante le prove sono state monitorate in continuo tramite centralina meteo portatile Kestrel 4500.

L'analisi delle cartine è stata effettuata in due modi: (1) attri-

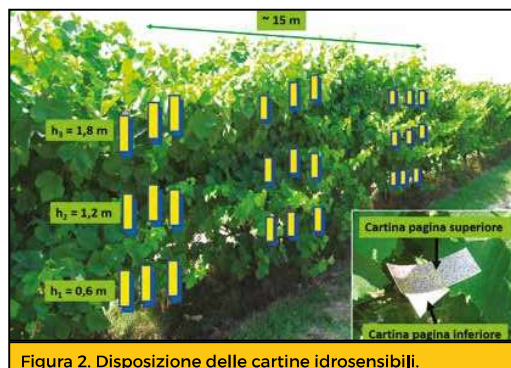


Figura 2. Disposizione delle cartine idrosensibili.

buendo un punteggio qualitativo del grado di copertura (Figura 3) e (2), dopo la digitalizzazione delle stesse, utilizzando una specifica routine in Matlab sviluppata presso il CREA-IT che utilizza un metodo di segmentazione supervisionata basato su clustering multivariato KNN.

da Pantano, con la macchina che ha operato con ugelli AlbuZ gialli 60° (4 per lato) per un volume a ettaro di 750 L. Inoltre, la macchina ha subito una modifica nel gruppo irrorante, con la disposizione degli ugelli in verticale (Figura 4), paralleli alla parete vegetale e non ad arco, come nel primo anno (Figura 1). Nel 2020 è stata anche effettuata una prova presso l'azienda Terre Grosse, con il prototipo di atomizzatore "dinamico" realizzato ex-novo nel progetto. Il vigneto oggetto di prova era della varietà Sauvignon Blanc. Questa macchina montava ugelli TeeJet con tecnologia PWM (Pulse Width Modulation), con getto a ventaglio e angolo di spruzzo di 40° (Figura 5). Tali ugelli consentono di modulare la portata in funzione delle istruzioni impartite dal sistema stereovisivo di lettura della presenza e densità della chioma. Il software della macchina calcola la quantità di liquido distribuita che varia istantaneamente in funzione della vegetazione. Nella prova, eseguita il 15 luglio in pieno sviluppo vegetativo (superficie fogliare media di 4,2 mq per metro di filare), è risultato che l'applicazione è stata effettuata a ultra-basso volume, ovvero 75 L/ha. Con questo sistema, nelle fasi iniziali dello sviluppo vegetativo il volume risulta ulteriormente ridotto (anche a 30 L/ha).

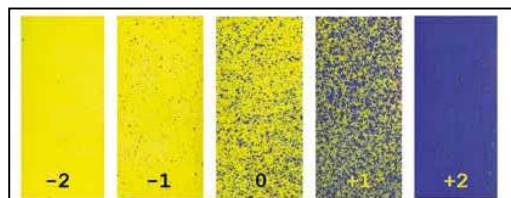


Figura 3. Schema dell'attribuzione dei punteggi attribuiti mediante valutazione visuale della copertura delle cartine: -2= insufficiente; -1= scarsa; 0= ideale; +1= eccedente; +2= eccessivo.



Figura 1. Rilievi sul gruppo irrorante: (1) misura pressione di esercizio; (2) verifica portata ugelli (luglio 2019).

Nel primo anno di prova, presso l'azienda Pantano, sono state confrontate due modalità di trattamento, la prima denominata "alto volume" (1017 L/ha), con ugelli a piastrina da 1,2, ciechi e pressione di esercizio di 10 bar; la seconda prova, "basso volume" con ugelli AlbuZ ATI da 60° (673 L/ha). Il vigneto oggetto di prova era della varietà Glera.

Nel secondo anno, è stata replicata una prova presso l'azien-

Risultati e discussione

Nella tabella 1 sono riportati i risultati della lettura delle cartine della prima prova presso l'azienda Pantano.

Altezza (cm)	Alto volume (1017 L/ha)		Basso volume (673L/ha)	
	Pag. inferiore	Pag. superiore	Pag. inferiore	Pag. superiore
60	-1,1	1,0	-1,6	-0,3
120	-0,9	0,1	-1,6	0,2
180	-0,6	-0,2	-1,3	-0,3

Tabella 1. Risultati della lettura delle cartine della prova presso l'azienda Pantano. (vedi figura 3 per la scala di lettura delle cartine.)

Nel secondo anno, la macchina ha distribuito 750 L/ha, e nella Tabella 2 si riportano i risultati del punteggio attribuito dopo la lettura delle cartine.

Nel primo anno di prova presso l'azienda Pantano, l'adozione di un volume piuttosto basso (circa 650 L/ha) ha determinato una copertura della vegetazione sufficiente nella pagina superiore (valori vicini a 0) ma piuttosto scarsa in quella inferiore (la media delle tre altezze è pari a -1,5). Anche il cosiddetto alto volume (circa 1000 L/ha) ha determinato una minore copertura della pagina inferiore delle foglie rispetto a quella superiore, ma ha comunque assicurato un buon grado di copertura di tutte le altezze. Nel secondo anno di sperimentazione, la nuova configurazione della macchina, che ha irrorato 750 L/ha, ha mostrato i risultati migliori. Con questa regolazione, sono stati realizzati gli interventi previsti in piena vegetazione. Nella Tabelle 3 e 4 sono riportate le caratteristiche delle gocce ottenute con le tre configurazioni testate.

La Tabella 5 riporta invece i risultati ottenuti con le cartine nelle prove presso l'azienda Terre Grosse.

Altezza (cm)	Pag. inferiore	Pag. superiore
120	-1,4	-1,1
170	-1,7	-0,7
220	-1,4	-0,3

Tabella 5. Risultati della lettura delle cartine della prova presso l'azienda Terre Grosse nel 2020. (vedi figura 3 per la scala di lettura delle cartine.)

In queste prove, la macchina sperimentale ha regolato la distribuzione adattandola in continuo alla presenza e densità della vegetazione presente sul filare. Ciò consente un notevole risparmio di prodotto e la diminuzione delle perdite per deriva. Tuttavia, il grado di copertura che è ricavato dalla lettura delle cartine è risultato in media tra scarso e insufficiente sulla pagina inferiore (media punteggio 1,5) e tra ideale e scarso sulla pagina superiore (media 0,7). Il numero di gocce per superficie unitaria e la loro dimensione sono in linea con questa lettura (Tabella 6). Va precisato che questo risultato è anche funzione della regolazione della ventilazione, impostata al 60% durante la prova. Tale parametro è stato variato dall'azienda durante i trattamenti fitosanitari effettuati, in funzione dello sviluppo vegetativo. È possibile notare che l'irrorazione è deficitaria specialmente nella fascia bassa della vegetazione, dove le numerose interruzioni della fascia vegetata possono aver indotto il sistema di visione a comandare delle interruzioni dell'erogazione troppo numerose oppure non perfettamente sincrone con l'avanzamento della macchina. Inoltre, il raggio ristretto del getto degli ugelli (40°), se da un lato consente una precisa regolazione nelle varie zone della vegetazione, dall'altro lato non compensa



Figura 4. Il robot al lavoro nel 2020 presso l'azienda Pantano. Si nota la posizione degli ugelli, posti paralleli alla parete verticale.

eventuali imprecisioni dovute, ad esempio, all'accidentalità del terreno o ad altre cause. Tale inconveniente potrebbe essere probabilmente ridotto con l'utilizzo di ugelli a maggiore angolo di spruzzo che permetterebbe una parziale sovrapposizione dei getti.

Altezza (cm)	Pag. inferiore	Pag. superiore
60	-0,6	-0,8
120	-0,3	1,4
180	-0,1	0,9

Tabella 2. Risultati della lettura delle cartine della prova presso l'azienda Pantano nel 2020. (vedi figura 3 per la scala di lettura delle cartine.)



Figura 5. Particolare dell'ugello con tecnologia PWM montato sul robot operante nell'azienda Terre Grosse. È possibile notare lo stretto angolo di spruzzo (40°).

Altezza (cm)	Anno 2019		Anno 2020
	1017 L/ha	673 L/ha	750 L/ha
60	106	132	92
120	96	99	98
180	107	81	144

Tabella 3. Numero di gocce a cm² nelle prove presso l'azienda Pantano.

Altezza (cm)	Anno 2019		Anno 2020
	1017 L/ha	673 L/ha	750 L/ha
60	108	119	116
120	132	135	101
180	129	141	114

Tabella 4. Diametro medio delle gocce (µm) nelle prove presso l'azienda Pantano.

Altezza (cm)	Diametro gocce (µm)	Numero delle gocce a cm ²
120	131	27
170	110	41
220	137	41

Tabella 6. Caratteristiche dell'irrorazione nella prova presso l'azienda Terre Grosse nel 2020.

Analisi effetti economici e ambientali nell'applicazione della robotizzazione Rovitis 4.0

(a cura di C. Bolzonella, C. Baldoin, G. Bugin - Cirve, Università di Padova)

La viticoltura svolge un ruolo fondamentale nell'agricoltura veneta con una superficie investita a vigneto che nel 2019 ha superato i 97 mila ettari, pari al 12% della SAU regionale (Avepa, 2020). Il Veneto conta 29.257 aziende agricole, il 99% delle quali con una superficie inferiore ai 20 ha e una superficie media aziendale vitata di 3,27 ettari (Istat, 2020). L'obiettivo di Rovitis 4.0 è quello di rispondere alla domanda di robotizzazione della difesa della vite anche per le piccole e medie aziende viticole, le più diffuse nella realtà veneta, e di valutarne la sostenibilità economica e ambientale.

Le prove in campo del progetto Rovitis sono state effettuate nel 2020 presso l'azienda convenzionale Pantano ubicata in Candiana nella provincia di Padova e nell'azienda biologica Terre Grosse di Zenson di Piave in provincia di Treviso. Nel 2020 sono stati effettuati 13 trattamenti per l'azienda Pantano, in linea con i dati medi territoriali delle aziende convenzionali (Cirve, 2020). Nell'azienda biologica Terre Grosse invece sono stati effettuati 16 trattamenti, un numero inferiore rispetto ai dati territoriali medi pari a 20 trattamenti annui. Nell'azienda Terre Grosse è stato utilizzato l'innovativo atomizzatore dinamico che ha permesso una riduzione media dei prodotti del 43%.

Di seguito si riportano i dati rilevati della velocità e la stima dei tempi di ritorno dell'innovazione complessiva Rovitis 4.0 consistente nel robot a guida autonoma con atomizzatore dinamico.

La Tabella 2 mostra le velocità medie calcolate dai due mezzi, al lordo e al netto dei tempi di accensione e carico, ossia le operazioni che vengono effettuate con mezzi fermi. Il robot ha una velocità media inferiore al trattore rispettivamente di 2,23 e 5,21 km/h se si considera accensione e carico o meno.

Nella Tab. 1 sono riportati i tempi, in secondi (sec.), e lo spazio percorso dal robot e dal trattore convenzionale per effettuare i trattamenti di difesa della vite. Il primo confronto effettuato nel mese di giugno evidenziava una forte differenza nelle velocità e nei conseguenti tempi di trattamento. Il trattore convenzionale infatti, con una velocità maggiore di 2,5 volte riusciva a trattare un ettaro di vigneto in 1,21 ore mentre il robot in 3,04 ore. Attualmente grazie a nuovi affinamenti tecnici il robot viaggia ad una velocità di 4 km/ora e nella prossima annata vi è l'obiettivo di equiparare la velocità del trattore convenzionale.

Resta comunque una differenza nei tempi di accensione dovuta al caricamento dei dati di navigazione e controllo dei vari sensori in particolare quelli legati alla sicurezza.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i tempi di ritorno dell'investimento nell'innovazione Rovitis 4.0 con un costo di investimento ipotetico variabile da 30.000 a 150.000 euro. Nel calcolo è stato assunto che: una azienda che investa nel mezzo non debba più sostenere spese di distribuzione conto terzi che nelle aree viticole padane venete sono pari a 50 euro

per ettaro per trattamento; che una azienda convenzionale distribuisca i prodotti fungicidi e insetticidi con 13 trattamenti annui; che l'acquisto dei prodotti di difesa sia pari a 750 euro anno come rilevato da un campione di aziende convenzionali; che l'utilizzo dell'atomizzatore dinamico permetta un risparmio del 43% sulle quantità di prodotti utilizzati come è stato ottenuto nelle prove eseguite presso l'azienda Terre Grosse.

	Velocità media con tempi di accensione e carico (km/h)	Velocità media al netto dei tempi di accensione e carico (km/h)
Trattore con atomizzatore convenzionale	3,71	7,23
Robot Rovitis con atomizzatore dinamico	1,48	2,02
Differenza velocità	2,23	5,21

Tabella 2. Velocità rilevate (giugno 2020). Fonte: rilevazioni ed elaborazioni Cirve

OPERAZIONE	Spazio percorso (m)	Rovitis tempo (sec)	Trattore tempo (sec)
Carico	0	80	80
Pesatura e miscelazione	0	400	400
Accensione macchina	0	160	3
Tempo per raggiungere filare 1	104,13	220	61,6
Tempo distribuzione filare 1	192,68	322	90,16
Tempo manovra 1	3,83	30	8,4
Tempo distribuzione filare 2	194,52	298	83,44
Tempo manovra 2	7,62	47	13,16
Tempo distribuzione filare 1 lato capannone	190	290	81,2
Tempo manovra 3	13	40	11,2
Tempo distribuzione filare 4	194,53	290	81,2
Tempo di ritorno box	111,73	263	73,64
Tot.	1.012,04	2.440	987

Tabella 1. Tempi rilevati e spazi percorsi nelle prove effettuate presso l'azienda Pantano (Giugno 2020). Fonte: rilevazioni ed elaborazioni Cirve

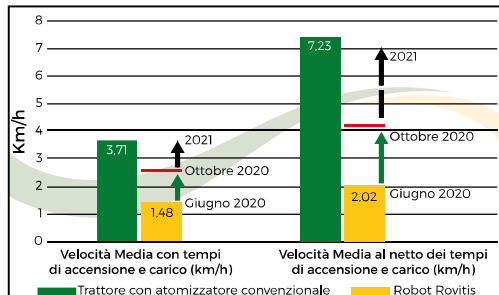


Figura 1. Comparazione dei tempi medi rilevati nelle prove di trattamento tra il robot Rovitis 4.0 e il trattore convenzionale. Fonte: rilevazioni ed elaborazioni Cirve

ha	30.000	50.000	100.000	150.000
1	30,4	50,6	101,3	151,9
5	6,1	10,1	20,3	30,4
10	3,0	5,1	10,1	15,2
15	2,0	3,4	6,8	10,1
20	1,5	2,5	5,1	7,6
25	1,2	2,0	4,1	6,1
30	1,0	1,7	3,4	5,1

Tab. 3. Tempo di ritorno in vigneto convenzionale robot Rovitis 4.0. Fonte: elaborazioni Cirve

ha	30.000	50.000	100.000	150.000
1	23,6	39,4	78,7	118,1
5	4,7	7,9	15,7	23,6
10	2,4	3,9	7,9	11,8
15	1,6	2,6	5,2	7,9
20	1,2	2,0	3,9	5,9
25	0,9	1,6	3,1	4,7
30	0,8	1,3	2,6	3,9

Tab. 4. Tempo di ritorno in vigneto biologico robot Rovitis 4.0. Fonte: elaborazioni Cirve

L'investimento viene considerato fattibile quando presenta dei tempi di ritorno, ossia dei tempi di rientro del capitale investito, pari o inferiori a 5 anni.

In verde sono colorate le celle della tabella 3 con tempi di ritorno inferiore o uguale a 5 anni. Con costi di investimento di 30.000 euro l'innovazione risulta fattibile con superfici vitate superiori ai 6 ettari; con 50.000 euro a partire da 10 ettari, con 100.000 euro a partire da 20 ettari e con 150.000 euro solo con superfici superiori ai 30 ettari.

Nella tabella 4 sono riportati i tempi di ritorno calcolati utilizzando i dati medi delle aziende biologiche ossia 20 trattamenti annui, un costo di distribuzione se fatto in conto terzi pari a 50 euro intervento e 600 euro per ettaro di costo medio relativo all'acquisto dei prodotti fitosanitari.

La tabella 4 evidenzia come si cominciano ad avere tempi di ritorno fattibili con investimento di 30.000 euro a partire da superfici vitate superiori ai 5 ettari, con 50.000 euro a partire da 8 ettari, con 100.000 euro a partire da 16 ettari e con 150.000 euro sopra i 25 ettari.

Attualmente la dimensione massima di un vigneto robotizzabile non supera i 20 ettari in corpo unico a causa di limiti strumentali. Tale caratteristica non rappresenta comunque una barriera alla diffusione dei robot che nel caso di aziende di notevoli dimensioni in futuro potranno beneficiare di flotte di robot guidate da sensori e programmi.

I tempi di ritorno calcolati e la distribuzione delle aziende viticole per classe dimensionale ci ha permesso di simulare la domanda potenziale in veneto di robot Rovitis 4.0 nei diversi scenari caratterizzati da costi di investimento crescenti.

Il settore viticolo veneto è infatti composto prevalentemente da piccole aziende, il 90% ha una superficie vitata inferiore ai 5 ettari e con una superficie media a livello regionale che supera di poco i 3 ettari (Avepa, 2020).

Assumendo che un robot gestisca una superficie massima di 20 ettari, la domanda potenziale nello scenario caratterizzato da costi di investimento basso pari a 30.000 euro la domanda sarà di 1800 robot per un valore di 54 milioni di euro, mentre con un costo di investimento di 100.000 il valore sale a 87,5 milioni di euro.

L'impatto sull'ambiente e sulla salute umana è stato valutato attraverso l'indicatore CIP (Classe di Impatto Potenziale) messo a punto dall'Agenzia regionale per la protezione ambientale della regione Toscana (ARPAT). Tale indicatore quantifica il grado di pressione ambientale e sanitaria prodotto dall'utilizzo nei vigneti dei principi attivi contenuti nei prodotti fitosanitari. Gli effetti vengono valutati su una scala il cui valore varia da 1 a 5. In base al registro aziendale dei trattamenti è stato calcolato il CIP di comparto (ambiente, acqua e salute) mediando la somma del CIP del principio attivo per la relativa dose di utilizzo aziendale con il peso di tutti i principi attivi utilizzati. L'analisi dei trattamenti effettuati evidenzia indicatori CIP medi per i comparti acqua e ambiente e medio-bassi per il comparto salute. I valori più elevati relativi al biologico nei comparti acqua e ambiente sono conseguenza di un utilizzo maggiore di sostanze che si bioaccumulano (Tabella 3). Si evidenzia una riduzione dei valori CIP in tutti i campi con l'innovazione, grazie alla riduzione nei dosaggi di prodotti fitosanitari permessa dall'atomizzatore dinamico.

Il Veneto utilizza annualmente 19.300 tons annue di prodotti fitosanitari, pari al 16% circa del consumo nazionale (Istat, 2018). Una parte del consumo di tali prodotti è imputabile alla vite che nell'ultimo decennio è passata da 75 a oltre 97 mila ettari. Assumendo che in ogni ettaro di vite sia impiegato in media 60 kg di prodotto fitosanitario, la diffusione dell'atomizzatore dinamico potrebbe portare ad un contenimento nell'uso di tali prodotti di 3.190 tons.

Investimento (€)	CL Aziende	% SAU vite	Vite (Ha)	Ha	N° Robot
30.000	> 10 ha	36,8	97.347	35.843	1.792
50.000	> 15 ha	28,7	97.347	27.915	1.396
100.000	> 25 ha	18,0	97.347	17.496	875

Tab. 5. Domanda potenziale veneta di robot Rovitis 4.0. Fonte: elaborazioni Cirve su dati Avepa

	CIP ACQUA		CIP AMBIENTE		CIP SALUTE	
	Senza innovazione	Con innovazione	Senza innovazione	Con innovazione	Senza innovazione	Con innovazione
CONVENZIONALE	2,15	1,18	1,82	1,00	1,43	0,78
BIOLOGICO	3,00	1,65	3,37	1,85	1,00	0,55

Tabella 6. Valori di CIP per comparto con e senza innovazione. Fonte: elaborazioni Cirve su dati rilevati

Conclusioni e prospettive

Le valutazioni relative all'applicazione della robotizzazione in viticoltura, sviluppate da Rovitis 4.0 hanno fornito dati positivi. In questa prima fase l'utilizzo del robot è stato limitato alla difesa della vite e ha permesso di garantire una efficace protezione e di contenere i costi di distribuzione, rispetto alle stesse operazioni eseguite in conto terzi con attrezzatura convenzionale (trattore + atomizzatore) nel vigneto sperimentale.

In termini assoluti, la limitata riduzione dei costi nella distribuzione dei prodotti di difesa potrebbe sembrare una barriera all'investimento nella robotizzazione, rispetto alla gestione ordinaria. Tuttavia questa scelta rappresenterà una necessità nel prossimo futuro, per riuscire a garantire una sostenibilità alle aziende nel medio-lungo periodo. Una sostenibilità che richiede, oltre che la riduzione significativa di prodotti fitosanitari, una flessibilità temporale e spaziale, con interventi sempre più mirati e tempestivi, che solo la robotizzazione potrà garantire. Quest'ultima caratteristica è fondamentale anche per l'introduzione di tecniche di difesa di precisione e di metodi alternativi nella difesa della vite.

Il robot a guida autonoma potrà essere adattato facilmente nel breve periodo anche ad altre operazioni colturali, quali la gestione del cotico erboso e le lavorazioni sulla fila, integrando il robot con strumentazioni già presenti in azienda o sul mercato. È prevedibile un impiego del sistema proposto anche in altri sistemi colturali arborei (es. settore frutticolo), con minime modifiche per aggiustare gli algoritmi di guida. Analogamente anche il sistema di irrorazione dinamico potrà essere adattato ad altre colture.

Sul mercato attualmente sono presenti altri robot impiegabili in viticoltura, il cui costo di investimento elevato però ne limita la diffusione nelle aziende di piccole e medie dimensioni. Inoltre, al momento nessuno di questi robot è operativamente in grado di effettuare trattamenti fitosanitari in piena autonomia e con sistemi di precisione.

Rovitis 4.0 invece ha permesso di integrare la guida autonoma nella gestione dei trattamenti fornendo un esempio di soluzione economicamente accessibile per la robotizzazione della viticoltura.





Per una maggiore riduzione dei costi, affinché le piccole aziende possano avere più facilmente accesso alla tecnologia proposta, si può ipotizzare il ricorso a software open source e si auspica in ogni caso il supporto pubblico nel rendere disponibile il software di navigazione a condizioni agevolate. È prevedibile inoltre una significativa riduzione dei costi hardware in futuro grazie non solo alle economie di scala e all'avanzamento nelle tecnologie impiegate, ma anche attraverso una diversa filiera produttiva inclusiva e decentralizzata.



I partner

CREA



 Sede principale: Via Po, 14 - 00198 Roma
 crea@crea.gov.it
 www.crea.gov.it
 +39 06 47836685

Il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) è il principale Ente di ricerca italiano per l'agroalimentare, con personalità giuridica di diritto pubblico, vigilato dal Mipaaf, con competenze scientifiche nel settore agricolo, ittico, forestale, nutrizionale e socio-economico.

Nella partecipazione al presente progetto sono state coinvolte in particolare le competenze sulla difesa, fenologia e struttura vegetativa della vite (Centro di ricerca Viticoltura ed Enologia) e sulla qualità della distribuzione (Centro di Ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari).

Il CREA Viticoltura ed Enologia opera nel settore della ricerca e sperimentazione in ambito viti-vinicolo. Le tematiche affrontate sono quelle della conservazione, caratterizzazione e valorizzazione del germoplasma viticolo, con studi sul miglioramento genetico, la fisiologia e la metabolomica della vite.

È attivo sia sulle uve da vino, sulle quali svolge studi chimici, biologici e sensoriali nell'ambito della trasformazione enologica, che sulle uve da tavola. Promuove inoltre tecniche colturali innovative, volte a favorire la sostenibilità ambientale, e strumenti per la zonazione. Inoltre, a tale Centro afferiscono funzioni di controllo e certificazione dei materiali di propagazione e la gestione del Registro Nazionale delle Varietà di Viti.

Il CREA Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari opera invece nel campo dei processi e delle trasformazioni nei biosistemi per una gestione sostenibile degli agroecosistemi e delle filiere agricole, agroalimentari e agroindustriali. Svolge ricerche sullo sviluppo e l'uso delle tecnologie, macchine e impianti per la produzione primaria, fornendo supporto e consulenza tecnico-scientifica agli attori dei sistemi di riferimento e al processo di certificazione e di armonizzazione della normativa.

CET ELETRONICS







 Sede: Via E. Fermi, 1 - 31050 Zenson di Piave (TV)
 cet@cet-electronics.com
 www.cet-electronics.com
 +39 0421 344100

Responsabile tecnico del progetto, CET Electronics ha un'esperienza di oltre 40 anni nello sviluppo di sistemi di controllo elettronico, sensoristica e software di controllo da remoto. L'azienda è specializzata in applicazioni tecnologiche e sistemi IoT nell'ambiente vigneto, di cui conosce approfonditamente le caratteristiche, grazie alla collaborazione con aziende vitivinicole della zona. CET Electronics ha una sezione di R&S che vanta competenze avanzate in informatica, elettronica, fisica, agronomia ed è fortemente attiva nel settore dell'agricoltura di precisione, dedicata allo sviluppo di sensoristica innovativa, modelli previsionali per le patologie vegetali, sistemi di irradiazione di precisione e più recentemente ha cominciato lo sviluppo di sistemi di guida autonoma per mezzi robotici.

Nel progetto Rovitis 4.0 CET Electronics si è occupata della costruzione dei due prototipi di robot (sulla base della meccanica sviluppata dal partner Energreen) integrati con i sensori e le unità di calcolo necessari alla navigazione autonoma, sviluppando il controllo elettronico globale e il sistema di sicurezza della macchina. L'azienda ha anche sviluppato il particolare sistema di irradiazione di precisione, "irroratore dinamico" e l'annesso sistema di miscelazione in linea dei prodotti fitosanitari, curando tutti gli aspetti sia hardware che software. Infine l'azienda ha sviluppato il software di analisi delle immagini per potenziare la navigazione sulla base della stereo visione.

CIRVE



 Sede centrale: Via XXVIII Aprile, 14 - 31015 Conegliano (TV)
 segreteria.conegliano@unipd.it
 www.cirve.unipd.it
 +39 0438 450475

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA IN VITICOLTURA ED ENOLOGIA - CIRVE

Il Centro Interdipartimentale di Ricerca in Viticoltura ed Enologia (CIRVE) è nato con le finalità di promuovere, svolgere e coordinare studi e ricerche nei settori della Viticoltura ed enologia e dell'economia del comparto viticolo ed enologico e di attuare iniziative atte a diffondere i risultati delle ricerche svolte. Inoltre, il Centro collabora, con la scuola di Agraria e Medicina Veterinaria dell'Università degli Studi di Padova, allo svolgimento del Corso di Laurea Triennale in Tecnologia Viticole ed Enologiche e del primo anno del Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Viticoltura, Enologia e Mercati Vitivinicoli, nonché alle attività scientifiche di Dottorati di Ricerca nel settore della viticoltura, dell'enologia e dell'economia del settore viticolo ed enologico.

Organizza e gestisce convegni, seminari ed altre attività formative e divulgative nei settori della viti-vinicoltura, sviluppa rapporti di collaborazione scientifica e didattica con Istituzioni Universitarie e altri Enti in ambito nazionale e internazionale nei settori legati alle discipline delle viticoltura ed enologia

Le attività vengono svolte presso il Campus di Conegliano (TV) nell'ambito della stretta collaborazione tra l'Università di Padova, la Fondazione per l'Insegnamento Enologico di Conegliano, la Provincia di Treviso, Veneto Agricoltura e la Regione Veneto, il CREA Centro di Ricerca Viticoltura ed Enologia del Mipaaf, la Camera di Commercio di Treviso, i Consorzi e le imprese del settore.

Il legame con il territorio consente, attraverso il continuo confronto e azioni sinergiche, di sviluppare al meglio sia le iniziative didattiche che quelle di ricerca.

AZ. AGR. GIORGIO PANTANO



 Via Stradelle, 40 - 35020 Candiana (PD)
 giorgio.pantano@rovitis.com
 www.aziendapantano.it
 +39 049 5349522





L'azienda viticola Giorgio Pantano è un'azienda familiare che si estende su 18 ettari interamente coltivati a vite con varietà di Prosecco, Pinot Grigio e Chardonnay.

L'azienda vanta una notevole esperienza nell'uso di un reale mezzo a guida autonoma utilizzato per l'irrorazione. Tale mezzo è un prototipo autocostruito dall'azienda in cui sono stati risolti, seppur in modo non professionale, i principali problemi di natura meccanica, oleodinamica, elettrica, elettronica, sensoristica e software. I componenti acquistati nel mercato dell'usato e dell'hobbistica non garantiscono affidabilità, usabilità da parte di altri viticoltori e una totale sicurezza. Inoltre gli algoritmi di navigazione automatica, scritti in C language, non sono adattabili all'utilizzo su altre piattaforme hardware e devono essere riscritti e aggiornati con le ultime soluzioni matematiche per la navigazione autonoma.

L'azienda è attualmente l'unica in Italia a servirsi di un mezzo autonomo per i trattamenti, detiene conoscenze, competenze esclusive sull'utilizzo in campo di un tale mezzo e ha una panoramica completa dei requisiti funzionali.

TERRE GROSSE SOC. AGR. S.S.



 Via Enrico Fermi, 4 - 31050 Zenson di Piave (TV)
 info@terregrosse.it
 www.terregrosse.it
 +39 349 3796456

Terre Grosse Soc. Agr. s.s. è un'azienda vitivinicola biologica a conduzione familiare, di circa 7 ettari, interamente coltivati a vigneto. L'azienda agricola, anche grazie alla stretta collaborazione con CET Electronics, da diversi anni è impegnata nella sperimentazione di diverse tecnologie in vigneto, che permettono di ottimizzare la produzione e ridurre l'impatto ambientale dell'attività vitivinicola. L'azienda, grazie al suo impegno per l'innovazione e l'ambiente, è stata recentemente premiata a livello nazionale, sia da ISMEA nel concorso "Nuovi fattori di successo" (ed. 2019) che da Confagricoltura nel concorso "Premio nazionale per l'innovazione in agricoltura" (prima edizione).

CONFAGRICOLTURA VENETO



Via C. Monteverdi, 15 - 30174 Mestre Venezia
fedvenet@confagricoltura.it
www.confagricolturaveneto.it
+ 39 041 987400

Confagricoltura Veneto è espressione della Confederazione Generale dell'Agricoltura italiana, la prima Associazione agricola per data di nascita e tradizione avendo celebrato nel 1991 i cento anni di vita.

Confagricoltura è l'organizzazione di rappresentanza e tutela dell'impresa agricola italiana che riconosce nell'imprenditore agricolo il protagonista della produzione e persegue lo sviluppo economico, tecnologico e sociale dell'agricoltura e delle imprese agricole.

Confagricoltura Veneto associa circa il 45% della Superficie Agricola Utilizzata e la gran parte dei datori di lavoro agricoli della regione Veneto, presentandosi così come l'Associazione agricola più rappresentativa sotto il profilo economico e imprenditoriale.

È presente diffusamente su tutto il territorio con una sede regionale, sette provinciali e una settantina locali.

Sono espressione di Confagricoltura Veneto alcuni Enti che, dotati di autonomia funzionale, perseguono specifici ambiti di interesse nel settore primario: A.N.G.A. del Veneto, il movimento giovanile dell'Associazione: Agriturist Veneto, espressione della più antica Associazione agrituristica: CAA delle Venezie s.r.l., per l'erogazione di servizi alle imprese agricole; ERAPRA del Veneto, che si occupa di formazione e di aggiornamento professionale; l'Associazione Italiana Maiscoltori.

Confagricoltura è rappresentata nel CNEL e presso tutte le principali sedi istituzionali, nazionali ed internazionali, direttamente collegate all'agricoltura o che abbiano, comunque, attinenza con essa. È parte attiva di tavoli di concertazione fra parti sociali e Governo. Stipula contratti collettivi nazionali per operai, impiegati, dirigenti agricoli oltre al Contratto Collettivo Nazionale di Lavoro per i dipendenti delle imprese del verde.

Fa parte del COPA - Comitato delle organizzazioni agricole europee, del GEOPA - Coordinamento europeo delle organizzazioni datoriali - e del CES - Comitato economico e sociale europeo.

ENERGREEN



Via Sabbioni, 16 - 36026 Pojana Maggiore (VI)
commerciale@energreen.it
www.energreen.it
+ 39 0444 1511200

Energreen produce macchine professionali che si differenziano per prestazioni, innovazioni tecnologiche, versatilità e sicurezza; esse sono concepite e realizzate totalmente all'interno dei nuovi stabilimenti Energreen, dotati di impianti a taglio laser e di moderni robot per la saldatura. Infine, per garantire la massima qualità possibile, eseguiamo test approfonditi su ogni nostro prodotto. Nella progettazione viene data una grande importanza al piacere e alla sicurezza sul lavoro, mettendo l'operatore in posizione comoda e sicura. Tutto ciò ha consentito di registrare numerosi brevetti a livello internazionale rendendo queste macchine uniche nel loro genere.

Il parco macchine Energreen comprende 4 divisioni: Robo, ILF Semoventi, Winter Division e Attrezzature Professionali. La gamma macchine comprende: 5 modelli di "Robo" macchine portattrezzi radiocomandate da pendenza, 5 modelli "ILF" Macchine Semoventi idrostatiche, dotati di braccio telescopico fino a 17 metri, tutti concepiti per lavorare nell'ambito della manutenzione del verde stradale, forestale, fiumi, argini, canali, ecc.

A completamento delle nostre macchine produciamo molteplici Attrezzature Professionali.

UNIVERSITY OF MARIBOR



Slomškovo trg 15, 2000 - Maribor, Slovenia
pr@um.si
www.um.si
+386 2 23 55 280

The initial laying stones for the University of Maribor (UM) date back to 1859. In time the university reached its current form becoming 1975 the second largest university in Slovenia. It now consists of 17 member faculties, with study programmes encompassing all current research and academic fields. Currently around twenty-five thousand students are studying at the UM. In Slovenia and abroad, UM is recognised as a university providing students with an excellent learning experience and producing top graduates. In 2017 the UM was ranked among the best global universities and earned the highest score among Slovene universities on Times Higher Education World University Rankings examining how universities fulfil their primary mission in different areas.



Iniziativa finanziata dal Programma di Sviluppo Rurale per il Veneto 2014-2020
Organismo responsabile dell'informazione: gruppo Operativo ROVITIS 4.0
Autorità di gestione: Regione del Veneto – Direzione AdG FEASR e Foreste



AZ. AGRICOLA
GIORGIO
PANTANO

