

DIGIVIT

Viticoltura Digitale in Toscana



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per la BioEconomia
Dipartimento di Scienze Bio Agroalimentari



Regione Toscana





Viticoltura Digitale in Toscana

Acronimo: **DIGIVIT**

Beneficiario coordinatore:

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per la BioEconomia (CNR-IBE)

Beneficiari partner diretti:

Marchesi Mazzei S.p.A. Agricola
Castello di Ama
Azienda Agricola Cennino
Sigma Ingegneria srl

Fonte di finanziamento:

Bando “Sostegno per l’attuazione dei Piani Strategici (PS) e la costituzione e gestione dei Gruppi Operativi (GO) del Partenariato Europeo per l’Innovazione in materia di produttività e sostenibilità dell’agricoltura” Annualità 2017 – PSR Toscana 2014/2020

Durata: Novembre 2019 - Ottobre 2022

Contatti: www.digivit.cnr.it

Alessandro Matese - alessandro.matese@cnr.it

Salvatore Filippo Di Gennaro - salvatorefilippo.digennaro@cnr.it

INDICE

- 01** Partners
- 02** Obiettivo
- 03** Problema
- 04** Soluzione
- 05** Innovazioni messe a punto
- 06** Metodologie
- 07** Prodotti e Risultati
- 08** Ricadute economiche e ambientali
- 09** Attività di trasferimento

Riassunto

Negli ultimi anni la ricerca scientifica nell'ambito della viticoltura di precisione ha fornito tecnologie sempre più performanti e all'avanguardia per il monitoraggio e l'attuazione sito-specifica in vigneto. Tuttavia l'impiego reale di queste tecniche tarda a diffondersi. Una delle cause è la natura eccessivamente specifica delle soluzioni proposte che tende ad allontanarsi dagli interessi concreti delle aziende, restando quindi scollegate dalla realtà operativa rimanendo solo degli esercizi di innovazione purtroppo sterili. DIGIVIT ha soddisfatto quelli che sono i veri interessi aziendali, venendo incontro alle criticità operative e trovando soluzioni che consentano il miglioramento dei processi produttivi in termini di tempi e soprattutto costi. Questa è l'unica direzione percorribile per una diffusione concreta e tangibile delle tecnologie di viticoltura di precisione.

Stima delle Produzioni

La previsione delle rese dell'uva è un'informazione importante per aiutare l'agronomo nelle scelte gestionali finalizzate a preservare l'equilibrio vegeto produttivo e ottimizzare la produzione. I dati produttivi forniscono un valido supporto alla gestione della logistica di vendemmia in termini sia in termini di raccolta in campo che trasformazione in cantina, come ad esempio la gestione degli spazi, la disponibilità di macchinari e di personale. Metodi tradizionali legati al campionamento in campo in cui vengono osservati il numero di grappoli per pianta e il peso medio del grappolo sono affiancati da modelli previsionali basati su una serie di fattori agro-climatici. La metodologia di osservazione in campo richiede lunghi tempi operativi, inoltre la scelta delle piante può fornire dati poco rappresentativi della reale variabilità del vigneto. In questo progetto sono stati sviluppati algoritmi di image processing basati su pattern recognition per il riconoscimento dei grappoli utilizzando immagini in estremo dettaglio acquisite da drone.

Stima della Qualità

La determinazione della data ottimale di vendemmia è il frutto di un monitoraggio periodico del vigneto in cui vengono effettuati dei campionamenti spazializzati di uve per la determinazione del livello evolutivo di alcuni parametri qualitativi. Nello specifico vengono campionati manualmente acini da alcuni grappoli scelti da un operatore, trasportati in laboratorio, conservati a basse temperature e sottoposti ad una serie di analisi per determinarne sia la maturazione tecnologica, legata al rapporto zuccheri/acidità, e la maturazione fenolica che riguarda la concentrazione delle sostanze fenoliche. Il processo richiede tempo e risorse, ed è inoltre sottoposto a decisioni soggettive dell'operatore nella scelta delle zone da campionare e degli acini all'interno dei grappoli. Il progetto ha fornito una soluzione che consente di ottimizzare il processo non solo riducendo costi e tempi operativi, ma validare una procedura oggettiva priva di potenziali errori dovuti alla soggettività decisionale in fase di campionamento. Attraverso l'applicazione di algoritmi di analisi dell'immagine è stato analizzato il profilo cromatico dei grappoli individuati da immagini acquisite da drone. E' stata messa a punto una procedura calibrata e validata per effettuare un monitoraggio rapido in zone rappresentative della variabilità interna al vigneto, basato su un approccio oggettivo che mantiene gli stessi criteri valutative non solo su alcuni acini ma su tutti i grappoli identificati all'interno della fascia fruttifera monitorata.

Abstract

In recent years, scientific research in the field of precision viticulture has provided increasingly performant and cutting-edge technologies for site-specific monitoring and implementation. However, the actual use of these techniques is slow to spread. One of the causes is the excessively specific nature of the proposed solutions that tend to move away from the concrete interests of the companies, thus remaining disconnected from the operational reality. This project solved these criticisms and found solutions that allow the improvement of production processes in terms of time and cost. This is the only way forward for the concrete and tangible dissemination of precision viticulture technologies.

Yield Estimation

The forecast of grape yields is an important tool to help the agronomist make the management choices aimed at preserving the productive balance and optimizing production. The production data provides valid support for the management of harvest logistics in terms both of harvesting in the field and transformation in the cellar, such as the management of spaces, the availability of machinery and personnel. Traditional methods related to field sampling in which the number of clusters per plant are observed and the average weight of the bunch is flanked by predictive models based on a series of agro-climatic factors. The field observation methodology requires long operating times. Furthermore, the choice of the plants can provide unrepresentative data of the real variability of the vineyard. In this project, image processing algorithms based on pattern recognition will be developed for cluster recognition using high resolution images acquired by drone. This task was to come up with a quick and easy way to get an early estimate of the yields that is representative of the vineyard's variation.

Quality Estimation

The determination of the optimal harvest date is the result of a periodic monitoring of the vineyard where grape samples are sampled to determine the level of some qualitative parameters. Specifically, they are sampled manually by some grapes selected by an operator, transported in the laboratory, stored at low temperatures and subjected to a series of analyses to determine both the technological maturation, linked to the sugar/acidity ratio, and the phenolic ripening, which concerns the concentration of phenolic substances. The process requires time and resources and is also subjected to subjective decisions by the operator in the selection of the areas to be sampled and the grapes within the bunches. The project identified a solution that allows us to optimize the process, not only reducing costs and operating times but also validating an objective procedure. A calibrated and validated procedure has been developed to perform rapid monitoring in areas representative of the variability within the vineyard, based on an objective approach that maintains the same assessment criteria not only on some grapes but on all the clusters identified within the monitored fruiting band.

PARTNERS

01



Alessandro Matese - Salvatore Filippo Di Gennaro



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per la BioEconomia



Gionata Pulignani



Filippo Vigni



Matteo Tonghini



Simone Giusti



OBIETTIVO

L'obiettivo del progetto è stato lo sviluppo di uno strumento operativo utilizzabile dalle aziende vitivinicole per la stima precoce delle produzioni e della qualità. Tra le criticità aziendali nel contesto viticolo Toscano, il progetto interviene sulla previsione delle rese e qualità attraverso l'analisi delle immagini ad altissima risoluzione telerilevate da drone, finalizzata al riconoscimento dei singoli grappoli. Il progetto mira a trasferire innovazione all'interno delle aziende vitivinicole toscane per migliorare il processo di valutazione delle produzioni in campo, sostituendo le metodologie tradizionali distruttive e time-consuming con un approccio rapido e oggettivo. Per la stima delle produzioni, la metodologia di osservazione in campo richiede lunghi tempi operativi e, inoltre la scelta della pianta e dei grappoli da campionare è soggettiva e spesso non rappresentativa della variabilità del vigneto. Inoltre, per la stima della maturazione fenolica sono necessarie analisi di laboratorio. In questo progetto si propone di sostituire l'intervento umano all'interno dei filari, con un monitoraggio effettuato da drone. Le immagini ad altissimo dettaglio acquisite con uno specifico piano di volo permetteranno di caratterizzare la fascia fruttifera. Tali immagini saranno processate con algoritmi di riconoscimento con l'obiettivo di discriminare i grappoli, contarli e dimensionarli, e stimarne il livello di invaiatura in base a una curva cromatica calibrata. La validazione di questa metodologia nelle condizioni del territorio vitivinicolo toscano, ha consentito la messa a punto di un protocollo di misura semplice e rapido per la stima quantitativa e qualitativa della produzione nel rispetto della variabilità del vigneto.





IL PROBLEMA

03



Fabbisogno di innovazione

L'innovazione tecnologica ha reso la viticoltura un settore strategico e volano economico nel piano di sviluppo rurale toscano, incrementandone la sostenibilità dal punto di vista ambientale e dal punto di vista economico e allo stesso tempo ottimizzando il processo produttivo. Una delle criticità delle aziende è il controllo della produzione e soprattutto la necessità di avere informazioni rapide delle potenzialità produttive dei vigneti, così da intervenire tempestivamente con interventi agronomici in campo e organizzare al meglio le fasi successive quali vendemmia. Nello specifico informazioni come la stima della produzione e la valutazione del periodo ottimale di vendemmia giocano un ruolo chiave nella pianificazione e gestione della fase conclusiva del lavoro svolto in campo durante la stagione. Si tratta di operazioni onerose in termini solo economici di ore/uomo per effettuare i campionamenti. Il contesto vitivinicolo toscano ha eccellenti potenzialità produttive e invidiabili note territoriali grazie alla variabilità del territorio, che si riflette in una ampia eterogeneità interna a ciascuna vigneto. Il campionamento tradizionale rischia spesso di non essere rappresentativo della variabilità e estremamente a rischio di errore interpretativo data la soggettività delle osservazioni in campo. Il metodo proposto in questo progetto è stato in grado di applicare tecnologie e metodologie innovative per fornire una quantificazione oggettiva specifica per ciascun vigneto della potenzialità produttiva in termini di resa e informazioni sulla maturità delle uve. La validazione e il trasferimento alle realtà operative di questa metodologia fornirà alle aziende uno strumento efficace e soprattutto semplice per tutelare ed ottimizzare le potenzialità produttive dei propri vigneti.

Droni in viticoltura di precisione e algoritmi di Intelligenza artificiale



Sono stati utilizzati droni o piattaforme UAV (Unmanned Aerial Vehicle), costituiti da un multirottore equipaggiato con sensori ottici ad alta risoluzione in grado di caratterizzare la variabilità interna al vigneto (camera multispettrale), individuare zone rappresentative della variabilità e in tali zone acquisire immagini visibili (camera RGB) in alto dettaglio della fascia fruttifera. Le immagini sono state analizzate con software che applicano algoritmi di riconoscimento che consentono di individuare i grappoli nella vegetazione, contarli e dimensionarli (analisi quantitativa) e caratterizzarne il profilo cromatico (analisi qualitativa).

Informazioni fruibili per le aziende



Queste informazioni consentono di stabilire nelle diverse aree del vigneto sia la produzione in termini di kg/pianta e quindi q.li/ha in funzione della variabilità presente, e valutare il grado di invaiatura per indicare informazioni necessarie alla stima della maturità delle uve e quindi alla data ottimale di vendemmia. Gli output del sistema sono mappe di prescrizione legate alla resa e alla qualità delle uve, fornite da uno strumento user-friendly al fine di poter essere realmente utilizzabile e compatibile con il livello informativo medio delle realtà produttive toscane, che altrimenti resterebbe uno strumento sterile e lontano dalle capacità effettive delle aziende

Drone EFESTO con camera RGB

Alla flotta di APR progettati in Sigma Ingegneria appartengono tre droni della serie Efesto. La struttura di questi esacotteri ha una concezione aeronautica, con bracci realizzati in lega leggera di alluminio e la cui forma riprende quella della struttura di un cassone alare. Tale caratteristica garantisce ottime performance in termini di resistenza strutturale, leggerezza e manutenibilità. Supporti e cover sono stati realizzati mediante stampa 3D a filamento caricato con fibra corta di carbonio, utilizzando le stampanti MarkForged di Sigma Ingegneria, centri di lavoro capaci di produrre pezzi strutturali e con ottima finitura superficiale; tali parti sono facilmente sostituibili in caso di danneggiamento o di necessità di integrazione di nuovi componenti.

La prima versione di Efesto nasce da una collaborazione con CNR-Ibimet, per lo sviluppo di un APR capace di svolgere campagne di acquisizione dati nell'ambito dell'agricoltura di precisione. L'installazione di sensori performanti ed abbondantemente collaudati dal centro di ricerca, unitamente ad una piattaforma di volo stabile e di facile approntamento hanno dato vita ad un sistema capace di individuare nel dettaglio lo stato di una coltura.

Efesto ha partecipato nel 2017 alla gara internazionale di robotica MBZIRC ad Abu Dhabi, per la quale Sigma Ingegneria ha collaborato con la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, qualificandosi alla fase finale tra più di 300 iscritti e classificandosi nona nella graduatoria finale.

La differenza principale fra i droni Efesto di Sigma Ingegneria risiede nel Flight Controller (FC) installato a bordo. Una caratteristica di interesse per la scelta del FC di bordo riguarda, infatti, la possibilità di accedere alla struttura hardware/software della scheda, per poter ad esempio modificare secondo le proprie esigenze il software di controllo dell'APR, nonché la sua struttura elettro-meccanica. Per queste ragioni, mentre nei primi due modelli di Efesto sviluppati è stata adottata una soluzione "closed", per il progetto DigiViT è prevista, invece, l'installazione del FC open source appartenente alla famiglia Pixhawk, che si è rivelata essere una soluzione altrettanto performante oltre che completamente accessibile al progettista.



Figura 1.1: Rendering drone Efešto

Il drone Efešto, con una massa di circa 4.5 kg, si compone dei seguenti dispositivi:

- Telaio in lega di alluminio
- Carrello di atterraggio: atto a sostenere i carichi inerziali durante la fase di atterraggio, è costituito da tubolari in fibra di carbonio con supporti realizzati in stampa 3D sinterizzata e connessi direttamente al telaio
- 6 motori brushless “T-Motor MN4012-9 KV480” (KV è la costante di giri, indica i giri al minuto, ovvero gli “rpm”, del motore per volt di alimentazione)
- 6 eliche da 12” x 3.8”
- Batteria LiPO 6S, 10000 mAh
- Ricevente “Futaba R3008SB” a bordo drone (con radiocomando RC “Futaba T6K” per controllo remoto, da terra)
- FC “Pixhawk 4” con antenna GPS “ublox Neo-M8N” e PMU dedicata (Power Management Unit, modulo per l’alimentazione dell’elettronica di controllo a bordo drone e per il monitoraggio della tensione di batteria/corrente assorbita da parte della scheda FC; si interpone tra la batteria e la distribuzione della potenza)
- PDB (Power Distribution Board): scheda elettronica che riceve in ingresso l’alimentazione della batteria e distribuisce la potenza alle utenze di bordo, compresi gli ESC
- 6 schede ESC “HOBBYWING 40A, 2-6S LiPO No BEC” (Electronic Speed Controller, controller alimentati dalla PDB e connessi tramite un cavo tripolare ai motori: ne garantiscono il corretto funzionamento andando a regolare il numero di giri al minuto)
- 2 antenne per telemetria “Holybro V3 433 MHz”, di cui una a bordo drone e l’altra collegata al pc di terra (la c.d. Ground Control Station, GCS) per comunicazione remota



Figura 1.2: Drone Efesto sviluppato per il progetto DigiViT

Lo schema di distribuzione dell'alimentazione al drone, la cui fonte di energia è rappresentata da una batteria LiPo 6S, è riportata nella figura 1.3:

La PMU e la PDB sono responsabili della distribuzione di potenza a tutti i dispositivi di bordo (compresi gli ESC ed i motori), nel rispetto delle tensioni nominali di lavoro che li caratterizzano.

Lo schema di controllo del drone è invece illustrato in Figura 1.4. La Flight Controller Board (FCB) è il cuore di tutta la logica e di tutto il controllo delle operazioni per il drone: ad essa afferiscono la tensione di alimentazione proveniente dalla PMU, il segnale di posizionamento GPS del velivolo ed i comandi che il pilota invia da terra, da remoto tramite radiocomando. La FCB è altresì responsabile del controllo delle velocità di rotazione dei 6 motori di Efesto e, nell'architettura dei dispositivi di bordo, è il nodo principale nella trasmissione telemetrica di dati e informazioni riguardanti la missione in corso.

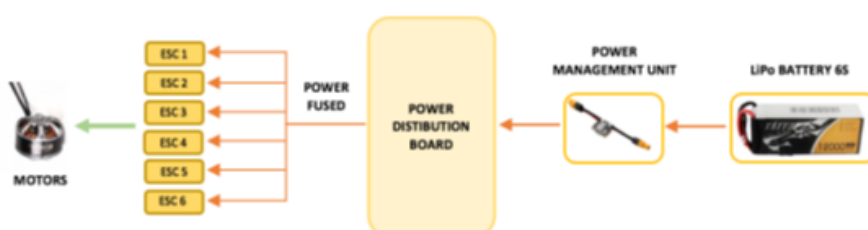


Figura 1.3: Layout elettrico per l'alimentazione delle utenze di bordo

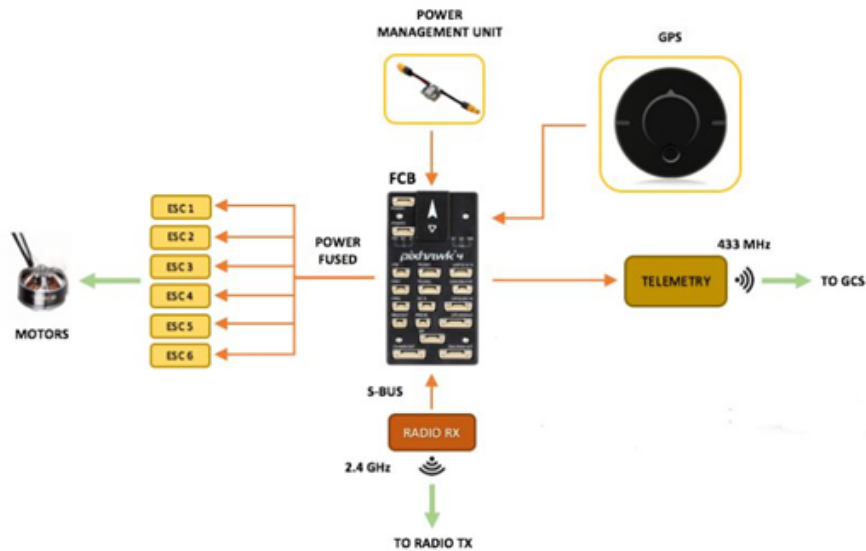


Figura 1.4: Schema di controllo dell'APR

Drone Helyx One

Il primo step ha visto l'approvvigionamento dei componenti commerciali elettronici e dei telai, realizzati mediante stampanti HP Jet Fusion in PA12, un materiale plastico ad alta resistenza, ma estremamente leggero.

Una volta disponibile il materiale per la costruzione del drone, è stata attuata la procedura di assemblaggio meccanico ed elettrico, con i punti di seguito elencati:

- A. Installazione del carrello d'atterraggio
- B. Preparazione dei cavi di alimentazione e di potenza dei motori su misura
- C. Installazione dei motori sul telaio.
- D. Installazione dell'ESC 4in1 sul telaio.
- E. Collegamento dei motori all'ESC.
- F. Installazione della Flight Controller Board sull'apposito supporto.
- G. Installazione della ricevente radio.
- H. Installazione del GPS sul telaio.
- I. Collegamenti di alimentazione e segnale per FCB, ricevente radio e GPS.
- J. Installazione delle eliche secondo il layout previsto per un quadricottero dal firmware di volo.

Per quanto riguarda il payload di Helyx-One:

- a. Montaggio del gimbal con motori e controller.
- b. Installazione del gimbal sotto al corpo del drone.
- c. Collegamenti di alimentazione e segnale del gimbal.
- d. Installazione della telecamera Mafir, del suo GPS e del trasmettitore video sul drone.

Una volta completato l'assemblaggio del drone, è stata effettuata dunque la configurazione della centralina di volo, installando il firmware PX4, calibrando i sensori di bordo (accelerometri, giroscopi e magnetometro), verificando i parametri di base e il funzionamento del radiocomando.

Per quanto riguarda Helyx-One, il drone di medie dimensioni, è stata attuata un'importante modifica tecnologica, sia nel layout che nella modalità di produzione. Mentre il modello Efesto era un esacottero realizzato in alluminio, il nuovo drone richiama le forme ed i materiali di Helyx appunto; quindi, è un quadricottero stampato in 3D. Anche in questo caso si tratta di una scelta importante, ma accuratamente studiata, data l'esperienza maturata con il progetto "Helyx": dovendo realizzare un drone da lavoro, operativo in ambito agricolo, la resistenza strutturale e la maneggevolezza risultano requisiti chiave per ottenere performance ottimali.

Helyx-One è quindi un drone progettato con tecniche di Generative Design, analogamente a Helyx, e stampato in 3D per ottenere un telaio monoscocca robusto, efficiente dal punto di vista aerodinamico e di dinamica del volo e leggero. Il telaio risultante mostrato nella precedente figura ha una forma ottimizzata con una stima delle prestazioni di alto livello, oltre ad essere esteticamente accattivante e adatta alla modularità, aspetto importante per gestire facilmente un cambio di payload.

La modifica di layout dei motori, da sei a quattro, è stata attuata grazie ad una rivalutazione delle prestazioni, in particolare dalla combinazione tra i rotori selezionati, il peso complessivo della configurazione e l'endurance desiderata, ottenendo dunque una configurazione più semplice ed economica.

Si riporta di seguito uno screenshot del progetto di Helyx-One, risultato finale del design di dettaglio basato sulla revisione della componentistica di bordo



Design finale di Helyx-One

Si conclude dunque con l'elenco dei componenti presenti a bordo di Helyx-One, ad esclusione del payload:

- Motori: T-Motor MN4010 KV475
- Eliche: APC 12x3.8"
- ESC: T-Motor, Mini F45A 6S 4in1
- Radio RX: FrSky Archer M+ OTA access - 16CH/24CH SBUS - 2.4GHz Receiver
- Flight Controller Board: Holybro Durandal
- GPS: Holybro M8N
- Batteria: Tattu 6S 10Ah

Come anticipato ad inizio capitolo lo scopo di Helyx-One è quello di eseguire un monitoraggio generale del vigneto, ad esempio eseguendone una fotogrammetria. Per assolvere a tale compito è stato scelto di equipaggiare il drone con una camera RGB ad alta risoluzione, in grado quindi di acquisire e memorizzare immagini, comandando uno scatto temporizzato o manuale da remoto.

La camera scelta è la Mapir Survey 3W, nella sua versione standard RGB[], studiata appositamente per l'uso su drone e dotata di numerose funzionalità ed interfacce. Di seguito le caratteristiche tecniche della camera.

Gli aspetti più rilevanti del sensore sono dunque:

- Scatto delle foto con PWM esterno.
- Scatto delle foto con intervallo di temporizzazione.
- GPS esterno disponibile per georiferire le foto.
- Uscita Video analogico.
- Uscita HDMI.
- WiFi integrata.

Data l'elevata mobilità del drone ed i suoi frequenti cambi di assetto, è fondamentale installare la telecamera su un sistema di stabilizzazione, detto gimbal, in questo caso a due assi, rollio e beccheggio.

Si tratta di un sistema elettro-meccanico che tende a tenere orizzontale la camera rispetto all'asse di rollio e ad un angolo prefissato, variabile da radiocomando, rispetto all'asse di beccheggio.

Il gimbal è stato disegnato da Sigma Ingegneria e stampato in 3D con stampanti Mark Forged a filamento, integrando i componenti di seguito elencati:

- Motore rollio.
- Motore beccheggio.
- Controller per gimbal.
- IMU per il controller.
- Camera con GPS.
- Trasmettitore video.

Image Resolution	12 MP (4000 x 3000 px)
Image Format	RAW+JPG
Video Resolution	2160p24 1440p30, 1080p60, 720p60
Video Format	MP4 (H.264 Codec)
Lens Option	FOV: 87°, Lens: 19 mm
Filter option	Visible Light (RGB): 375 nm – 650 nm
Ground Sample Distance	5.5 cm/px a 120 m AGL
GPS	u-blox NEO-M8
Remote Trigger	PWM via HDMI Port
Battery	Li-Ion 1200 mAh
Weight	76 g
Dimensions	59 x 41.5 x 36 mm
LCD	2" touch-screen

Caratteristiche tecniche della Mapir Survey 3W RGB



Gimbal di Helyx-One con Mapir

In merito ai componenti elettronici, sono stati selezionati dei motori T-Motor GB 36-1 ed il controller Basecam SimpleBGC V2.0. Per quanto riguarda il controller, si tratta di una scheda elettronica con microprocessore, configurabile da PC, interfacciabile con l'IMU inclusa nel pacchetto, e in grado di comandare gimbal fino a tre assi, effettuando apposite procedure di messa a punto dei diversi controlli digitali. In merito, infine, all'interfacciamento senza fili della telecamera con il pilota, essa, come anticipato, dispone di due uscite video, una digitale e una analogica e di connettività WiFi. Per Helyx-One è stato scelto di gestire la camera con Visualizzazione del video su schermo portatile mediante TX-RX video a 5.8GHz e visualizzazione del video e acquisizione di foto tramite comando manuale da app, mediante link WiFi.

Drone Helyx FPV - categoria inoffensivo

Helyx è un quadricottero progettato principalmente per applicazioni "racing" ma con possibili impieghi anche nel monitoraggio di ambienti, anche grazie alla possibilità di trasmettere immagini e video in tempo reale da bordo drone. Questo APR, attualmente operativo in Sigma Ingegneria, sarà completamente ri-definito per poterlo adattare ai necessari criteri di progettazione e alle finalità richieste dal progetto DigiViT.



Rendering drone Helyx – FPV (versione iniziale 2020)

Per questo drone, in particolare, è previsto un limite importante concernente la sua massa massima al decollo (Maximum Take-Off Mass, MTOM). Il nuovo regolamento ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile, l'ente regolatore italiano per l'aviazione civile), in ottemperanza alle norme comunitarie recentemente aggiornate, prevede la definizione di differenti categorie per classificare i veicoli APR, in particolare sulla base della definizione di "drone inoffensivo". Secondo questo criterio, attinente la potenziale pericolosità del velivolo nei confronti di persone, cose e ambiente circostante, esistono due categorie: la "C0" relativa a droni con massa inferiore a 250 g e la "C1" con limite fissato a 500 g. Un ulteriore vincolo riguarda, però, l'installazione di sensori di un qualsiasi tipo a bordo del velivolo: in tal caso, l'APR deve comunque essere catalogato nella classe "C1", indipendentemente dalla sua massa. In base a questi criteri ed alle necessità previste per DigiViT, si è scelto di optare per la realizzazione di un drone di massa non superiore a 500 g, permettendo comunque di contenere al proprio interno tutta la componentistica necessaria per le finalità del progetto.

Il primo step ha visto l'approvvigionamento dei componenti commerciali elettronici e dei telai, realizzati mediante stampanti HP Jet Fusion in PA12, un materiale plastico ad alta resistenza, ma estremamente leggero.

Una volta disponibile il materiale per la costruzione dei droni, è stata attuata la procedura di assemblaggio meccanico ed elettrico, con i punti di seguito elencati:

- Preparazione dei cavi di alimentazione e di potenza dei motori su misura.
- Installazione dei motori sul telaio.
- Installazione dell'ESC 4in1 sul telaio.
- Collegamento dei motori all'ESC.
- Installazione della Flight Controller Board sull'apposito supporto.
- Installazione della ricevente radio.
- Installazione del GPS sul telaio.
- Collegamenti di alimentazione e segnale per FCB, ricevente radio e GPS.
- Installazione delle eliche secondo il layout previsto per un quadricottero dal firmware di volo.

Per quanto riguarda il payload di Helyx-Zero

- a. Installazione meccanica del servo attuatore.
- b. Installazione meccanica della telecamera.
- c. Installazione meccanica della companion board.
- d. Collegamenti di alimentazione e segnale per servo attuatore, telecamera e companion board.

Una volta completato l'assemblaggio del drone, è stata effettuata dunque la configurazione della centralina di volo, installando il firmware PX4, calibrando i sensori di bordo (accelerometri, giroscopi e magnetometro), verificando i parametri di base e il funzionamento del radiocomando.

Si riporta prima di tutto uno screenshot del progetto di Helyx-Zero, comprensivo di payload descritto successivamente nel report, risultato finale del design di dettaglio basato sulla revisione della componentistica di bordo



Di seguito l'elenco dei componenti presenti a bordo di Helyx-Zero, ad esclusione di quanto concerne il payload:

- Motori: T-motor Velox V2306 V2 1950KV
- Eliche: HQ Durable Prop 6x3x3V1S
- ESC: T-MOTOR Velox V50A 4in1
- Radio RX: FrSky Archer M+ OTA access - 16CH/24CH SBUS - 2.4GHz Receiver
- Flight Controller Board: Mateksys H743-SLIM
- GPS: Holybro Nano M8 5883
- Batteria: 5 celle Sony Murata 3000mAh

Anche il payload di Helyx-Zero è strettamente connesso alla sua funzione, quella di scattare le foto delle piante selezionate per la stima quantitativa e qualitativa della produzione.

Il pilota deve, tramite telecamera, individuare le parcelle identificate da tag colorati, posizionare e orientare il drone opportunamente e acquisire le foto.

Per tale scopo è stata selezionata una camera IDS UI-3591LE, dotata della sola interfaccia USB e non di memoria a bordo ed elevata risoluzione, come dimostrato dalla seguente tabella.

Risoluzione	18MP (4912 x 3684)
Peso	15 g
Dimensioni	36 x 36 x 19.9 mm
Interfaccia	USB 3.0 type C

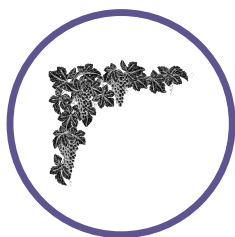


Camera IDS per Helyx-Zero



6a. Variabilità

Caratterizzazione della variabilità del vigneto



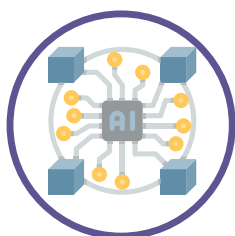
6b. Rese

Stima delle produzioni del vigneto



6c. Qualità

Stima della qualità delle produzioni



6d. Algoritmo DIGIVIT

Sviluppo dell'algoritmo di intelligenza artificiale



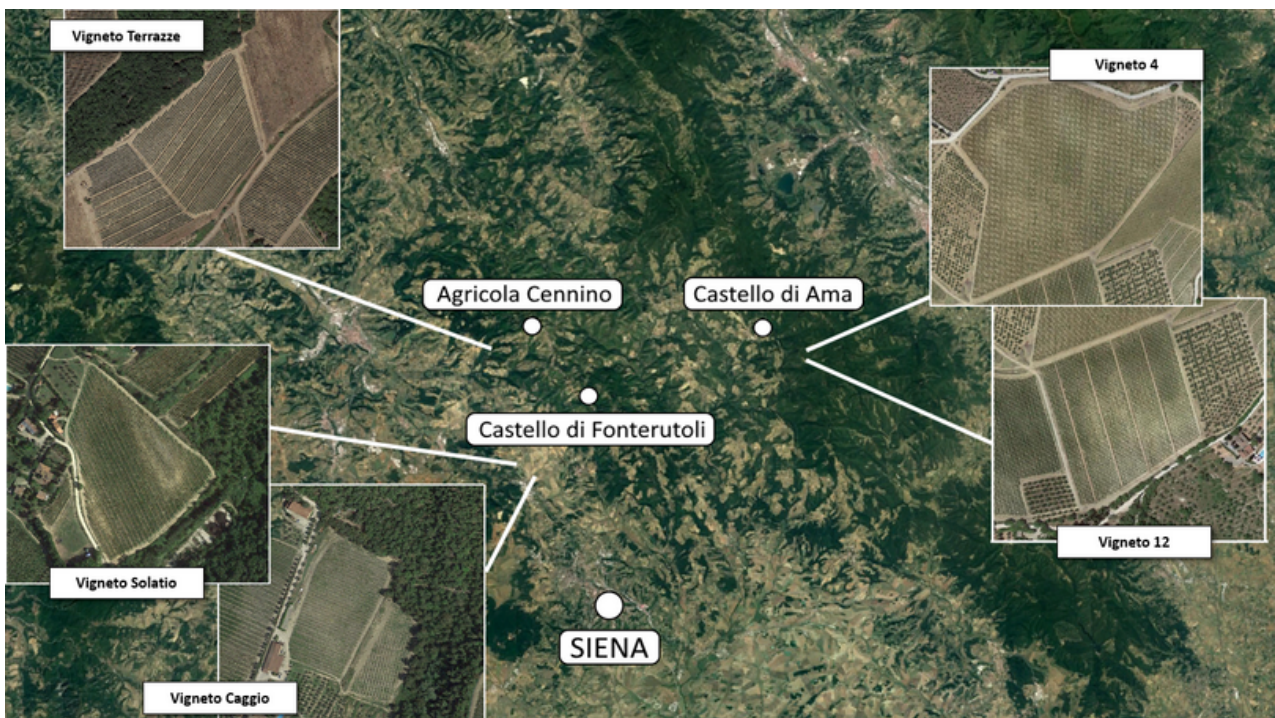
6e. Test tecnologie

Test delle tecnologie messe a punto

VARIABILITÀ

06a

Caratterizzazione della variabilità



Caratterizzazione della variabilità

A seguito di una serie di sopralluoghi per valutare il potenziale sito sperimentale per l'attività di monitoraggio in vigneto, è stato scelto il vigneto "Terrazze" situato all'interno del corpo aziendale in zona Castellina in Chianti ($43^{\circ}27'44.13''N$, $11^{\circ}16'55.81''E$). Si tratta di un vigneto con esposizione Sud-Est posto a 485m s.l.m. realizzato gestendo la pendenza con un sistema di terrazzamento.



Figura 2.1 Vigneto "Terrazze" identificato come sito sperimentale per l'attività del progetto DigiViT presso l'Azienda Agricola Cennino

La tabella 2.1 riporta le specifiche descrittive del vigneto identificato per l'attività sperimentale. La scelta del sito è stata effettuata combinando una serie di fattori chiave identificati per perseguire al meglio gli obiettivi del progetto. Nello specifico la cultivar selezionata come rappresentativa del territorio del Chianti Classico è il sangiovese, coltivato in condizioni tipiche del territorio di riferimento, ossia vigneti maturi (10-25 anni dalla data di impianto) caratterizzati da elevata variabilità spaziale in termini di vigore vegetativo, in pendenza, con terreno sciolto ricco di scheletro, gestiti con sistemi di allevamento a spalliera (cordone speronato o guyot) e alta densità di piante ad ettaro.

Tabella 2.1 Caratteristiche del vigneto sperimentale utilizzato nel progetto DigiViT

Azienda	Azienda Agricola Cennino
Vigneto	Terrazze Nuove
Estensione	2.0 ha
Orientamento filari	E-O
Anno di impianto	2010
Varietà	Sangiovese Clone AGRI 100

Portinnesto		1103P
Forma di allevamento	di	cordone speronato
Sesto di impianto		2.50 x 0.80
Pendenza		0% (terrazzamento)
Esposizione		S-E
Terreno		argillo-calcareo

All'interno del vigneto sono state identificate 4 parcelle sperimentali di cui 2 rappresentative di zone ad elevata attività vegetativa (alto vigore) e 2 di zone a bassa attività vegetativa (basso vigore). Ciascuna parcella ciascuna delle quali costituita da 2 campate consecutive, per un totale di circa 10-12 piante escludendo quelle non produttive o sintomatiche, è stata marcata con un codice su cartellino bianco fissato al fusto.



Figura 2.2 Parcella sperimentale situata all'interno del vigneto studio "Terrazze" presso Azienda Agricola Cennino.

I dipendenti dell'Az. Agricola Cennino incaricati su attività del progetto DIGIVIT hanno provveduto a dare supporto operativo in campo durante i rilievi da drone e alla gestione agronomica del vigneto e in particolare delle parcelle sperimentali, come ad esempio distribuzione di trattamenti per la difesa, gestione della chioma con cimature e sfogliature manuali, campionamenti e analisi della produzione e della biomassa.

Caratterizzazione della variabilità del vigneto in termini di fase fenologica

Il monitoraggio delle fasi fenologiche è stato svolto dall'azienda nel corso delle 3 stagioni 2020-2021-2022 attraverso un protocollo di sopralluoghi settimanali in cui sono stati registrati i principali passaggi dello sviluppo vegetativo della vite. Le

osservazioni svolte nel corso dei 3 anni hanno confermato un andamento della fenologia nel vigneto Terrazze omogeneo nonostante l'elevata eterogeneità presente in vigneto. I dettagli delle osservazioni fenologiche sono riportati in tabella 2.2.

Tabella 2.2 Report del monitoraggio della fenologia presso il vigneto studio "Terrazze" nel corso delle 3 stagioni vegetative monitorate nel progetto

VIGNETO	Anno	gemme cotonose	rottura delle gemme	1° foglia distesa	piena fioritura	inizio invaiatura	fine invaiatura	piena maturazione	vendemmia
Terrazze	2020	3-apr	10-apr	18-apr	27-mag	1-ago	2-set	26-set	29-set
Terrazze	2021	29-mar	6-apr	15-apr	28-mag	29-lug	29-ago	30-set	2-ott
Terrazze	2022	25-mar	3-apr	22-apr	20-mag	3-ago	24-ago	25-set	28-set

Caratterizzazione della variabilità del vigneto in termini di stato di salute delle piante

Nel corso delle stagioni 2020-2021-2022 il personale dell'azienda Agricola Cennino ha svolto a cadenza settimanale osservazioni sullo stato di salute delle piante nel vigneto studio. Le peculiarità della stagione non hanno comportato manifestazioni significative di sintomatologia su foglie e frutti, e non vi sono state le differenze spaziali rispetto all'eterogeneità presente in vigneto. Il protocollo di gestione agronomica per il controllo fitosanitario ha consentito una efficiente difesa del vigneto. I risultati ottenuti sono in linea con l'uniformità fenologica riscontrata sull'attività WP2.1.

Il monitoraggio dello stato di salute del vigneto studio e l'accurata gestione dei protocolli di difesa hanno consentito di garantire il corretto svolgimento della sperimentazione e preservare lo stato di salute dei grappoli delle parcelle campione, garantendone il monitoraggio e campionamento.

Caratterizzazione della variabilità del vigneto in termini di biomassa

Al termine di ciascuna annata vegetativa sono stati effettuati i campionamenti di biomassa in termini di peso fresco del legno di potatura all'interno delle parcelle sperimentali identificate come rappresentative della variabilità spaziale in termini di sviluppo vegetativo. Il protocollo di campionamento ha previsto la rimozione dell'intero apparato aereo di ciascuna pianta campione nelle 4 tesi attraverso un taglio sul 3° internodo così da preservare la 2° gemma utile per il germogliamento della stagione successiva. L'intervento di potatura dei tralci sviluppati in ciascuna stagione è stato effettuato nel mese di gennaio dell'anno

successivo così da anticipare il periodo di ripresa vegetativa della pianta. Per quanto riguarda la stagione vegetativa 2022, le tempistiche progettuali non hanno consentito di applicare il protocollo individuato quindi il legno di potatura verrà rimosso entro la fine dell'annata in fase di dormienza, ma al tempo di scrittura del report finale i risultati non sono ancora disponibili. I risultati dei tagli effettuati in campo sono stati riportati in tabella 2.3. L'azienda ha inoltre provveduto ad effettuare il monitoraggio della produzione fondamentale per il training e validazione della metodologia, e la corretta definizione dell'algoritmo ottimale di stima della produzione specifico per il sangiovese. Il giorno precedente alla data di vendemmia sono stati quindi rimossi e conteggiati i grappoli presenti su ciascuna pianta campione, e successivamente si è provveduto alla misura della produzione per pianta utilizzando una bilancia da campo. Considerando che il legno di potatura è la misura di riferimento per la caratterizzazione dell'attività vegetativa della vite, le misure distruttive di biomassa sono state fondamentali per validare la corretta classificazione in zone a basso e alto vigore alla base del disegno sperimentale. Per quanto riguarda le misure distruttive di produzione effettuate in campo da operatore attraverso il metodo tradizionale, si tratta di una attività aggiuntiva rispetto alla programmazione definita in progetto. Tuttavia, si è ritenuto utile ampliare il dataset inserendo questa ulteriore attività nel WP2 per migliorare le performance della metodologia di stima dei parametri produttivi da drone.

Tabella 2.3 Report dell'attività di mappatura della variabilità di caratteristiche produttive e del quantitativo di attività vegetativa in termini di biomassa di chioma prodotta

Anno	Parcella	VIGORE	numero grappoli	Produzione pianta (kg)	Legno Potatura (kg)
2020	3_1	ALTO	7.56	2.84	0.75
	3_2	ALTO	5.11	2.70	1.01
	3_3	BASSO	7.11	1.38	0.38
	3_4	BASSO	7.56	1.35	0.36
2021	3_1	ALTO	11.22	3.89	0.69
	3_2	ALTO	6.33	1.71	0.78
	3_3	BASSO	10.22	1.55	0.31
	3_4	BASSO	7.89	1.49	0.68
2022	3_1	ALTO	11.78	2.29	
	3_2	ALTO	10.22	1.84	
	3_3	BASSO	8.00	0.46	
	3_4	BASSO	8.00	0.55	

Come dataset aggiuntivo, l'azienda leader del WP2 ha svolto campionamenti per caratterizzare la maturità tecnologica media per le parcelle studio. In tabella successiva sono riportati i risultati delle analisi di laboratorio svolte nelle annate 2020 e 2022. I risultati confermano il forte legame tra sviluppo vegetativo e

biomassa ben distinto tra le parcelle ad alto e basso vigore, e le caratteristiche qualitative delle uve, in particolare si conferma la regressione inversa tra attività vegetativa e maturazione, definiti da biomassa e accumulo zuccherino nella bacca.

Tabella 3.3 Report dei campionamenti a vendemmia su maturità tecnologica nelle 4 parcelle studio

Anno	vigneto	vigore	Parcella	Grado Zuccherino	Acidità Totale	pH	Acido Malico	APA	Alcool Potenziale
2020	Terrazze	H	3_1	239.2	6.5	3.3	0.8	155.0	14.3
	Terrazze	H	3_2	209.7	7.1	3.2	0.7	170.0	12.6
	Terrazze	L	3_3	261.5	6.6	3.3	0.7	77.0	15.7
	Terrazze	L	3_4	249.5	7.2	3.3	0.6	97.0	15.0
2022	Terrazze	H	3_1	237.6	6.6	3.2	0.4	91.0	14.3
	Terrazze	H	3_2	240.2	6.6	3.2	0.7	99.0	14.4
	Terrazze	L	3_3	276.6	5.8	3.3	0.3	50.0	16.6
	Terrazze	L	3_4	274.5	5.8	3.3	0.3	37.0	16.5



Stima delle produzioni



Stima delle produzioni

A seguito di una serie di sopralluoghi per valutare i potenziali siti sperimentali per l'attività di monitoraggio in vigneto, sono stati scelti 2 vigneti studio. Il primo denominato "Caggio Cantina" situato all'interno del corpo aziendale a Fonterutoli in zona Castellina in Chianti ($43^{\circ}25'45.06''N$, $11^{\circ}17'18.01''E$) (Fig. 3.1). Si tratta di un vigneto con esposizione Est posto a 348m s.l.m. con orientamento filari NE-SO. Il secondo vigneto denominato "Solatio" in posizione prossimale al primo ($43^{\circ}25'40.29''N$, $11^{\circ}16'31.77''E$) posto a 316m s.l.m., presenta invece esposizione Sud-Est e orientamento filari NE-SO (Tab. 3.1).



Figura 3.1 Vigneti sperimentali Caggio Cantina e Solatio presso Castello di Fonterutoli Marchesi Mazzei

Tabella 3.1 Caratteristiche dei vigneti sperimentali utilizzati nel progetto DigiViT

Azienda	Castello di Fonterutoli	Castello di Fonterutoli
Vigneto	Caggio Cantina	Solatio
Estensione	1.2 ha	2.5 ha
Orientamento filari	NW-SE	NW-SE
Anno di impianto	2008	1999
Varietà	Sangiovese	Sangiovese
Portinnesto	420A	110R
Forma di allevamento	cordone speronato	cordone speronato
Sesto di impianto	2.20 x 0.75	3.00 x 0.90
Pendenza	8-9%	7-10%
Esposizione	S-E	SUD
Terreno	argillo-calcareo	argillo-calcareo

L'azienda ha provveduto ad identificare e marcare le 4 parcelle sperimentali all'interno di ogni vigneto sperimentale, di cui 2 situate in zone a basso vigore vegetativo e 2 ad alto vigore vegetativo. Successivamente sono state cartellate 12 piante campione presenti all'interno di ciascuna parcella (figura 3.2).



Figura 3.2 Parcella sperimentale situata all'interno del vigneto studio "Caggio Cantina" (sopra) e "Solatio" (sotto) presso Castello di Fonterutoli

Implementazione di un protocollo per il monitoraggio della produzione

Il monitoraggio delle fasi fenologiche è stato svolto dall'azienda nel corso delle 3 stagioni 2020-2021-2022 attraverso un protocollo di sopralluoghi settimanali in cui sono stati registrati i principali passaggi dello sviluppo vegetativo della vite. Le osservazioni svolte nel corso dei 3 anni hanno confermato un andamento della fenologia nel vigneto Caggio omogeneo nonostante l'elevata eterogeneità presente in vigneto. I dettagli delle osservazioni fenologiche sono riportati in tabella 3.2.

Tabella 3.2 Report del monitoraggio della fenologia presso il vigneto studio Caggio nel corso delle 3 stagioni vegetative monitorate nel progetto

Anno	gemme cotonose	rottura delle gemme	1° foglia distesa	piena fioritura	inizio invaiaura	fine invaiaura	piena maturazione	vendemmia
2020	19-mar	6-apr	18-apr	11-mag	5-ago	21-ago	18-set	24-set
2021	25-mar	26-apr	5-mag	14-mag	11-ago	27-ago	25-set	29-set
2022	20-mar	10-apr	12-apr	26-mag	25-lug	10-ago	9-set	15-set

L'attività progettuale svolta dal partner all'interno del WP3.1 è stata finalizzata all'identificazione di un protocollo operativo per effettuare il monitoraggio della produzione in vigneto. Si tratta un passaggio fondamentale per il training e la validazione del modello predittivo delle rese. Sono stati quindi definiti 4 periodi in cui sono stati effettuate le osservazioni sulla produzione: inizio invaiatura, completa invaiatura, maturazione e vendemmia. In tali periodi un operatore ha provveduto a registrare il numero di grappoli presenti su tralci principali di ciascuna delle piante campione, con l'obiettivo di identificare eventuali perdite produttive dovute a fattori esterni, come ad esempio danni da ungulati, problematiche fitosanitarie o disseccamenti da stress termici/radiativi (sunburn). In questa fase sperimentale, è stato infatti importante garantire un corretto training del modello predittivo, registrando il numero reale di grappoli presenti al momento delle acquisizioni di immagini RGB della fascia fruttifera (volo 1 e volo 2). La tabella 3.3 riporta in dettaglio le tempistiche del protocollo di monitoraggio utilizzato.

Tabella 3.3 Dettaglio del timing del protocollo di monitoraggio della produzione

Monitoraggio	Fase fenologica	task
1	Inizio invaiaura	Definizione del disegno sperimentale e cartellinatura delle piante campione nelle 4 parcelle
2	Completa invaiaura	Registrazione del carico di grappoli per la validazione del modello applicato alle immagini acquisite da drone in tale periodo (volo 1)
3	maturazione	Registrazione del carico di grappoli per la validazione del modello applicato alle immagini acquisite da drone in tale periodo (volo 2)
4	vendemmia	Campionamento distruttivo

Il vigneto Solatio oggetto di monitoraggio nel corso del primo anno di progetto è stato rimosso dalla sperimentazione in quanto al termine del secondo anno di attività sperimentale, le uve presenti nelle parcelle campione sono state parzialmente compromesse da ungulati che sono riusciti a superare le recinzioni poste dall'azienda. Persa quindi la continuità di studio su questo vigneto, si è deciso di approfondire lo studio su Caggio. In questa direzione, il partner in carico del WP3 ha svolto una serie di campionamenti definiti "campionamenti extra", spazializzati all'interno del vigneto e centrati su pixel mappati dalla piattaforma satellitare Sentinel2, al fine di approfondire la caratterizzazione dei livelli produttivi (resa e zuccheri) e vegetativi (legno di potatura). Nello specifico sono state identificate 32 piante campione posizionate secondo la mappa multispettrale in figura 3.3.

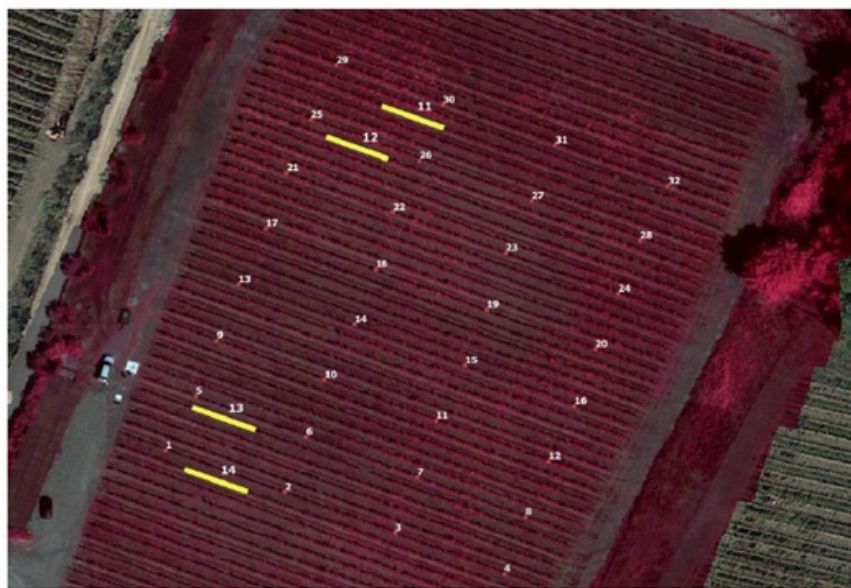


Figure 3.3 Mappa multispettrale con la posizione del campionamento "extra" relativo a 32 piante spazializzate all'interno del vigneto Caggio.

L'analisi di questo dataset aggiuntivo è in fase di elaborazione, e sarà impiegata per presentare un contributo al convegno europeo di riferimento internazionale sul tema dell'Agricoltura di Precisione ECPA 2023 che avrà luogo a Bologna. I campionamenti extra sono stati affiancati da monitoraggi da drone dell'intero vigneto con ampia gamma di sensori (RGB, multispettrale, termico e iperspettrale), al fine di creare un dataset scientifico utile per indagare quale sensore ha presentato le migliori performance per stimare parametri di interesse agronomico. Interessanti i dati di un'analisi preliminare, in cui nelle 2 annate si riporta graficamente in figura 3.4 la regressione dei valori di resa e zuccheri sui campionamenti fatti a vendemmia dall'azienda leader del WP3.

Al momento della fase 4 di monitoraggio, è stato conteggiato il numero finale dei grappoli presenti per pianta campione e successivamente sono stati rimossi per registrare il peso totale per pianta, utilizzando una bilancia da campo. La produzione per pianta è stata successivamente sigillata in buste plastiche separate contenenti il cartellino della pianta, e portate rapidamente in laboratorio di analisi. Per ogni pianta è stato preparato un campione ammostando acini selezionati dai grappoli presenti, infine ciascun campione di mosto è stato analizzato con strumento di analisi *OenoFoss Go* (FOSS Italia S.r.l.) per derivarne una serie di parametri qualitativi di interesse, tra cui: TSS, acidità totale, acidità volatile, acido malico, acido tartarico, pH, densità, APA.

Caratterizzazione della produzione delle diverse aree del vigneto

Il protocollo di campionamento messo a punto nel WP3.1 ha consentito di realizzare una caratterizzazione spaziale della produzione nelle diverse aree del vigneto (tabella 3.4). Per ciascuna pianta campione sono stati quindi misurate specifiche produttive e qualitative:

- numero di grappoli e peso totale di grappoli per pianta
- legno di potatura
- fattori chiave della maturità tecnologica delle uve: zuccheri (TSS), acido malico, acidità totale, densità, Alpha Amino e ammonia.

La mappatura in alto dettaglio del livello produttivo nelle diverse aree del vigneto ha consentito di estrapolare valori medi per zone di vigore, che sono serviti all'azienda nella gestione della vendemmia e nella preparazione delle vasche per la vinificazione.

Il campionamento del legno di potatura non è stato potuto effettuare per la stagione 2022 in quanto il protocollo di campionamento prevede un taglio in fase di "dormienza" (dicembre-gennaio) e quindi posteriore alla data di termine dell'attività progettuale.

Tabella 3.4 Mappatura della variabilità spaziale delle caratteristiche produttive e vegetative delle uve nelle diverse parcelle del vigneto

Anno	Parcella	VIGORE	numero grappoli	Produzione pianta (kg)	Legno Potatura (kg)	TSS	Acido Malico	Acidità Totale	Densità	Alpha Amino	Ammonia
2020	1_1	ALTO	7.58	1.76	0.43	24.20	0.91	5.86	1.10	91.67	109.09
	1_2	ALTO	6.92	1.51	0.40	24.19	1.00	5.47	1.10	97.01	116.33
	1_3	BASSO	4.50	0.60	0.20	28.50	0.28	4.14	1.12	93.73	96.99
	1_4	BASSO	6.17	0.87	0.31	25.30	0.33	5.10	1.11	122.66	116.93
2021	1_1	ALTO	6.17	2.17	0.39	24.12	1.02	5.48	1.10	86.63	87.24
	1_2	ALTO	8.89	1.91	0.25	23.12	0.62	5.76	1.10	77.90	79.11
	1_3	BASSO	6.00	0.65	0.09	27.02	0.02	5.19	1.12	89.13	89.38
	1_4	BASSO	5.83	0.33	0.12	24.97	0.46	6.16	1.11	80.52	91.22
2022	1_1	ALTO	8.22	2.19		25.17	0.21	4.72	1.11	114.58	116.67
	1_2	ALTO	7.78	1.36		26.14	0.06	4.41	1.11	108.50	120.63
	1_3	BASSO	3.67	0.28		27.12	0.00	4.45	1.11	122.78	120.94
	1_4	BASSO	9.22	0.55		25.94	0.08	4.80	1.11	94.58	101.64

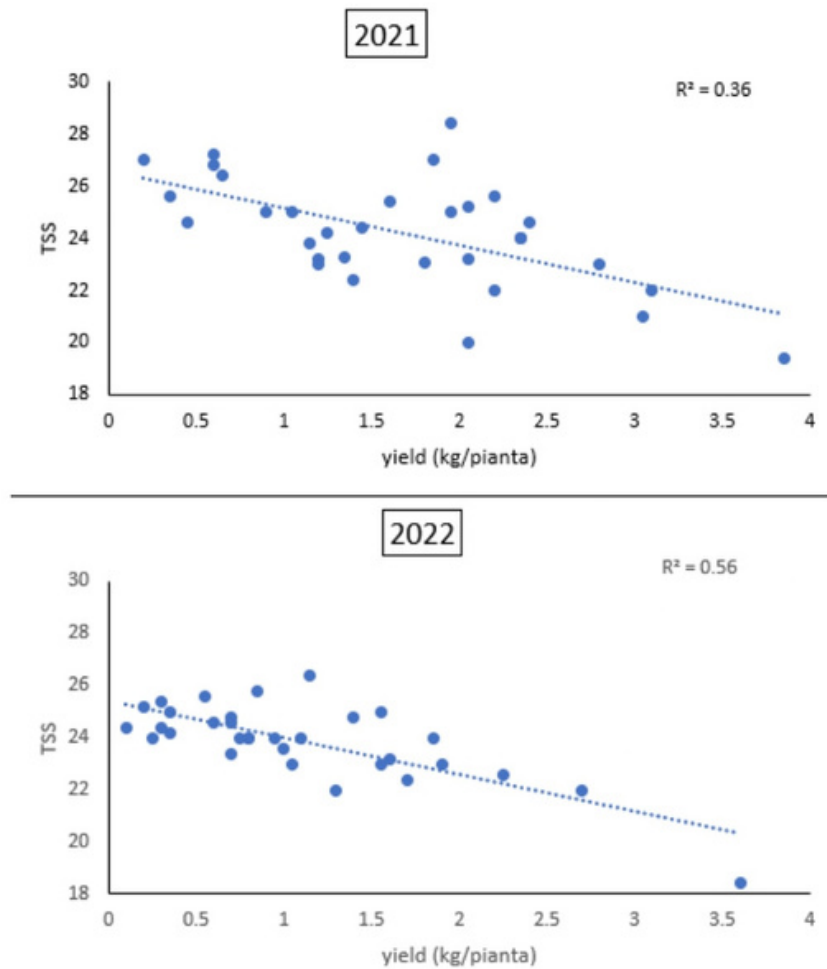


Figura 3.4 Analisi delle rese e del livello di maturazione tecnologica (TSS) a livello di intero vigneto su campionamento "extra"



Caratterizzazione della qualità



Stima della qualità

La scelta di 2 vigneti potenziali come siti sperimentali per l'attività di monitoraggio è stata effettuata a seguito di una serie di sopralluoghi. Sono stati scelti 2 vigneti studio. Il primo denominato "AMA4" situato all'interno del corpo aziendale a Gaiole in Chianti ($43^{\circ}26'24.91''N$, $11^{\circ}23'35.39''E$) (Fig. 4.1). Si tratta di un vigneto con esposizione Sud posto a 507m s.l.m. con orientamento filari N-S. Il secondo vigneto denominato "AMA12" adiacente al primo ($43^{\circ}26'17.95''N$, $11^{\circ}23'33.90''E$) 501m s.l.m., presenta invece esposizione Nord-Ovest e orientamento filari NO-SE. La tabella 4.1 riassume le specifiche dei vigneti studio identificati presso il partner Castello di Ama.

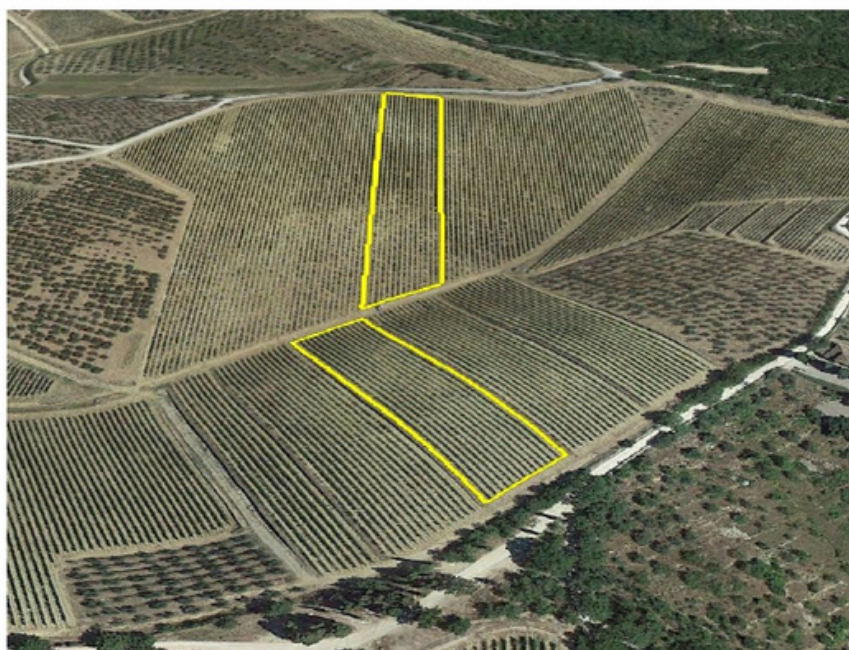


Figura 4.1 Vigneti sperimentali AMA4 (nord) e AMA12 (sud) presso Castello di Ama.

Tabella 4.1 Caratteristiche dei vigneti sperimentali utilizzati nel progetto DigiVIT

Azienda	Castello di Ama	Castello di Ama
Vigneto	n.4	n.12
Estensione	0.80 ha	0.62 ha
Orientamento filari	N-S	N-S
Anno di impianto	2009	2008
Varietà	Sangiovese clone Agri 45	Sangiovese clone BBS
Portinnesto	420 A	420 A
Forma di allevamento	guyot	guyot
Sesto di impianto	2.40 x 0.80	2.40 x 0.80
Pendenza	8-10%	8-10%
Esposizione	SUD	NORD
Terreno	argillo-calcareo	argillo-calcareo

L'azienda Castello di Ama seguendo le indicazioni fornite dall'analisi spaziale svolta da CNR IBE ha provveduto ad identificare e marcare le 4 parcelle sperimentali all'interno di ogni vigneto sperimentale, di cui 2 situate in zone a basso vigore vegetativo e 2 ad alto vigore vegetativo. Successivamente sono state cartellinate 12 piante campione presenti all'interno delle 2 campate consecutive di ciascuna parcella (Figura 4.2).



Figura 4.2 Parcella sperimentale situata all'interno del vigneto studio "n.12" (sopra) e "n.4" (sotto) presso Castello di Ama

Caratterizzazione delle maturità tecnologica e fenolica delle diverse aree del vigneto

Il monitoraggio delle fasi fenologiche è stato svolto dall'azienda nel corso delle 3 stagioni 2020-2021-2022 attraverso un protocollo di sopralluoghi settimanali in cui sono stati registrati i principali passaggi dello sviluppo vegetativo della vite. Le osservazioni svolte nel corso dei 3 anni hanno confermato un andamento della fenologia in ciascun vigneto omogeneo nonostante l'elevata eterogeneità presente. I due vigneti sono in linea temporale nelle principali fasi fenologiche, si riscontrano tuttavia lievi shift temporali nelle fasi finali di maturazione e vendemmia, come riportato in tabella 2.2.

Tabella 2.2 Report del monitoraggio della fenologia presso i vigneti studio AMA4 e AMA12 nel corso delle 3 stagioni vegetative monitorate nel progetto

	Anno	gemme cotonose	rottura delle gemme	1° foglia distesa	piena fioritura	inizio invaiatura	fine invaiatura	piena maturaz	raccolta
Ama_12	2020	20-mar	7-apr	14-apr	2-giu	28-lug	18-ago	8-set	28-set
Ama_12	2021	7-apr	21-apr	28-apr	9-giu	4-ago	24-ago	11-set	29-set
Ama_12	2022	6 apr	11 apr	19 apr	25 mag	19 lug	13 ago	28 ago	20 set
Ama_4	2020	20-mar	7-apr	14-apr	2-giu	28-lug	20-ago	10-set	1-ott
Ama_4	2021	7-apr	21-apr	28-apr	9-giu	4-ago	24-ago	9-set	28-set
Ama_4	2022	6-apr	11-apr	19-apr	25-mag	19-lug	15-ago	24-ago	24-set

La realizzazione del WP4.1 è stata condotta dal partner Castello di Ama nel corso della prima stagione produttiva del progetto DigiVIT, prendendo in considerazione 3 fasi critiche dell'evoluzione delle uve in vigneto. In primo luogo, al termine dell'invaiatura (inizio settembre) e a piena maturazione (metà settembre) sono stati campionati dei grappoli precedentemente monitorati da drone, con l'obiettivo di raccogliere le informazioni necessarie per calibrare la metodologia di stima dei parametri qualitativi attraverso analisi cromatica delle immagini RGB. I grappoli sono stati scelti come rappresentativi delle zone a basso e alto vigore vegetativo seguendo l'architettura del disegno sperimentale messo in atto nel vigneto n.12. Per ciascuna data di campionamento sono stati quindi estrapolati attraverso analisi distruttive tradizionali di laboratorio, i descrittori chiave per mappare le curve di maturità tecnologica e fenolica all'interno del vigneto (tabella 4.2). Il protocollo analitico ha seguito gli standard utilizzati presso il laboratorio certificato ISVEA srl (Poggibonsi, SI) cui tradizionalmente si rivolge l'azienda per il monitoraggio qualitativo della produzione.

L'analisi dei dati delle prime 2 stagioni ha fornito ottimi risultati già dal monitoraggio di inizio settembre, decisamente strategico in quanto realizzato 3-

4 settimane prima della vendemmia. Nella terza stagione, quindi, è stato realizzato il rilievo di interesse a fine invaiatura, concentrando i 12 campionamenti sul vigneto AMA12 al fine di ampliare il dettaglio analitico. Le parcelle del vigneto AMA4 hanno sofferto lo stress idrico della stagione 2022 aggravato dall'esposizione SUD del vigneto, per tale motivo non si è potuto campionare i grappoli parzialmente compromessi.

Tabella 4.2 Caratterizzazione della variabilità in campo attraverso la caratterizzazione delle curve di maturità fenolica realizzate nelle fasi fenologiche di invaiatura e maturazione nel corso delle stagioni 2020-2021-2022.

Anno	data	ID grappolo	Peso grappolo	Pot in Antociani - pH 1,0	Antociani estraibili - pH 3,2	Estraibilità degli antociani	Indice di Fenoli UV	Tannini dei vinaccioli	Peso Medio Acino	Rapporto Vinaccia/Succo
2020	20200903	4-2_1	844	681	316	53.6	34.4	63.2	2.19	63
	20200903	4-2_2	672	637	307	51.8	36.7	66.5	1.74	75
	20200903	4-2_3	194	735	378	48.6	38.8	61.1	1.34	78
	20200903	4-3_1	454	877	448	48.9	54.3	67	1.63	71
	20200903	4-3_2	237	1325	640	51.7	67.7	62.2	1.38	81
	20200903	4-3_3	355	616	274	55.5	38.8	71.7	2.09	68
	20200915	4-2_1	502	1121	517	53.9	42	50.9	1.94	76
	20200915	4-2_2	256	1094	513	53.1	44.7	54.1	1.53	83
	20200915	4-3_1	304	776	399	48.5	49.8	68	1.71	97
	20200915	4-3_2	274	1210	615	49.2	61.3	59.9	1.57	97
20200915	4-3_3	192	1316	576	56.2	60.2	61.7	1.44	87	
2021	20210902	5_2_1	399	979	513	47.6	59.4	65.5	1.51	75
	20210902	5_2_2	376	625	359	42.6	51.4	72.1	1.41	73
	20210902	5_2_3	456	451	258	42.9	47.9	78.5	1.5	72
	20210902	5_3_1	266	1184	517	56.3	53.7	61.5	1.75	62
	20210902	5_3_2	197	517	281	45.6	55.7	79.8	1.13	93
	20210902	5_3_3	109	1089	458	57.9	52.9	65.4	1.17	79
	20210915	5_2_4	408	1334	658	50.6	60	56.1	1.66	74
	20210915	5_2_5	457	1083	580	46.5	49	52.7	2.48	61
	20210915	5_2_6	487	1134	595	47.5	52.4	54.6	2.32	55
	20210915	5_3_4	216	1424	646	54.7	59.4	56.5	1.48	75
	20210915	5_3_5	318	1388	683	50.8	54.7	50.1	1.5	75
	20210915	5_3_6	283	1550	693	55.3	58.9	53	1.44	77
	20210915	5_3_6	283	1550	693	55.3	58.9	53	1.44	77
2022	20220907	5_1	148	1227	590	51.9	55.2	57.3	1.52	68
	20220907	5_10	119	1995	915	54.2	91.4	60	1.16	76
	20220907	5_11	120	1787	747	58.2	85.4	65	0.97	79
	20220907	5_12	67	1466	916	37.5	96.6	62.1	1.08	77
	20220907	5_2	268	1275	675	47	64.8	58.3	1.64	80
	20220907	5_3	247	1631	772	52.7	75.4	59	1.48	86
	20220907	5_4	99	1305	676	48.2	61	55.7	1.38	79
	20220907	5_5	471	1300	612	53	52.6	53.5	2.04	58
	20220907	5_6	248	1462	688	52.9	64.4	57.3	1.7	74
	20220907	5_7	59	1847	676	63.4	86.6	68.8	0.6	126
20220907	5_8	138	1690	842	50.2	91.4	63.1	1.04	82	
20220907	5_9	226	1616	755	53.3	88	65.7	1.11	81	

Infine, è stata monitorato il livello qualitativo delle uve come terza fase a vendemmia, realizzando un'analisi qualitativa media su tutte le parcelle, per fornire un ultimo punto informativo sulle dinamiche di maturità tecnologica e fenolica in funzione della variabilità spaziale presente nei vigneti sperimentali n.

4 e n. 12 (tabella 4.3). I protocolli analitici sono stati i medesime applicati sui precedenti campioni analizzati.

Tabella 4.3 Caratterizzazione della variabilità spaziale in termini di maturità tecnologica e fenolica nei vigneti sperimentali n.4 e n.12

anno	vigneto	vigore	TSS	Acidità Totale	pH	Acido Malico	APA	Potenziale in Antociani - pH 1,0	Antociani estraibili - pH 3,2	Estraibilità degli antociani	Indice di Fenoli UV	Tannini dei vinaccioli	Peso Medio Acino	Rapporto Vinaccia Succo
2020	V12	ALTO	198	7	3	2	106	883	431	51	44	56	2	68
	V12	BASSO	245	5	3	1	39	1517	708	53	76	63	1	81
	V4	ALTO	194	7	3	1	76	889	483	45	45	57	2	64
	V4	BASSO	233	7	3	0	27	1514	761	50	64	53	1	74
2021	V12	ALTO	220	8	3	1	85	1209	619	49	55	54	2	68
	V12	BASSO	222	7	3	1	22	1406	665	53	57	53	1	75
	V4	ALTO	228	9	3	1	55	1134	595	48	52	55	2	55
	V4	BASSO	238	7	3	1	17	1550	693	55	59	53	1	77
2022	V12	ALTO	253	6	3	0	63	1439	759	47	67	55	2	67
	V12	BASSO	282	5	3	0	74	1705	843	51	95	64	1	89

Una ulteriore attività svolta dal partner, è stata quella di fornire ulteriore supporto all'attività da progetto concentrata sul WP3 presso il Castello di Fonterutoli di Marchesi Mazzei, ossia quella finalizzata alla metodologia di stima del carico produttivo. In fase di pre-vendemmia, è stato quindi applicato il protocollo di osservazione e campionamento sviluppato all'interno del WP3.1, per realizzare una mappatura delle rese in termini di numero di grappoli per pianta e peso totale di uve per pianta, sulla base della variabilità spaziale in termini di attività vegetativa presente nei 2 vigneti sperimentali n.4 e n.12. Il dataset ottenuto dal monitoraggio produttivo è riassunto in tabella 4.4.

Tabella 4.4. Mappatura della variabilità spaziale delle caratteristiche produttive delle uve nelle diverse parcelle dei vigneti AMA4 (ID parcella 5) e AMA12 (ID parcella 4)

Anno	Parcella	VIGORE	numero grappoli	Produzion e pianta (kg)	Parcella	numero grappoli	Produzion e pianta (kg)
2020	4_1	ALTO	9.44	4.28	5_1	9.89	3.24
	4_2	ALTO	8.78	3.52	5_2	10.44	3.97
	4_3	BASSO	5.33	0.76	5_3	6.44	1.63
	4_4	BASSO	5.22	0.78	5_4	7.56	1.68
2021	4_1	ALTO	10.00	2.81	5_1	9.33	2.14
	4_2	ALTO	10.11	1.91	5_2	7.89	1.79
	4_3	BASSO	6.56	0.54	5_3	8.56	1.39
	4_4	BASSO	6.33	0.51	5_4	7.89	1.28
2022	4_1	ALTO	10.44	3.49	5_1		
	4_2	ALTO	9.22	1.83	5_2		
	4_3	BASSO	6.22	0.58	5_3		
	4_4	BASSO	4.78	0.35	5_4		

ALGORITMO DIGIVIT

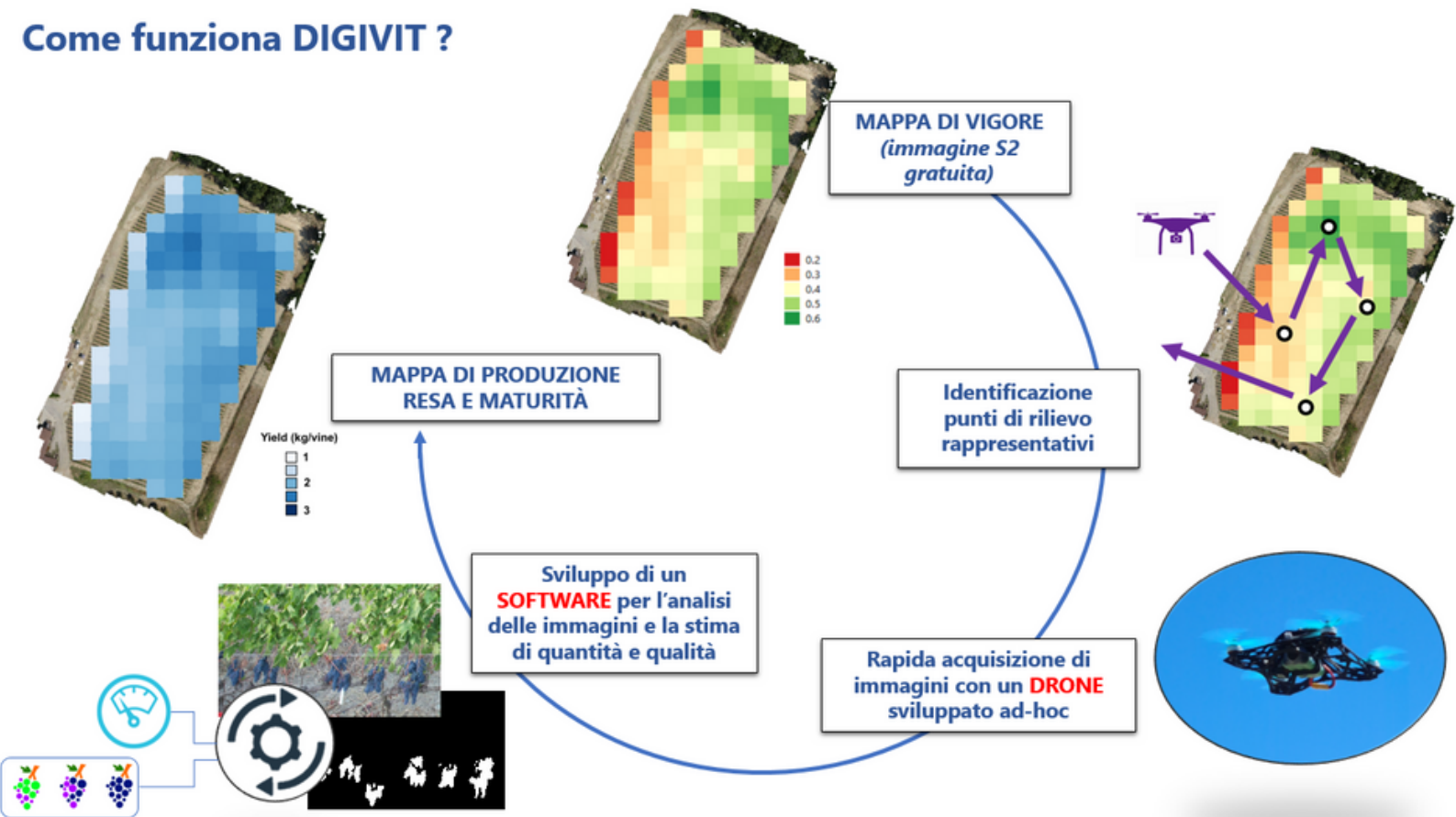
06c

Resa in kg/pianta

Contenuto di antociani



Come funziona DIGIVIT ?



Algoritmo

Workflow di download dell'immagine satellitare Sentinel 2

L'attività relativa al WP5.1 ha superato la fase esplorativa, in cui è stato analizzato il workflow operativo per lo scarico dei prodotti satellitari delle piattaforme Sentinel 2A e 2B dal portale <https://scihub.copernicus.eu/>. Accedendo al portale sono disponibili come open-data i prodotti satellitari ESA corretti radiometricamente acquisiti a frequenza settimanale su tutte le aree di interesse del progetto DigiViT. In parallelo, CNR-IBE ha sviluppato una piattaforma web-based chiamata Agrosat (www.agrosat.it) che concretizza come un sistema di supporto decisionale gratuito dotato di ampia gamma di funzionalità, tra cui la possibilità di consultare mappe di vigore NDVI satellitari Sentinel2 e accedere alla rete meteorologica regionale.



Open Data ed agricoltura digitale



Piattaforma web AGROSAT www.agrosat.it sviluppata da CNR IBE per la gestione dei dati satellitari Sentinel2 in supporto alla caratterizzazione della variabilità spaziale in termini di vigore

In particolare, a seguito dell'interesse del progetto DIGIVIT, la piattaforma è in fase di espansione per inserire anche la superficie vitata all'interno del database, nato nel 2017 per gestire esclusivamente colture orticole e seminativi. L'attività svolta da CNR-IBE si è focalizzata alla definizione del protocollo operativo che consente di elaborare mappe di vigore basate su indici vegetazionali, come ad esempio il diffuso Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) che utilizza la riflettanza nelle bande spettrali del rosso (banda 4 – RED) e del vicino infrarosso (banda 8 – NIR). In primo luogo è stato necessario uno step di validazione delle informazioni fornite dalla piattaforma satellitare gratuita Sentinel 2, poiché la vite a differenza delle colture cerealicole, in cui l'utilizzo di questo satellite per pratiche di agricoltura di precisione è ormai diffuso e consolidato, è una coltura discontinua (Figura 5.1), in cui i filari si alternano a zone di interfila parzialmente inerbito o suolo nudo, che si combinano nel dato spettrale per pixel del satellite, che

campiona la risposta spettrale con una finestra di 10 m x 10 m rispetto alla risoluzione centimetrica fornita da drone. Tuttavia, a differenza di questo, il satellite assicura un monitoraggio continuo e gratuito con notevoli potenzialità per le finalità del progetto. Si presenta a seguito il confronto tra un mosaico RGB relativo al vigneto Caggio Cantina di Castello di Fonterutoli acquisito da drone alla relativa mappa NDVI generata dalle immagini satellitare Sentinel 2. L'alto dettaglio fornito da drone evidenzia come in zone ravvicinate si possa trovare elevata eterogeneità, e all'interno della griglia satellitare diverse percentuali di suolo e chioma della vite.

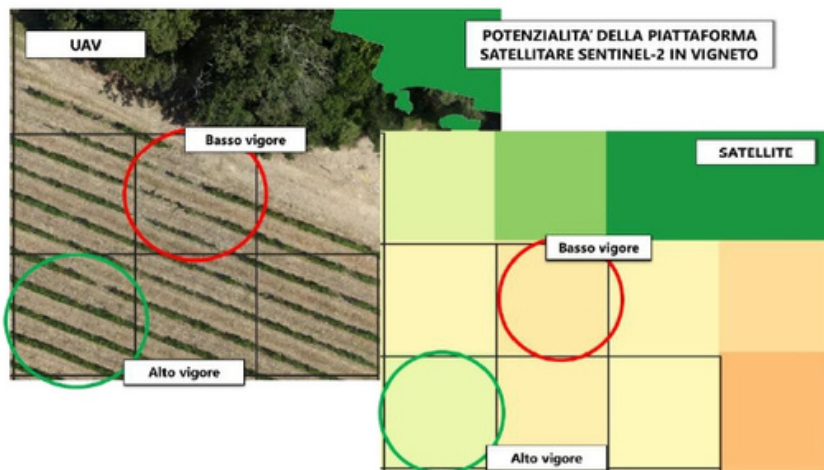


Figura 5.1 Analisi effettuata per la valutazione dell'accuratezza con cui immagini a risoluzione discreta (10m/pixel) possano essere utilizzate su una coltura discontinua come la vite.

L'ottenimento di mappe di vigore NDVI dei vigneti studio ha consentito di identificare in modo rapido ed oggettivo le zone rappresentative della variabilità spaziale in termini di sviluppo vegetativo, in cui dislocare i punti di campionamento per la metodologia che sarà sviluppata nel corso del progetto (WP5.2). La validazione del workflow operativo, e l'accuratezza delle elaborazioni di immagini satellitari gratuite per identificare correttamente le zone di campionamento è stata realizzata utilizzando mappe NDVI in altissima risoluzione spaziale acquisite da piattaforma UAV (Unmanned Aerial Vehicle) equipaggiata con sensore multispettrale (figura 5.2).

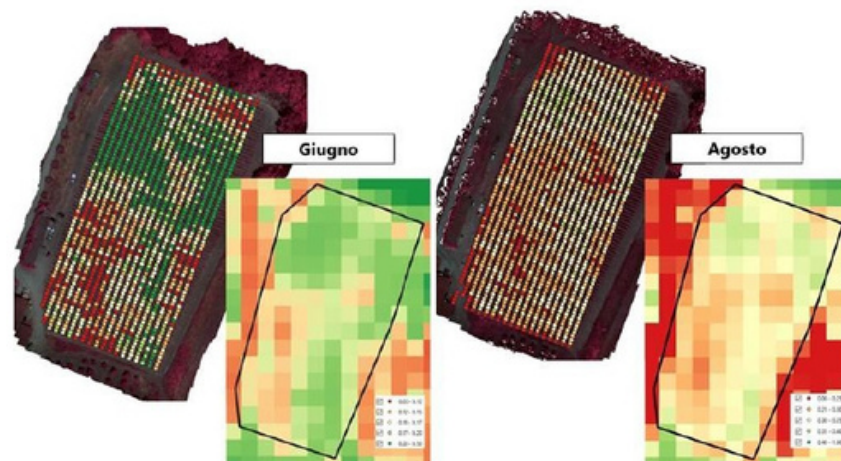


Figura 5.2 Elaborazione di mappe di vigore NDVI ottenute nel corso della stagione 2020 da drone presso il vigneto Caggio, utilizzate per il processo di validazione dell'accuratezza delle immagini satellitari delle piattaforme Sentinel 2 per la caratterizzazione della variabilità spaziale in vigneto.

Una volta dimostrata la validità di questo prodotto satellitare, si è proceduto a mettere a punto l'architettura di un workflow per identificare all'interno di una mappa NDVI satellitare zone ad alto e basso vigore vegetativo in cui focalizzare un'attività di monitoraggio per l'acquisizione di immagini RGB della fascia fruttifera per la caratterizzazione di parametri produttivi e qualitativi (figura 5.3).

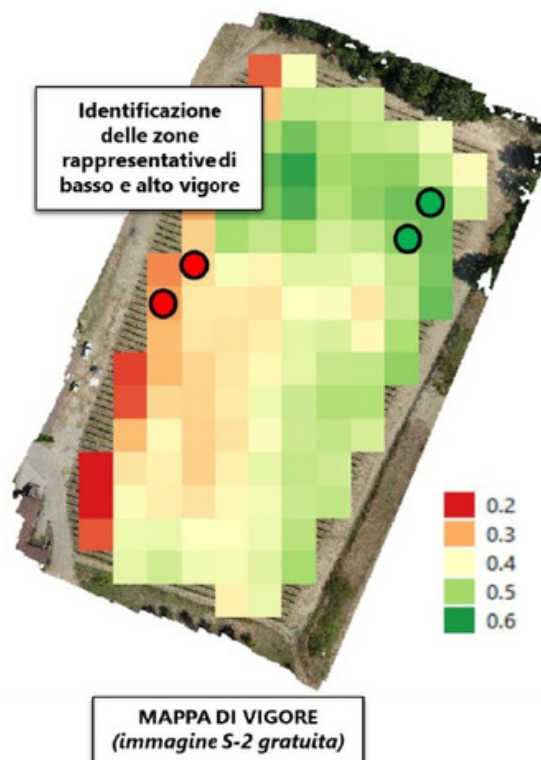
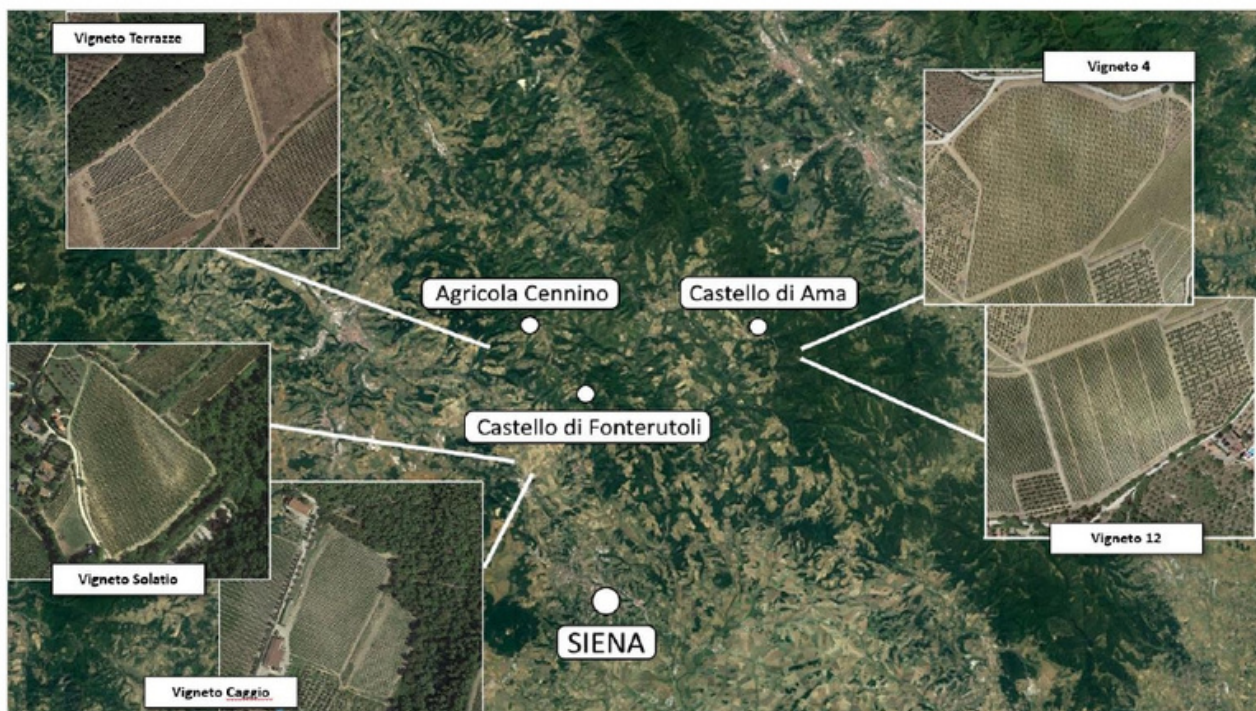


Figura 5.3 Sviluppo di un protocollo di elaborazione delle immagini satellitari per la definizione delle zone rappresentative della variabilità spaziale in termini di vigore su cui incentrare i rilievi per le acquisizioni di immagini RGB da drone sulla fascia fruttifera.

Nel corso della stagione 2020 sono state identificate le parcelle sperimentali all'interno di ciascun vigneto studio delle 3 aziende vitivinicole coinvolte nel partenariato. I dati satellitari utilizzati sono stati validati attraverso sorvoli da piattaforma drone pianificati nei medesimi giorni delle acquisizioni satellitari (figure 5.4, 5.5, 5.6).



Localizzazione dei vigneti studio inseriti nella sperimentazione DIGIVIT

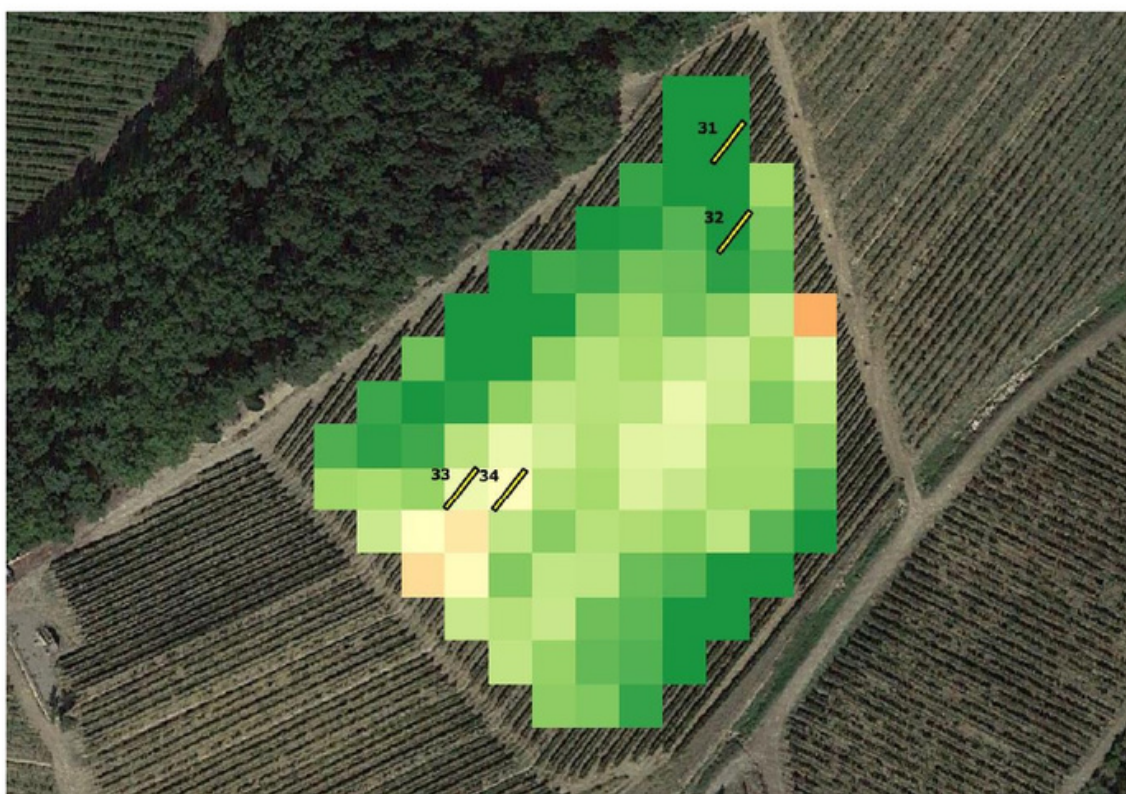


Figura 5.4 Identificazione delle 4 parcelle sperimentali presso Az. Agricola Cennino di cui 2 in alto e 2 in basso vigore vegetativo attraverso l'utilizzo delle mappe NDVI derivate da immagini satellitari della piattaforma Sentinel2.

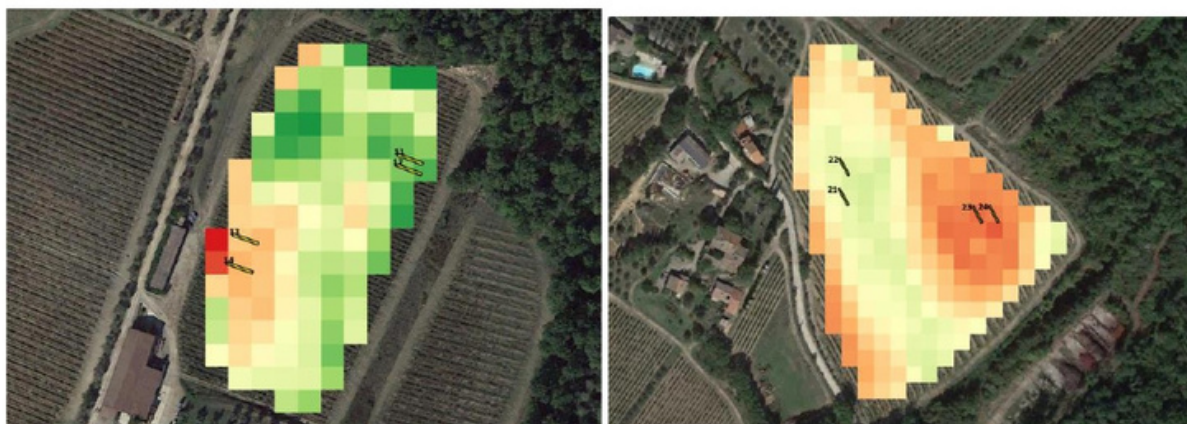
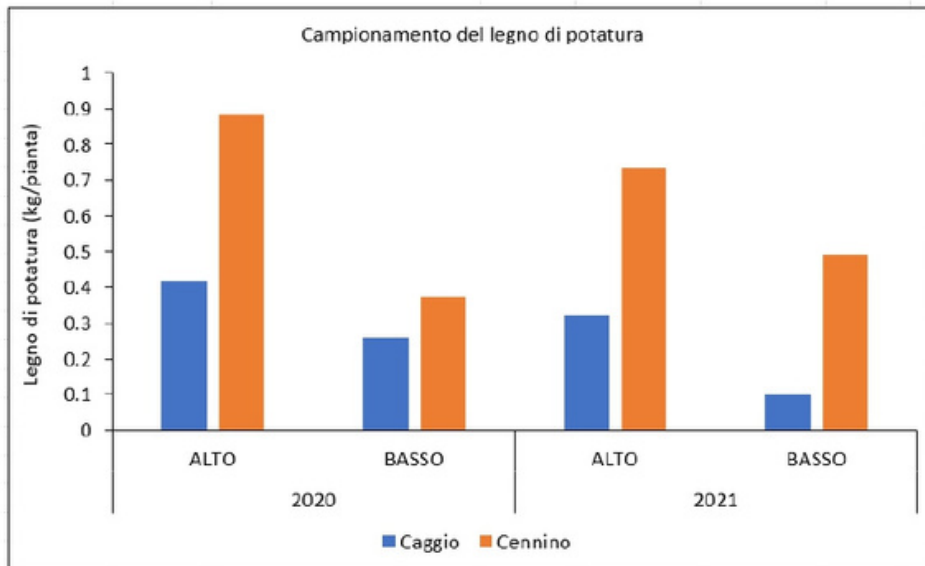


Figura 5.5 Identificazione delle 4 parcelle sperimentali nei vigneti di Caggio Cantina (sopra) e Solatio (sotto) presso Castello di Fonterutoli di cui 2 in alto e 2 in basso vigore vegetativo attraverso l'utilizzo delle mappe NDVI derivate da immagini satellitari della piattaforma Sentinel2.



Figura 5.6 Identificazione delle 4 parcelle sperimentali nei vigneti n.4 (sopra) e n.12 (sotto) presso Castello di Ama di cui 2 in alto e 2 in basso vigore vegetativo attraverso l'utilizzo delle mappe NDVI derivate da immagini satellitari della piattaforma Sentinel2.

Le analisi svolte sul legno di potatura campionato nel corso della sperimentazione hanno confermato l'applicabilità del dato satellitare nella caratterizzazione della variabilità spaziale dello sviluppo vegetativo delle piante in vigneto. Si riporta a seguito un istogramma che descrive il link tra zone di vigore (ALTO e BASSO) identificate da satellite nei vigneti Caggio e Terrazze (Cennino) e la biomassa asportata al termine della stagione vegetativa (dati 2022 ancora non disponibili).



In figura si conferma l'accuratezza della piattaforma satellitare utilizzata per definire le zone di vigore (ALTO e BASSO) in cui posizionare le parcelle studio, presentando i risultati del campionamento di biomassa come reference di caratterizzazione dello sviluppo vegetativo.

Algoritmo automatico di analisi delle immagini da drone con la restituzione dei seguenti prodotti: conteggio grappoli, dimensionamento grappoli, colorazione grappoli

L'attività propedeutica per lo sviluppo di una metodologia automatica per la stima dei parametri produttivi e qualitativi è stata quella di realizzare un protocollo di acquisizione di immagini RGB da drone della fascia fruttifera e generare il dataset necessario per il training di un algoritmo sviluppato ad hoc per la restituzione dei seguenti prodotti: conteggio grappoli, dimensionamento grappoli, colorazione grappoli. Il protocollo che è stato messo a punto durante una serie di test fatti in vigneto nel corso della stagione 2020 ha previsto in primo luogo una sfogliatura parziale della fascia fruttifera nelle parcelle studio in zone ad alto e basso vigore vegetativo. Una prerogativa per effettuare il riconoscimento dei grappoli con sensori ottici passivi, quali la camera RGB che è stata equipaggiata sul drone, risiede nel fatto di non avere ostacoli sulla linea visiva tra camera e grappoli. Diviene quindi requisito primario per applicare la metodologia del progetto DigiViT realizzare una sfogliatura parziale. Tuttavia, questo ostacolo può essere facilmente superato, dato che è prassi abbastanza diffusa praticare una sfogliatura parziale qualche settimana prima della vendemmia, al fine di favorire la maturazione e tutelare allo stesso tempo la sanità delle uve. Il protocollo messo a punto ha previsto l'impiego di una comune camera RGB ad alta risoluzione equipaggiata su drone (prototipo 1) sviluppato ad hoc dal partner Sigma Ingegneria. La camera è stata posizionata con un angolo di 45° sulla verticale e di 90° rispetto alla direzione di avanzamento del drone in volo a quota

5m dal suolo (figura 5.7). Il piano volo estremamente rapido ha consentito di monitorare un vigneto Caggio Cantina di circa 1.3ha in pochi minuti, acquisendo alcune immagini sulle 4 zone rappresentative del vigneto in cui erano state dislocate le parcelle sperimentali. Le immagini acquisite possono essere quindi processate singolarmente, senza necessità di lunghe operazioni correzioni radiometrica o mosaicatura.

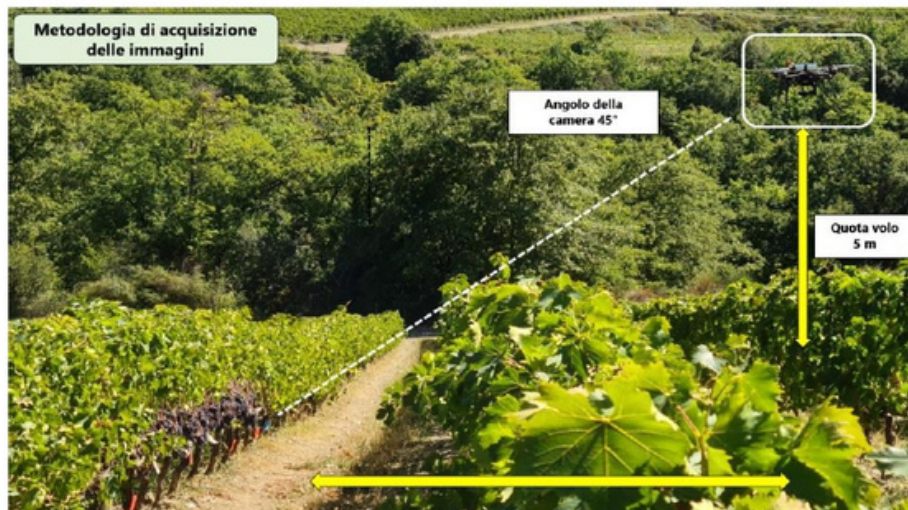


Figura 5.7 Protocollo di volo identificato per il monitoraggio RGB della fascia fruttifera

Nello specifico nel corso del primo anno di sperimentazione sulla stagione produttiva 2020, sono state effettuate una serie di campagne di monitoraggio da piattaforma UAV suddivise in 3 fasi temporali:

- T0 - monitoraggio dei 5 vigneti sperimentali con camera multispettrale al fine di realizzare mappe di vigore vegetativo in alto dettaglio, utilizzate come validazione di dati satellitari della piattaforma Sentinel2 per la corretta definizione del disegno sperimentale
- T1 – monitoraggio con camera RGB inclinata per l'acquisizione di immagini della fascia fruttifera in piena invaiatura
- T2 - monitoraggio con camera RGB inclinata per l'acquisizione di immagini della fascia fruttifera in maturazione

La figura 5.8 riporta in dettaglio le attività sperimentali svolte in campo da CNR-IBE nel corso della stagione 2020

Le campagne di volo UAV sono state condotte al T0 equipaggiando una camera multispettrale per analizzare la variabilità spaziale del vigore e per identificare 4 zone rappresentative, 2 a bassa vigoria (LV) e 2 in alta vigoria (HV). L'acquisizione di immagini multispettrali è stata eseguita a 50 m AGL, ottenendo una risoluzione al suolo di 0,025 m / pixel e il 70% di sovrapposizione in entrambe le direzioni.

Campagne di monitoraggio stagione 2020		
Tzero - CAMERA MULTISPETTRALE Analisi variabilità spaziale di vigore vegetativo per validare le immagini satellitari nella definizione del disegno sperimentale – posizione parcelle	31 Luglio	Azienda Agricola Cennino - Vigneto Terrazze Castello di Ama - Vigneto n.4 Castello di Ama - Vigneto n.12
	12 Agosto	Castello di Fonterutoli - Vigneto Caggio Cantina Castello di Fonterutoli - Vigneto Solatio
T1 - CAMERA RGB inclinata Monitoraggio dei grappoli a piena invaiatura	26 Agosto	Castello di Fonterutoli - Vigneto Caggio Cantina
	01 Settembre	Azienda Agricola Cennino - Vigneto Terrazze Castello di Fonterutoli - Vigneto Solatio
	02 Settembre	Castello di Ama - Vigneto n.4 Castello di Ama - Vigneto n.12
T2 - CAMERA RGB inclinata Monitoraggio dei grappoli a completa maturazione	14 Settembre	Castello di Ama - Vigneto n.4 Castello di Ama - Vigneto n.12
	15 Settembre	Castello di Fonterutoli - Vigneto Caggio Cantina Castello di Fonterutoli - Vigneto Solatio
	16 Settembre	Azienda Agricola Cennino - Vigneto Terrazze

Figura 5.8 Sintesi delle attività sperimentali UAV svolte da CNR IBE nel corso della stagione 2020

Successivamente, qualche giorno prima delle campagne volo del T1 per il monitoraggio dei grappoli, le 12 piante campione delle 4 parcelle in ciascuno dei 5 vigneti sperimentali sono state parzialmente defogliate a livello della fascia fruttifera fino alla sesta foglia basale, così da esporre i grappoli alla linea di vista della camera del drone (figura 5.9). A seguito di una fase di test per identificare il miglior momento della giornata in termini di intensità luminosa e angolo di incidenza della radiazione solare, si è definito un protocollo ottimizzato per l'attività. Sfruttando la luce diffusa del tardo pomeriggio, sono stati effettuati rilievi RGB a quota di volo AGL di 5m, con camera obliqua (45 °) lungo la fila, acquisendo immagini con una risoluzione di 0,002 m / pixel sulla zona del frutto.

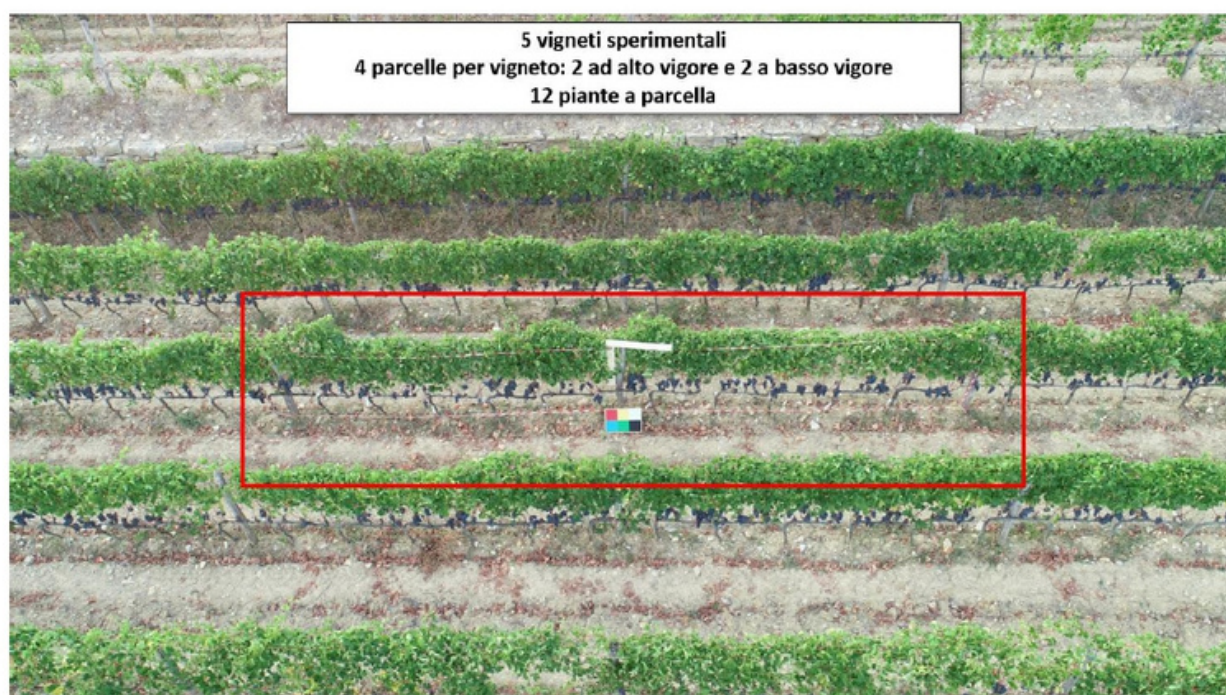


Figura 5.9 Esempio di una parcella sperimentale costituita da 12 piante consecutive su 2 campate preparata per il rilievo RGB inclinato

Per ciascuna parcella sono stati acquisiti in hovering frontalmente al filare 6 scatti multipli, ciascuno dei quali costituito da una sequenza rapida di immagini con 5 esposizioni diverse (figura 5.10).

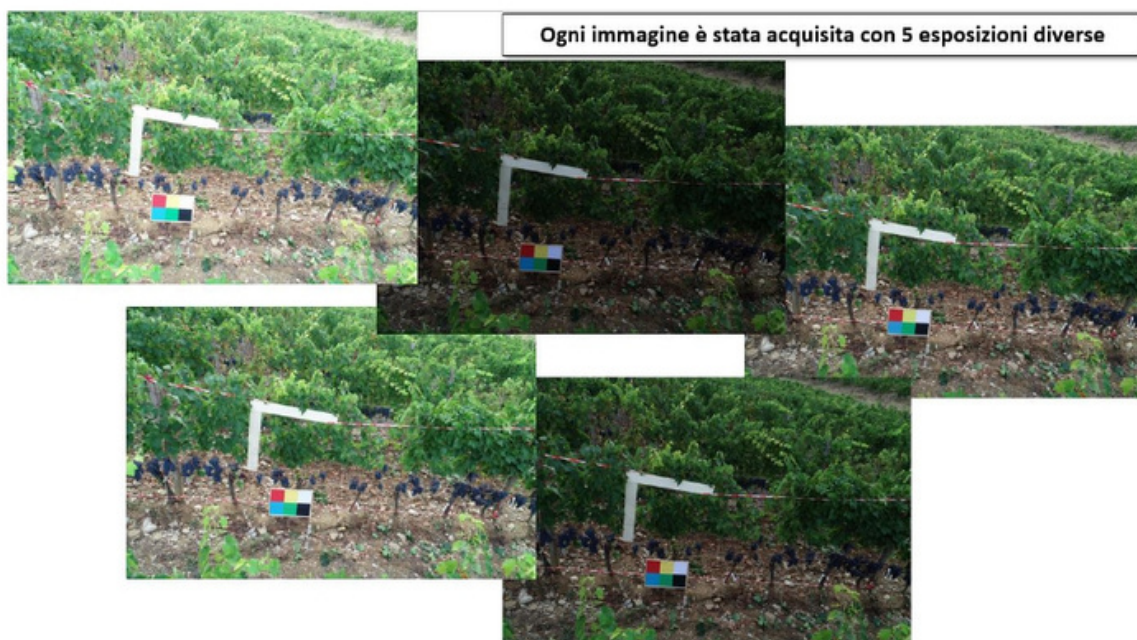


Figura 5.10 Esempio di multiscatto ottenuto da camera RGB montata su drone per acquisire 5 immagini dello stesso target con 5 esposizioni diverse

Fase esplorativa dello sviluppo del TOOL DIGIVIT (2020): test preliminari per l'identificazione di un approccio ottimale di riconoscimento dei grappoli e stima della produzione

Il flusso di lavoro di elaborazione delle immagini è mostrato nella figura 5.11. È stato eseguito un primo passaggio supervised (manuale) per identificare la migliore esposizione delle 5 acquisite e ritagliare un poligono centrato sulla fascia fruttifera, delle parcella target per ciascuna zona di vigore. In una prima fase di test, il software gratuito ImageJ è stato utilizzato per eseguire un'elaborazione unsupervised (automatica) delle immagini selezionate. A questo punto, ogni immagine RGB originale è stata convertita nello spazio colore HSV a tre strati: H (tonalità) distingue tra i colori percepiti, S (saturazione) si riferisce a quanta luce è concentrata a ciascuna specifica lunghezza d'onda della tonalità; e V (valore) rappresenta la luminosità totale. Il livello H è stato selezionato per l'analisi delle immagini, poiché ha il livello più performante per la segmentazione dei grappoli. Allo strato H, sono stati ora applicati una soglia e due diversi metodi di filtro. (i) Il filtro Yen (Yen et al. 1995) converte il livello in un'immagine binaria a 8 bit, fornendo un'immagine in bianco e nero con la segmentazione dei cluster da altri oggetti (suolo, foglia, tronco). (ii) Un filtro mediano elimina il rumore "sale e pepe", sostituendo ogni pixel con il valore mediano nel suo quartiere 3 x 3. (iii) Un filtro di riempimento dei fori rimuove i piccoli fori prodotti dalla fase di segmentazione

basata sulla soglia. Infine, la funzione "Analizza particelle" è stato utilizzato per contare e misurare ciascuna area del cluster rilevata nell'immagine 2D binaria.

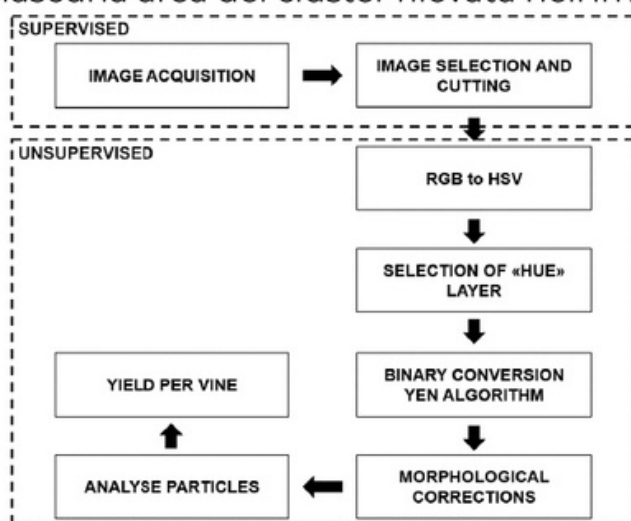


Figura 5.11. Flusso di lavoro di elaborazione delle immagini nella fase esplorativa di testing di potenziali approcci di elaborazione.

Una prima elaborazione delle immagini acquisite presso il vigneto di Caggio Cantina presso l'azienda Castello di Fonterutoli è presentata in figura 5.12, in cui sono evidenziati i prodotti ottenuti dall'applicazione dei diversi step del workflow operativo esplorato. I risultati presentati sono relativi a parcelle in basso (LV) e alto (HV) vigore vegetativo, espressione della variabilità spaziale presente in vigneto.

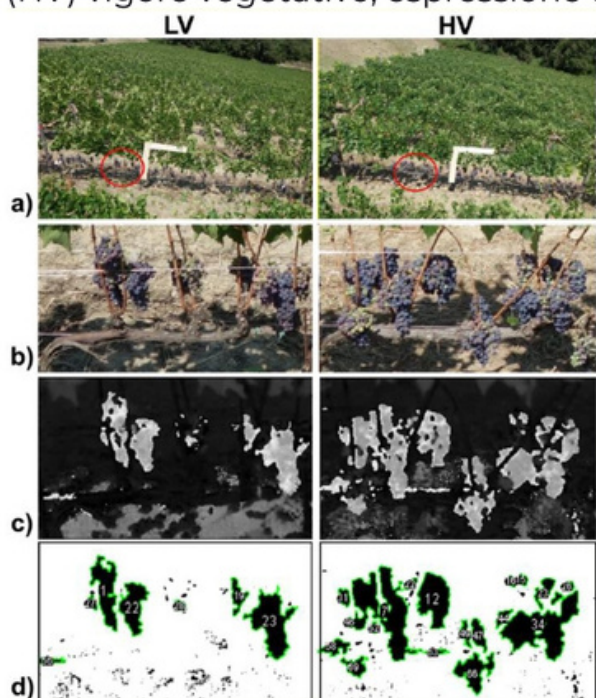


Figura 5.12 Prima elaborazione delle immagini utilizzando un approccio esplorativo preliminare su viti campione di parcella a basso (LV) e alto (HV) vigore. In dettaglio: a) immagine originale, b) dettaglio della vite campione; c) identificazione dello strato migliore nello spazio di colore HSV; d) immagine binaria basata su algoritmo Yen con filtro morfologico ed estrazione area cluster.

Valutazione della mappa di previsione del rendimento

La stima della resa è stata eseguita utilizzando il numero e il peso dei grappoli monitorati a terra rilevati ottenuti dall'analisi delle immagini. Innanzitutto, è stato quindi esplorato un modello di conversione delle immagini UAV convertendo l'area totale dei grappoli per vite (cm^2) in resa per vite (kg / vite), utilizzando come training di calibrazione i dati misurati a livello di singolo grappolo svolti presso l'azienda Castello di Ama (figura 5.13).



Figura 5.13 Misure distruttive svolte per lo sviluppo di un modello di stima di parametri produttivi e qualitativi da immagini acquisite da drone.

Un riferimento geometrico bidimensionale realizzato in legno delle dimensioni di $1\text{m} \times 1\text{m}$ è stato posizionato in un punto sulla fascia fruttifera, per migliorare il processo di conversione metrica dei pixel. Una volta definito il corretto protocollo di segmentazione e stima della resa per pianta, i dati produttivi elaborati da immagini acquisite da drone all'interno di diverse zone di vigoria sarà correlata con la mappa Sentinel 2 temporalmente vicina alla data di monitoraggio dei grappoli, estraendo il valore medio di NDVI con poligono centrato su ciascuna delle 4 parcelle sperimentali per vigneto. Sarà quindi elaborato un modello di stima per generare una mappa di previsione della resa basata sulla variabilità spaziale di vigore nel vigneto.

Valutazione della mappa di maturità

Al momento della preparazione delle parcelle per il rilievo RGB sui grappoli in ogni vigneto, sono stati posizionati a terra con angolo di 45° nella metà della parcella, una serie di pannelli cromatici di riferimento. Si tratta di pannelli di riferimento per la normalizzazione dei colori attraverso un processo di correzione rispetto alle diverse condizioni di luce che occorrono non solo tra fasi fenologiche diverse, ma anche durante il rilievo su un medesimo vigneto. I pannelli di dimensioni $0,60 \times 0,40 \text{ m}$, sono stati realizzati con 6 patch ($0,20 \times 0,20 \text{ m}$) di colori essenziali per questo tipo di analisi: bianco, giallo, rosso, blu, verde e nero). Il primo test di processamento delle immagini per definire un modello di stima del livello di maturità fenolica basato su componenti cromatiche ha identificato un primo

step in cui sono stati estratti i valori numerici digitali RGB di ciascuna delle 6 patch dei pannelli di riferimento. Al fine di ridurre al minimo la differenza tra i valori di colore misurati sui grappoli non solo tra le 2 campagne volo (invaiaatura e maturazione) e tra i 5 vigneti, ma anche la variabilità di condizioni ambientali all'interno dello stesso volo tra parcelle diverse, è stato utilizzato un approccio di calibrazione basato sulla regressione lineare tra valori RGB medi misurati da ciascun pannello di reference e un valore standard misurato in condizioni di luce controllata. Il prossimo step esplorativo della metodologia sarà quello di calcolare per ogni grappolo indici di colore (figura 5.14) utilizzati in letteratura per lavori simili di fenotipizzazione dei tratti delle colture. Inoltre, l'analisi distruttiva tradizionale effettuata sui grappoli campione presso Castello di Ama, saranno utilizzati per calibrare tali indici con parametri qualitativi di interesse viticolo/enologico misurati in laboratorio legati alla maturità tecnologica e fenolica (TSS, acidità, pH, concentrazione e estraibilità di antociani, ...).

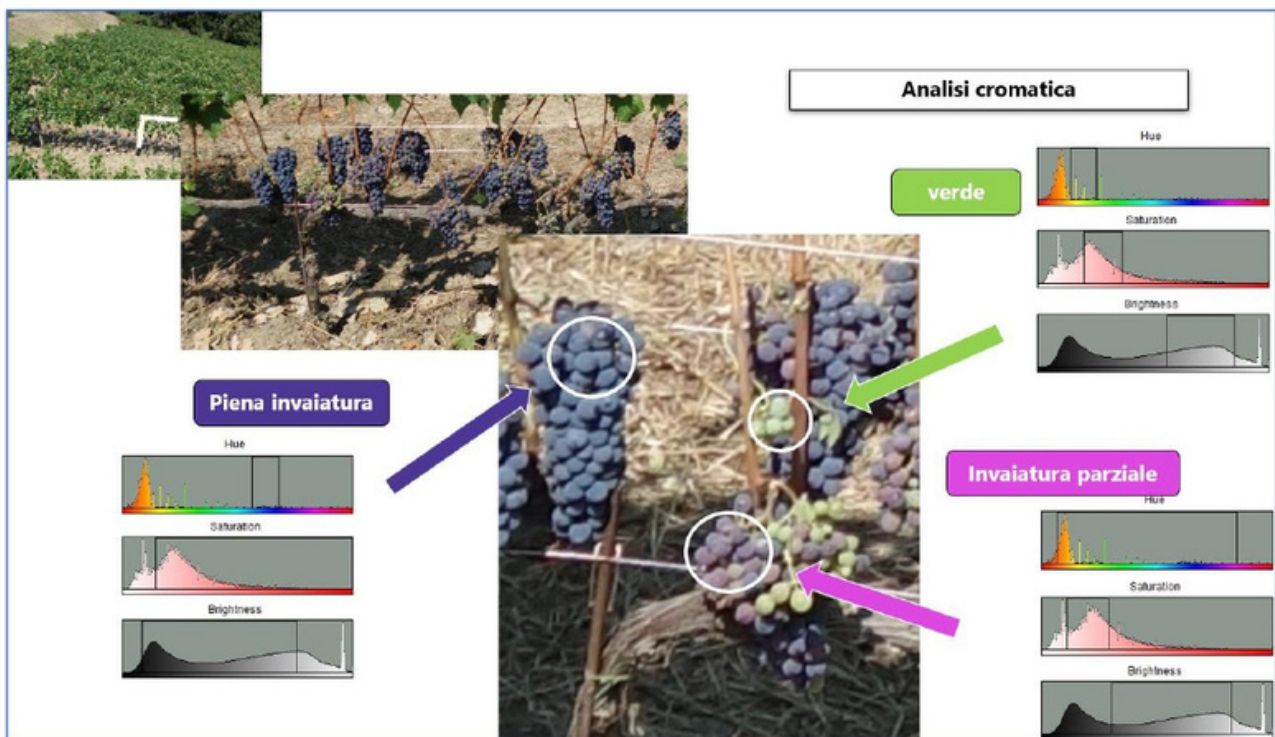


Figura 5.14 Esempio di estrazione di firme cromatiche per diversi livelli di invaiatura del grappolo in immagini acquisite presso il vigneto Caggio Cantina a Castello di Fonterutoli.



Metodologie tecnologiche

Il progetto DigiViT si avvale del contributo tecnologico di “Sigma Ingegneria”, azienda prevalentemente composta da ingegneri di estrazione aerospaziale ed operativa nel territorio di Lucca. L’esperienza pluriennale nel design e nella progettazione ingegneristica consente di fornire soluzioni efficaci ed innovative alla realizzazione di macchinari e dispositivi di ampio impiego, come ad esempio nell’ambito della produzione e dell’automazione industriale. Per le finalità del progetto DigiViT, in particolare, Sigma Ingegneria ha sviluppato due droni multirottore: l’esacottero “Efesto” sviluppato al termine del primo anno, successivamente sostituito con la versione più performante “Helyx-One” ed il quadricottero “Helyx-Zero”, progettato per ottimizzare i rilievi puntuali in vigneto.

Il presente report tecnico riassume le attività di progetto, realizzazione e test svolte da Sigma Ingegneria nel progetto DigiVit, dedicate a due diversi droni per il monitoraggio vitivinicolo. Per ciascun prototipo vengono descritti in una prima parte la progettazione e sviluppo di una prima versione prototipale (versione iniziale 2020) conclusa al termine dei primi 12 mesi di progetto. Successivamente un secondo paragrafo, dettaglia il processo di revisione del design di ogni drone (versione finale 2022), denominati Helyx-One (WP1.1) e Helyx-Zero (WP1.3), e l’integrazione del payload, seguite dal riassunto degli step seguiti per costruire gli APR. Di seguito sono riportati i test eseguiti sui due droni, partendo da quelli in laboratorio e dai voli di messa a punto, dedicati alla verifica e alla validazione dei due mezzi, per concludere con i test in campo, realizzati in due diverse sessioni, una nel 2021 e una a conclusione del progetto nel 2022. A valle delle scelte preliminari e del dimensionamento eseguito nella prima parte del progetto (2020), i due droni previsti per l’esecuzione delle missioni in vigneto hanno preso forma, sia dal punto di vista di design che con la successiva costruzione.

I due droni, uno di medie dimensioni e uno piccolo, hanno i seguenti obiettivi operativi:

1. APR medio: monitoraggio dell'intero vigneto con fotogrammetria aerea.
2. APR piccolo: scatto di foto ad alta risoluzione (18-20 MP) delle piante selezionate per la stima quantitativa e qualitativa della produzione.

Grazie ad analisi tecniche e commerciali, e all'emissione di un regolamento europeo unificato per i droni, da parte di EASA (European Union Aviation Safety Agency, agenzia europea per la sicurezza aerea), ci sono state alcune modifiche progettuali alla "flotta" delineata per il progetto DigiVit.

Partendo dall'aspetto normativo, il "Regolamento relativo ai sistemi aeromobili senza equipaggio e agli operatori di paesi terzi di sistemi aeromobili senza equipaggio" suddivide le tipologie di droni in diverse classi, a seconda del MTOM (massa operativa al decollo) e dell'utilizzo.

Mentre la prima classe, C0, è dedicata a droni inoffensivi (sotto i 250 grammi) ma non dotati di sistemi di visione, la successiva classe, C1, pone un limite di 900 grammi alla massa al decollo del drone, considerando la possibilità di installare videocamere o sensori di visione simili.

Non sussistendo più il limite di 500 grammi del precedente regolamento italiano ENAC, il drone più piccolo, denominato nel precedente report Helyx, può pesare dunque fino a 900 grammi, dando più margine nel design e nell'integrazione di batteria e payload.

Un altro aspetto che ha portato ad una variazione strategica nei due droni del progetto riguarda un'attività di branding, portata avanti dagli addetti alla comunicazione e marketing e dai tecnici di Sigma Ingegneria, per definire una linea di prodotti SAPR idonea a DigiVit e alla successiva commercializzazione.

In tale ottica i due tipi di droni sono stati così nominati:

- APR medio: Helyx-One
- APR piccolo: Helyx-Zero

La scelta di usare in modo duplice il nome di Helyx, specializzandolo per le due tipologie di APR, ha una valenza strettamente connessa al drone FPV originale, il cui design è stato brevettato ed esposto in concomitanza di diversi eventi e fiere. Grazie quindi alla risonanza commerciale data a tale nome, è stata fatta la scelta di utilizzarlo per gestire diverse classi di drone.

Dal punto di vista tecnico, infine, mentre Helyx-Zero ha mantenuto la forma del drone da racing originale, con una leggera scalatura dimensionale e l'introduzione di componenti di comando e controllo e payload adatti all'uso vitivinicolo, il più grande, Helyx-One, ha visto un'importante revisione del layout meccanico.

Report dei test e prove nelle aziende partner di progetto

Il presente capitolo descrive i test eseguiti in laboratorio e sul campo con i due droni, Helyx-One e Helyx-Zero, nell'ambito del progetto DigiVit, con lo scopo di validarne il funzionamento sia standalone che in ambito operativo. Il primo step di verifica è stato eseguito in laboratorio, con lo scopo di eseguire alcuni check prima di portare in volo i droni. Si tratta di test di routine, necessari per capire se i montaggi elettrico e meccanico sono stati eseguiti correttamente; quindi, se la configurazione delle Flight Controller corrisponde a quanto atteso per il layout di drone. Le prove eseguite sui droni e sui payload sono riportate nella seguente tabella, considerando che tutte sono state completate con successo. Si fa notare che il test B3, relativo alla verifica del range operativo del payload a terra, presenta criticità con distanze importanti in trasmissione WiFi, escludendo dunque la ricetrasmmissione analogica di backup presente su Helyx-One. Tale aspetto, ritenuto accettabile per le prove in campo del progetto DigiVit, può essere comunque superato affiancando alla WiFi un modulo 4G con SIM dati per garantire la funzionalità a diverse distanze operative.

Una volta completate le verifiche a terra, i droni risultano pronti per il volo. Prima delle missioni vere e proprie, Sigma Ingegneria prevede sempre delle sessioni di test in volo di messa a punto, con lo scopo di validare la configurazione del drone ed eseguire il tuning dei principali parametri dinamici, sia relativi ai controlli di assetto che di posizione, al fine di garantire un volo sicuro e ottimale.

I test di messa a punto sono stati eseguiti presso la sede della stessa Sigma Ingegneria, in un campo adiacente all'edificio operativo, sufficientemente grande e sicuro per provare gli APR.

La procedura di test, valida per entrambi i droni, è illustrata nelle seguenti tabelle.

ID	Test eseguito
A1	Motor Test: test dedicato alla verifica del funzionamento dei motori e della direzione di rotazione, in assenza di eliche montate.
A2	Test dei sensori di bordo: variazione dell'orientamento del drone secondo i tre assi di rotazione e verifica della variazione di assetto, quindi della bontà della calibrazione sulla Ground Control Station.
A3	Test del gimbal (Helyx-One): verifica della corretta stabilizzazione del gimbal secondo gli assi di rollio e beccheggio, ruotando manualmente il drone.
	Test del servo (Helyx-Zero): verifica dell'estrazione e della retroazione della telecamera spostando a mano il drone al di sopra o al di sotto della quota di 1 metro dal suolo.
A4	Ground Test: accensione del drone e rampa di throttle fino al 100%, con le eliche installate, per verificare la solidità della configurazione e la presenza di eventuali vibrazioni.

ID	Test eseguito
B1	Streaming: verifica del corretto streaming video da drone a terra.
B2	Scatto: verifica della capacità di scattare foto manualmente o con impostazione di un timer (quest'ultimo solo per la Mapir su Helyx-One).
B3	Range: verifica delle funzionalità di gestione del payload al variare della distanza tra drone ed operatore.

ID	Test eseguito
C1	Decollo e atterraggio: verifica della correttezza delle manovre di decollo e atterraggio, senza eccessive oscillazioni o variazioni repentine di throttle.
C2	Stabilità in volo: verifica della stabilità lungo i tre assi, rollio, beccheggio e imbardata.
C3	Controllo in posizione e altezza: verifica del corretto mantenimento della posizione GPS e della quota.
C4	Esecuzione di missioni: verifica dell'esecuzione di missioni con waypoint e della gestione automatica della traiettoria.
C5	Test del gimbal (Helyx-One): verifica della corretta stabilizzazione in volo del gimbal secondo gli assi di rollio e beccheggio.
	Test del servo (Helyx-Zero): verifica dell'estrazione e della retroazione della telecamera in decollo e atterraggio.
C6	Verifica del flusso video: test di range e di qualità del flusso video da drone a terra.

Nei test da C1 a C4, come anticipato, è stato effettuato il tuning dei principali parametri di volo, relativi ai controlli in ciclo chiuso (generalmente di tipo PID) in assetto, velocità e posizione, eseguendo il volo più volte con diversi set di parametri, fino ad ottenere il comportamento dinamico desiderato.

Per quanto riguarda il gimbal di Helyx-One, invece, sono state eseguite alcune correzioni ai parametri di stabilizzazione, inserendo anche dei notch filter, al fine di migliorarne la dinamica in volo.

La seguente foto mostra Helyx-One durante le sessioni di tuning sopra descritte.

Grazie a questo step di test, dunque, i droni risultano pronti all'esecuzione delle missioni in campo, essendo stati provati e messi a punto in diverse condizioni dinamiche, sufficientemente rappresentative dell'attività operativa.

I test in vigneto con i due droni, Helyx-One e Helyx-Zero, sono stati eseguiti in due diverse sessioni, relative rispettivamente alle vendemmie 2021 e 2022, sempre nella seconda parte del mese di settembre. I seguenti sotto-paragrafi riportano alcune informazioni su tali prove, documentate anche da fotografie fatte in volo e dei droni stessi.



Helyx-One durante la sessione di voli di messa a punto

Field day - 23 Settembre 2021

I primi test in campo dei droni sviluppati da Sigma Ingegneria per il progetto DigiVit sono stati eseguiti il 23 settembre 2021 presso il vigneto Caggio della tenuta del Castello di Fonterutoli della famiglia Mazzei. In tale data è stato organizzato da CNR-IBE, capofila di progetto, un field day, con tutti i partner e in presenza di alcuni rappresentanti della Regione Toscana, per dimostrare lo stato di avanzamento delle attività. La finalizzazione dei droni descritta nel capitolo 2 è stata completata in data successiva a questa sessione, indicativamente ad inizio estate 2022, quindi i droni utilizzati e le tecnologie sviluppate rappresentano uno step intermedio rispetto a quanto previsto a fine progetto.

I droni utilizzati in campo sono i seguenti:

- Helyx-One: versione quasi definitiva del drone descritto all'inizio del report, con alcune parti stampate 3D ancora da mettere a punto.
- Helyx-FPV: versione originale del piccolo drone Helyx, adatto appunto al volo FPV, portato in campo per mostrarne la tecnologia ai presenti, nonché per fare alcune prove di volo per comprendere al meglio le modalità di gestione operativa del piccolo APR previsto nel progetto.

La seguente tabella riporta i voli eseguiti con i due droni.

ID	Drone	Test di volo
F1	Helyx-One	Test di stabilità in volo sopra il vigneto
F2		Test di esecuzione di una missione sopra il vigneto con 4 waypoint
F3		Verifica della qualità delle foto scattate
F4	Helyx-FPV	Test generale con sorvolo del vigneto
F5		Verifica della capacità di individuare le parcelle da fotografare

I droni utilizzati nel field day sono mostrati nelle seguenti foto. I test hanno dato ottimi risultati, dimostrando in via preliminare la bontà del lavoro di progettazione fatto e delle tecnologie adottate. Si puntualizzano però le seguenti problematiche occorse durante le prove, oggetto di ulteriori messe a punto tra l'autunno 2021 e l'estate 2022:

- Difficoltà nel mantenimento della quota per Helyx-One a causa di raffiche di vento trasversale e ascendente (il vigneto su cui ha volato ha una forte pendenza).
- Necessità di elevata stabilizzazione in volo sul punto per Helyx-Zero, sulla base dei test fatti sulla versione FPV, al fine di inquadrare correttamente le parcelle e scattare foto idonee al post-processing.



Test di fine progetto - 20 settembre 2022

La seconda sessione di test, eseguita il 20 settembre 2022, va a chiudere il progetto DigiVit con la validazione dei due droni realizzati da Sigma Ingegneria, eseguendo le missioni previste da specifica, sempre nel vigneto Caggio utilizzato come ambiente di test nel 2021. L'attività è stata eseguita molto a ridosso della vendemmia, anticipata rispetto all'anno precedente, a causa del maltempo che ha interessato le prime settimane di settembre. I droni utilizzati in campo sono quelli finali di progetto, la cui realizzazione e messa a punto è stata completata all'inizio dell'estate 2022:

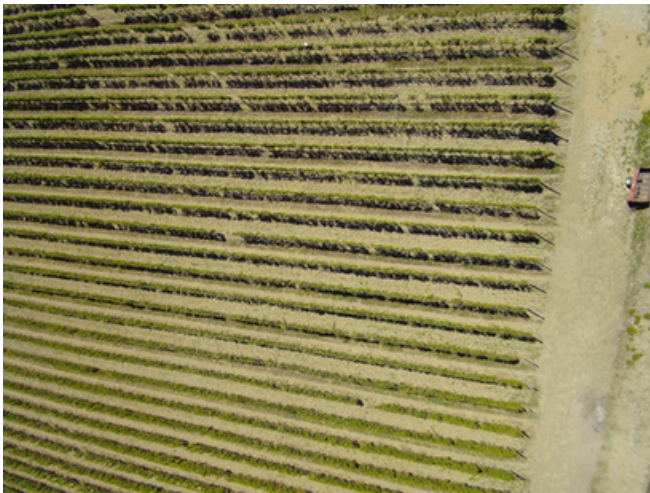
- Helyx-One: versione definitiva con fotocamera montata su gimbal, usato per mappare il vigneto dall'alto.
- Helyx-Zero: versione definitiva, con fotocamera estraibile in quota, usato per fotografare le parcelle segnate da target colorati.

La seguente tabella riporta i voli eseguiti con i due droni.

ID	Drone	Test di volo
F1	Helyx-One	Test di performance in volo, con verifica dello streaming video e scatto manuale di foto
F2		Fotogrammetria completa del vigneto a 30 metri di quota, velocità di 3 m/s e scatto temporizzato (1 volta/secondo)
F4	Helyx-Zero	Test di performance in volo, con verifica dello streaming video e scatto manuale di foto
F5		Foto delle quattro parcelle segnate

I droni utilizzati nel test di fine progetto sono mostrati nelle seguenti foto.



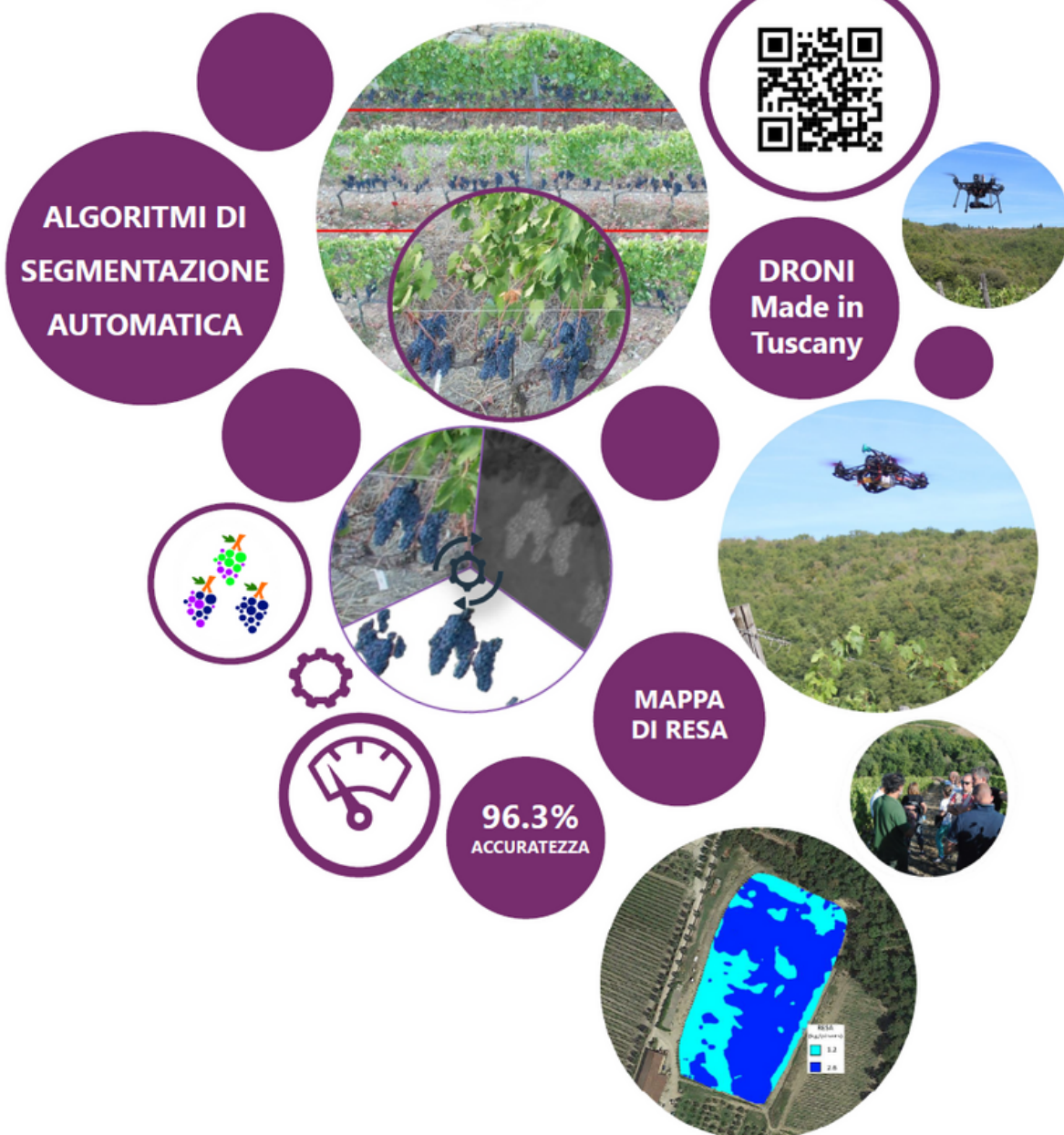


Ortomosaico RGB del vigneto Caggio realizzato con il prototipo Helyx-One



I test, completati con successo, consentono di validare i droni, le tecnologie utilizzate per progettarli e costruirli, nonché la metodologia di uso operativo. Si conclude che:

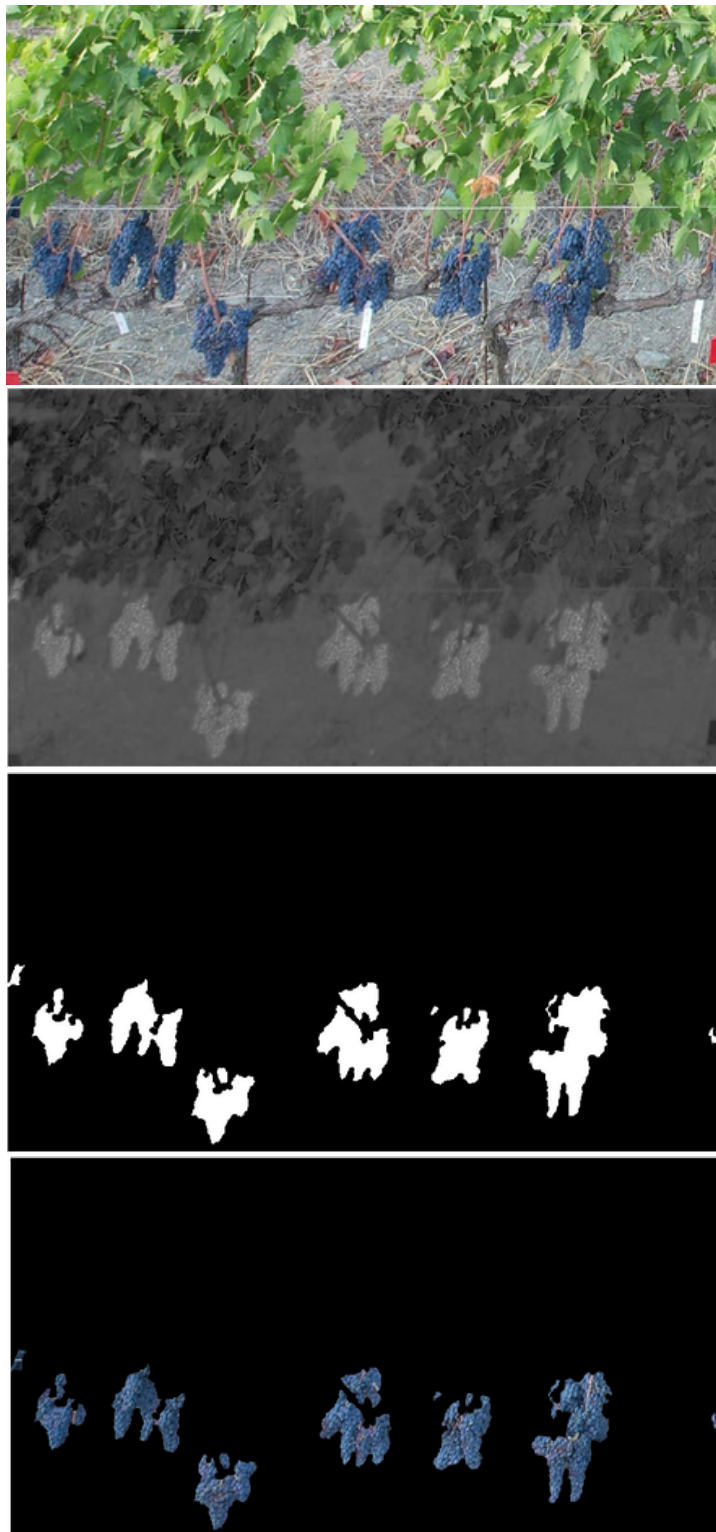
- I droni sono pronti al volo in pochi minuti dall'arrivo presso il vigneto.
- Risultano facilmente pilotabili, anche da operatori meno esperti.
- La pianificazione e l'esecuzione di una missione per eseguire una fotogrammetria del vigneto è rapida e non richiede un carico di lavoro eccessivo.
- L'individuazione delle parcelle e lo scatto delle foto è rapido e richiede una manciata di minuti.



PRODOTTI E RISULTATI



ALGORTIMO DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE DIGIVIT



L'approccio analitico si è spostato sulla piattaforma MatLab MathWorks inc. con funzionalità dedicate all'analisi di immagine e ampio spazio di sviluppo. Sono stati quindi testati diversi approcci, fino ad identificare la metodologia più accurata e robusta di generazione di un dato produttivo da immagine RGB acquisita in volo a bassa quota da drone. Il workflow operativo si è basata su 4 step fondamentali:

1. la correzione della distorsione generata dall'acquisizione di foto inclinate in vigneti in pendenza,
2. la trasformazione metrica per convertire un pixel in superficie (cm²)
3. la segmentazione dei grappoli
4. la conversione di area proiettata 2D in resa (kg di uva) per pianta

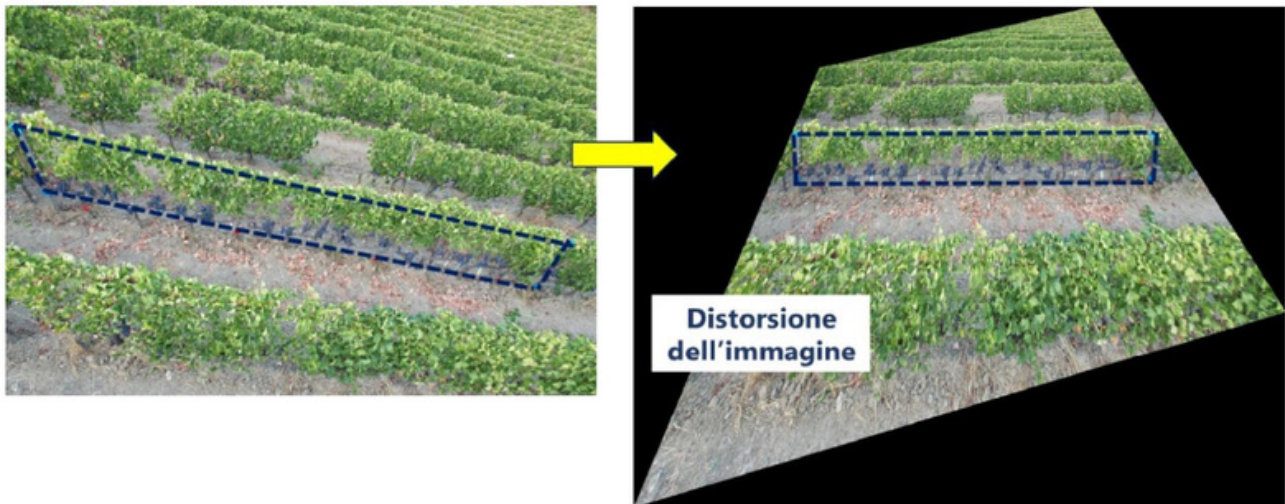
Attraverso una fase di ricerca bibliografica, sono stati individuati gli algoritmi più performanti per eliminare la distorsione delle immagini. Questo know-how acquisito ha concesso di mettere a punto un protocollo operativo per agevolare questo primo step. Nello specifico, il protocollo di setup delle parcelle studio è stato strutturato sulla base di competenze di analisi colorimetrica possedute dall'assegnista coinvolta sul progetto, e in dettaglio sono stati impiegati dei target plastici ad alta resistenza meccanica e all'umidità di colori azzurro e rossi, colori chiave per facilitare il riconoscimento automatico nello specifico "ambiente cromatico vigneto". In dettaglio il protocollo ha previsto:

- 4 pannelli azzurri posizionati sui 4 angoli cardinali della parcella (2 campate)
- 4 pannelli rossi del marcare considerando come rappresentativo un campione di 9 piante consecutive, utilizzati per segmentare in automatico 3 blocchi contenenti 3 piante ciascuno

Una volta posizionati i tag cromatici nelle parcelle studio, si è creato un dataset di immagini acquisite durante una serie di campagne volo svolte nel corso delle 3 annate monitorate (2020-2021-2022) a fine invaiatura e a maturità, indicativamente inizio settembre e metà settembre.

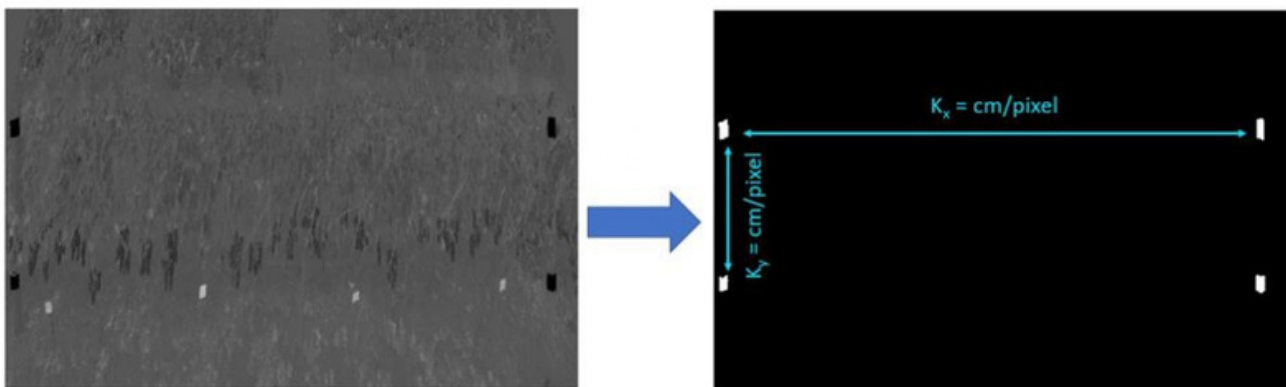
Successivamente è stato progettato e sviluppato un flusso di elaborazione di immagini concretizzato in una serie di codici in ambiente MatLab, in grado di combinare una serie di algoritmi di image processing per soddisfare le funzionalità richieste.

1. DISTORSIONE DELLE IMMAGINI



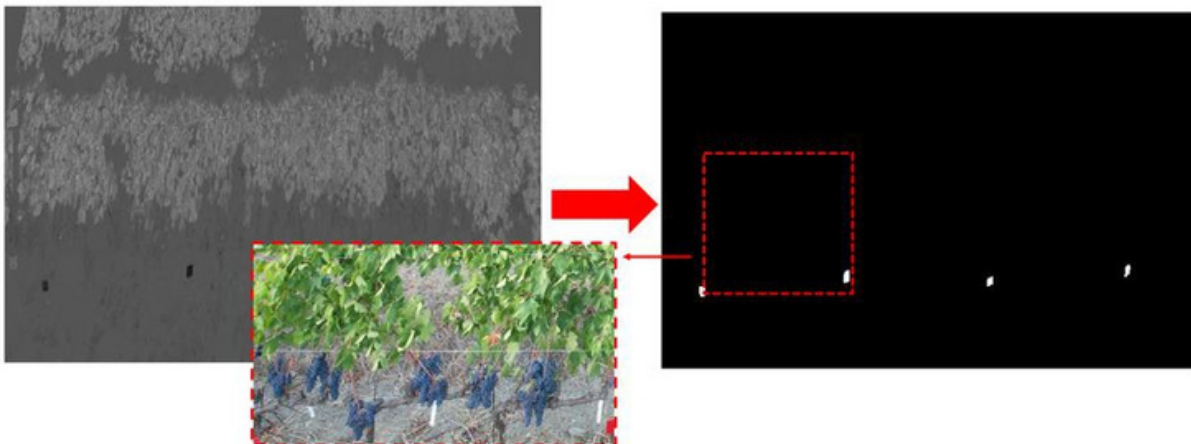
Correzione della distorsione delle immagini mediante la funzione MatLab *fitgeotrans.m* con algoritmo «projective»: confronta i punti fissi del rettangolo con i punti mobili, ovvero i punti centrali dei quadrati azzurri, e trasforma l'immagine per formare un reale rettangolo della parcella.

2. SELEZIONE DEI QUADRATI CIANO PER CALCOLARE AREA IMMAGINE



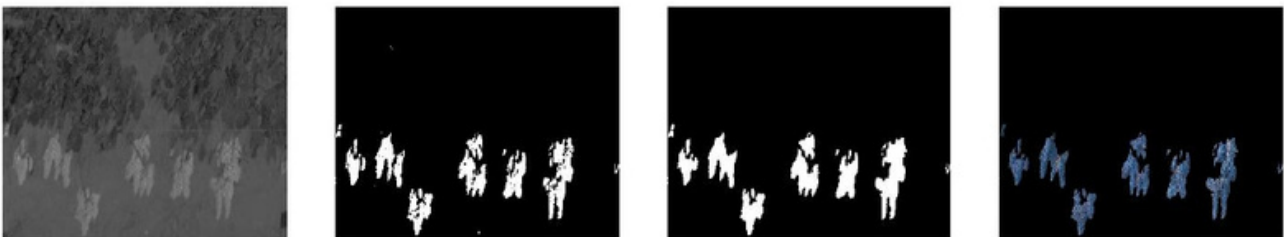
Conversione metrica dell'immagine attraverso l'assegnazione di distanze note ai limiti della parcella, ricavabili da misura diretta in campo o altrimenti estrapolati dalla distanza tra i pali di campata. Il riconoscimento automatico dei tag azzurri avviene utilizzando soglie sul canale del rosso. In questo nuovo approccio abbiamo eliminato il riferimento geometrico (sagoma a "L" in legno 1m x 1m) utilizzato nella fase esplorativa iniziale sostituendo con tag plastici meno ingombranti in grado di resistere a fattori ambientali e alla gestione colturale in vigneto.

3. SELEZIONE DEI QUADRATI ROSSI PER IL RITAGLIO DELLE 3 PIANTE



Riconoscimento e segmentazione dei 3 blocchi di 3 piante attraverso la detection automatica dei tag rossi con una soglia colore su canale del verde relativo.

4. SEGMENTAZIONE DEI GRAPPOLI E CALCOLO DEL PESO STIMATO (Kg)

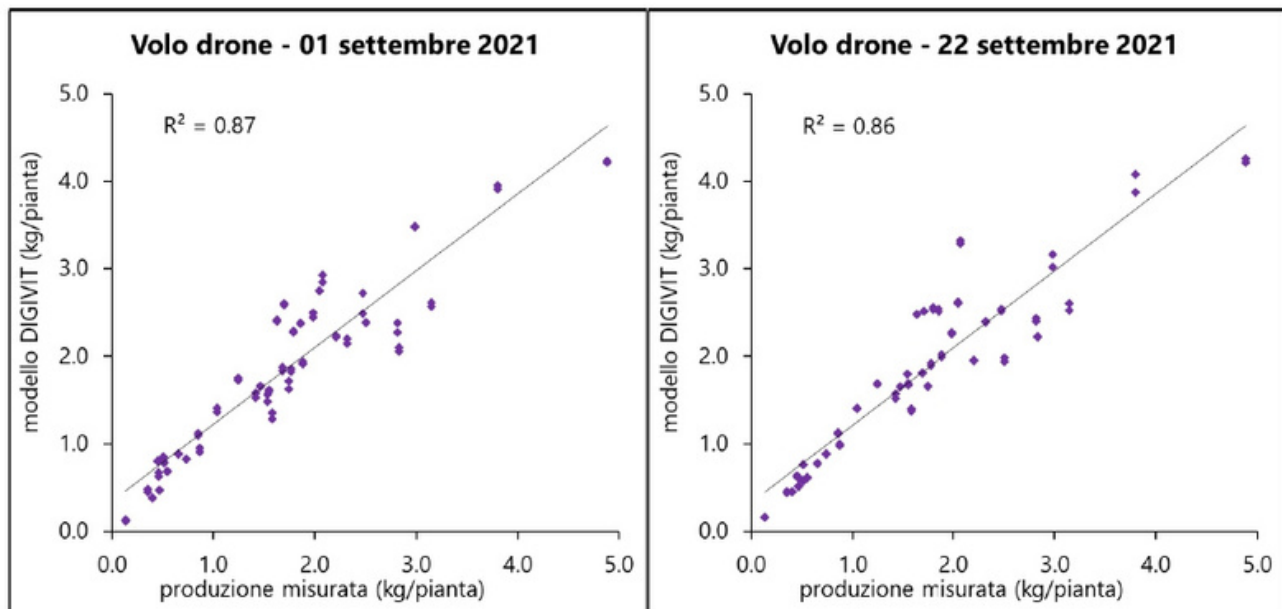


Generazione di una maschera binaria per la segmentazione dei grappoli applicando un filtro su blu relativo, correzione con filtri morfologici ed estrazione della superficie proiettata dei grappoli. Successivamente viene applicato l'algoritmo di conversione da superficie proiettata a resa media per pianta.

Il modello di stima della resa è stato identificato in 2 step operativi:

1. definizione dell'algoritmo utilizzando i dati ottenuti da un robusto campionamento puntuale svolto dalle aziende partner nel corso di ogni annata, su una serie di grappoli identificati su piante esterne alle parcelle studio, così da non alterarne il valore resa media a pianta. Tali grappoli sono stati pesati singolarmente e correlati con l'area proiettata estratta per ciascuno di essi;
2. l'algoritmo più accurato per la varietà sangiovese presa in esame nel progetto DIGIVIT, si è applicato per convertire in peso la superficie estratta da ciascun blocco di 3 piante presenti nelle parcelle sperimentali. Successivamente, il campionamento distruttivo della produzione di ogni pianta delle 4 parcelle studio per vigneto ha concesso la validazione su ampia scala dell'accuratezza del metodo.

Il modello di stima delle rese è stato definito analizzando il dataset della campagna di monitoraggio 2020, e successivamente applicato sui dataset 2021 e 2022 per valutarne l'accuratezza. Si riporta in figura i risultati ottenuti già sul secondo anno di attività, che hanno dimostrato il successo della metodologia sia sul rilievo di fine invaiatura che di maturazione.



Esempio delle performance del modello di stima delle rese applicato alla stagione 2021

Risultato interessante, oltre all'accuratezza del modello, risiede nel fatto che il modello DIGIVIT delle rese ha fornito ottima accuratezza già nel primo rilievo, fornendo così una stima predittiva delle rese con 3 settimane di anticipo rispetto alla vendemmia 23 settembre. Il tool DIGIVIT presenta quindi la potenzialità di fornire una informazione critica per la gestione della vendemmia e della logistica di cantina, in modo:

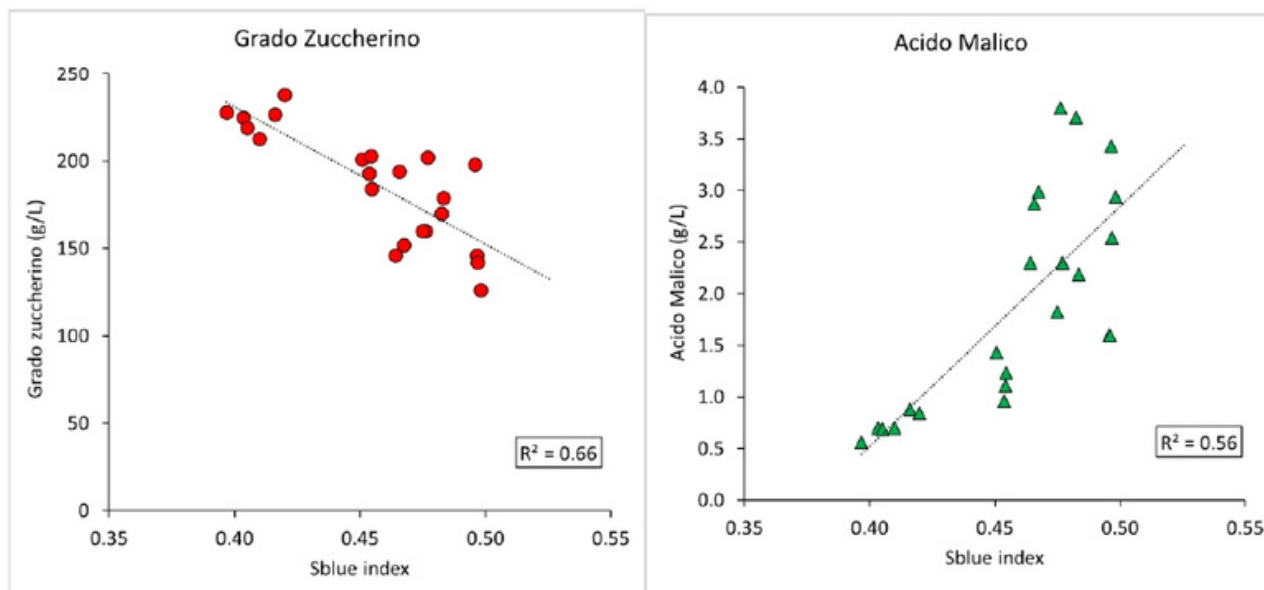
- rapido dato che in 2-3 minuti si riesce a monitorare un vigneto di 2 ettari a prescindere della sua conformazione (presenza di suolo lavorato, pendenze, ecc..) che potrebbe ostacolare un rilievo visivo tradizionale da operatore a terra
- oggettivo, dato che il modello non risente di valutazioni soggettive di un operatore rispetto ad un altro
- accurato, in funzione degli ottimi risultati riportati nel precedente grafico riassuntivo
- predittivo, grazie alla possibilità di dare l'informazione necessaria diverse settimane prima della data di raccolta.

In sintesi, l'approccio DIGIVIT ha dimostrato di possedere una serie di punti di forza, che lo caratterizzano come un valido strumento di supporto decisionale per la gestione della vendemmia, fase critica di chiusura del ciclo produttivo.

L'obiettivo primario della stima delle rese è stato affiancato da una seconda sfida per il partenariato, rappresentato dall'analisi cromatica dei grappoli per identificare un metodo digitale non distruttivo per caratterizzare la maturità fenolica delle uve.

Questo secondo task è stato perseguito ed esplorato sulla base dei risultati del primo obiettivo, ossia utilizzare il metodo di segmentazione automatica dei grappoli. Tuttavia, invece di procedere con il modello di stima delle rese derivato dal numero di pixel, l'approccio applicato è stato quello di estrarre i valori medi delle 3 componenti cromatiche RGB (Red Green Blue) dai pixels estratti per tutti i grappoli.

Lo studio colorimetrico dei grappoli campione che dopo il rilievo sono stati analizzati presso laboratori accreditati per la caratterizzazione di parametri qualitativi ha consentito di esplorare le potenzialità di questo approccio innovativo. L'indagine delle regressioni con fattori chiave della maturità tecnologica ha fornito interessanti spunti di futuri sviluppi, nonostante sia evidente che la stima di proprietà chimiche della polpa sono principalmente derivate da un rapporto diretto con il grado di invaiatura della buccia. Quindi uve più invaiate hanno presentato anche maggiori contenuti zuccherini e inferiore concentrazione di acido malico.

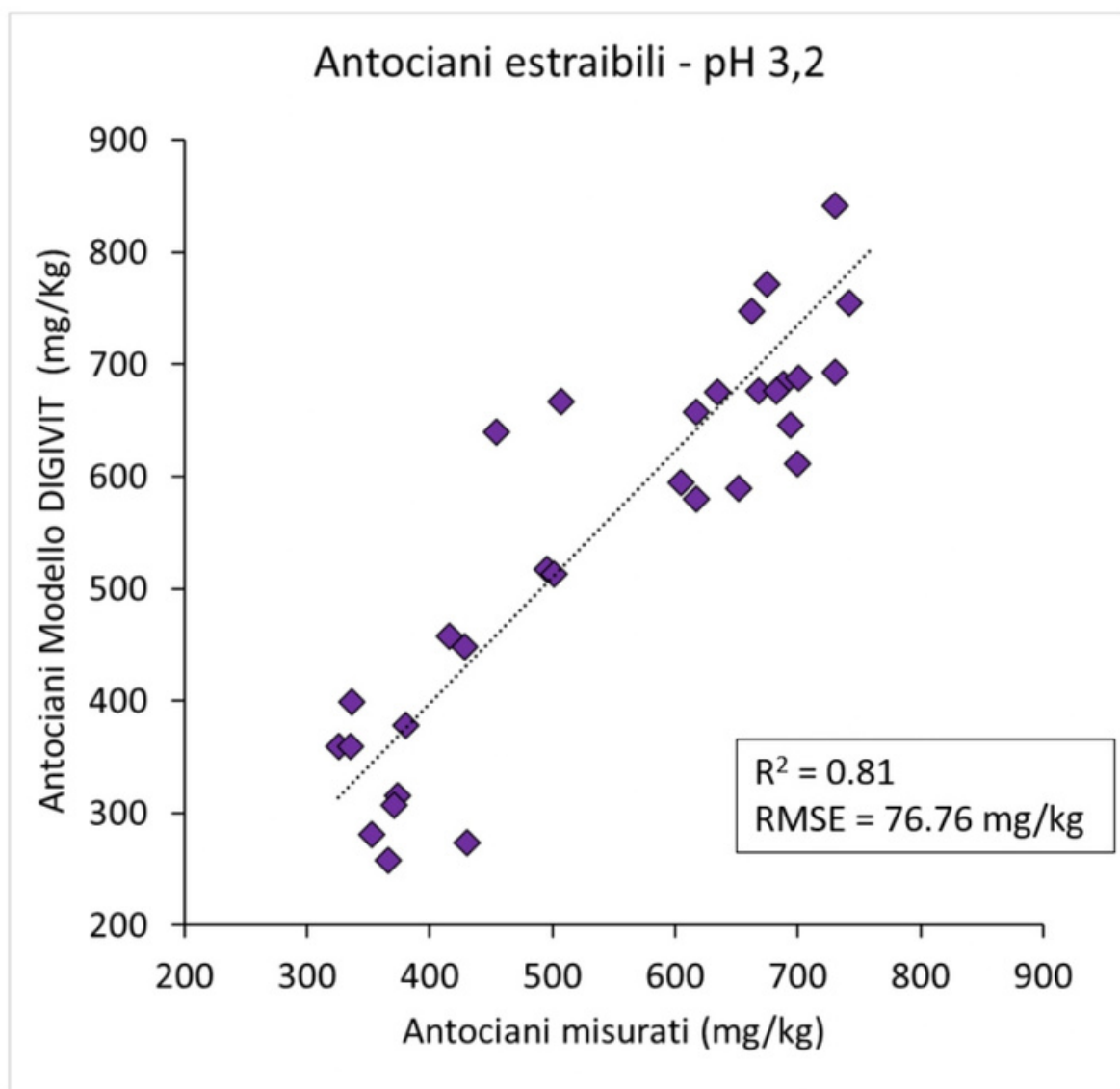


Performance della metodologia DIGIVIT per la caratterizzazione della maturità tecnologica

Studio più approfondito è stato svolto sulle potenzialità della metodologia di indagare e stimare il grado di maturità fenolica, sulla base del grado di invaiatura della buccia. Grazie ad un dettagliato campionamento svolto su WP4 presso il partner Castello di Ama che ha fornito i dati delle componenti fenoliche delle uve campione, si è potuto derivare un modello sperimentale di stima del contenuto di antociani nella buccia. Il lavoro è stato possibile grazie alla realizzazione di un

protocollo di campo in cui si è previsto l'utilizzo di pannelli multi-patch con specifici riferimenti cromatici, in dettaglio nero, blu, verde, rosso, giallo e bianco. Questi pannelli posti all'interno delle foto acquisite da drone, hanno consentito di correggere e normalizzare la componente cromatica di immagini acquisite con luce ambientale diversa. Il processo di normalizzazione ha così permesso di rendere confrontabili immagini acquisite non solo ad ore diverse, ma addirittura anni diversi.

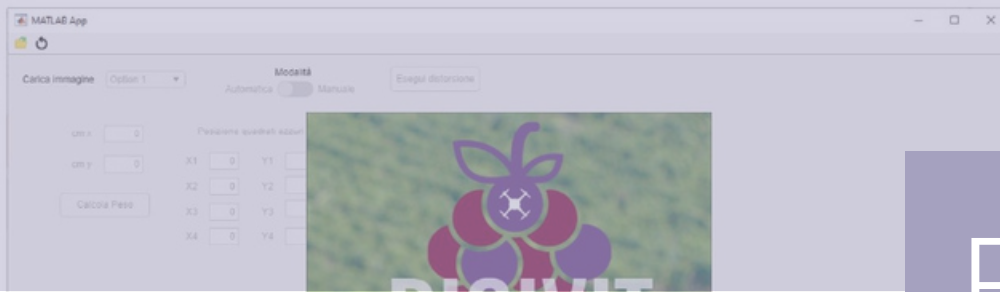
I risultati sperimentali hanno consentito di definire un modello utilizzando il dataset 2020 e 2021, e validarlo sull'ultimo dataset acquisito ed elaborato nel mese di settembre 2022. I risultati preliminari sono stati ottimi e hanno fornito un minimo errore in termini di RMSE rispetto ai dati misurati in laboratorio.



Performance del modello DIGIVIT per la stima della maturità fenolica in termini di contenuto di antociani estraibili

La stima qualitativa della produzione da immagini RGB è una sfida di estrema rilevanza, che ha colto l'attenzione di tutti gli stakeholders di filiera vite/vino con cui ci siamo confrontati nei molti eventi di divulgazione riportati nel report della

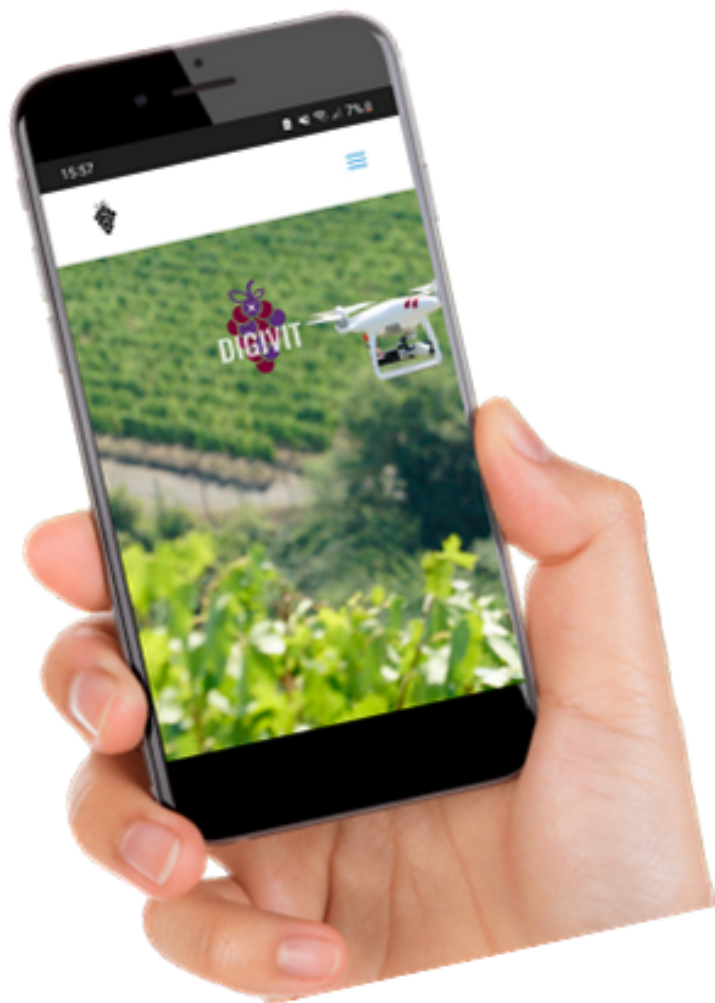
sottomisura 1.2.1 risultati del metodo DIGIVIT nella stima dei parametri qualitativi sono decisamente interessante; tuttavia, di primaria importanza resta la correzione cromatica attraverso specifici pannelli di riferimento multipatch da acquisire parallelamente alle immagini su uva. Una camera RGB è un sensore passivo che sfrutta la luce solare, diviene quindi fondamentale normalizzare le diverse condizioni di luce al fine di avere un metodo che possa essere confrontabile nonostante le diverse condizioni di luce che si possono verificare in vigneto. Un risultato importante, tuttavia, è stato ottenuto osservando gli indici più performanti. In dettaglio è emerso che indici normalizzati basati sul rapporto esistente tra le 3 componenti di colore, hanno fornito i migliori output e quindi apre la possibilità incoraggiante che con alcuni indici si possa minimizzare l'errore causato dalla variabilità della luce incidente sul dato assoluto di una componente e sfruttare il rapporto tra esse che consenti quindi di ottenere una migliore stabilità rispetto alle condizioni ambientali.



P2

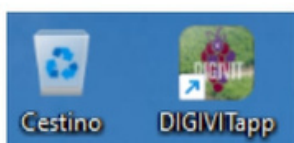


SOFTWARE DIGIVIT



Interfaccia utente user-friendly (GUI)

L'attività sperimentale svolta al fine di identificare una procedura di segmentazione dei grappoli e la stima del potenziale produttivo è stata concretizzata in un applicativo sviluppato su piattaforma MatLab The MathWorks, Inc. in grado gestire le proprie funzionalità indipendentemente della presenza del software o meno installato sul proprio dispositivo di calcolo. L'applicativo chiamato DIGIVIT App presenta un'interfaccia utente (GUI) semplice e intuitivo progettato al fine di semplificare l'utilizzo da parte di figure prive di know-how di linguaggi di programmazione.



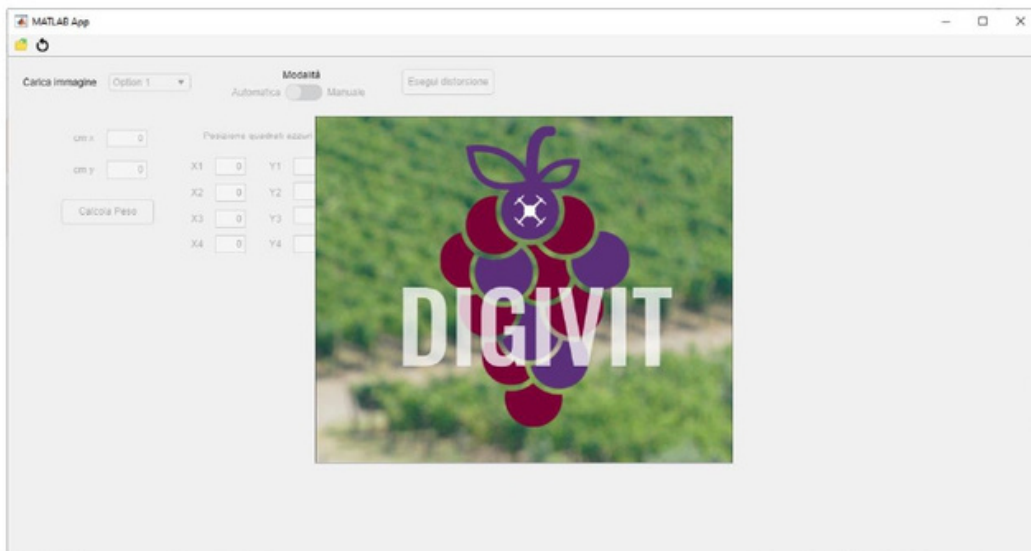
Icona desktop della DIGIVIT App

L'applicativo consente di caricare le immagini acquisite da drone sulla fascia fruttifera e di procedere in una serie di step operativi che si concludono con output di resa in kg di uva per pianta. A seguito i principali step operativi:

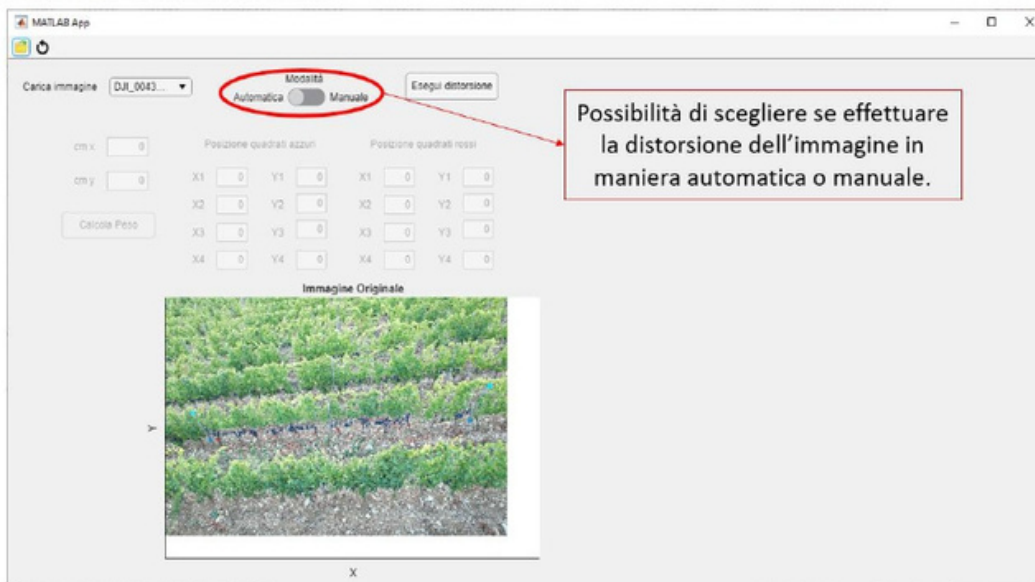
1. caricamento dell'immagine acquisita da drone relativa alla fascia fruttifera, ottenuta con foto angolata a bassa quota;
2. correzione dell'immagine per rimuovere la distorsione causata dall'acquisizione di una foto angolata su una parete fogliare verticale in un vigneto in pendenza;
3. segmentazione di porzioni del filare di 3 piante
4. segmentazione dei grappoli presenti in ciascuna porzione di immagine di 3 piante
5. applicazione dell'algoritmo di conversione della superficie proiettata 2D dei grappoli in peso di uva (kg/pianta);
6. restituzione del valore medio di resa per la parcella monitorata.

Le funzionalità dell'applicativo DIGIVIT App vengono descritte a seguito, attraverso una visualizzazione del flusso operativo step-by-step dall'interfaccia utente (GUI) sviluppata da CNR IBE.

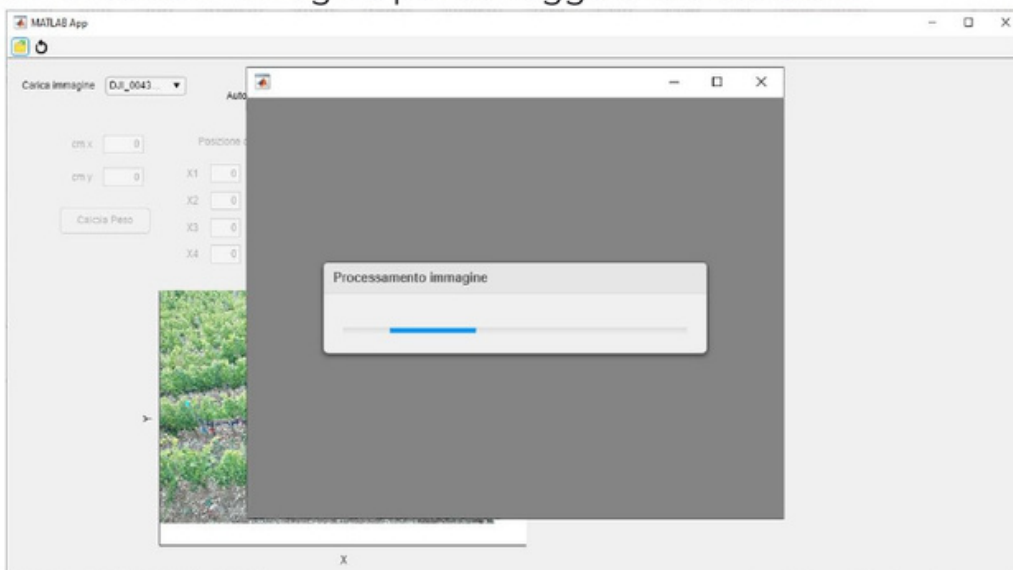
1. Una volta lanciato l'applicativo si apre la schermata iniziale su cui caricare le immagini da elaborare



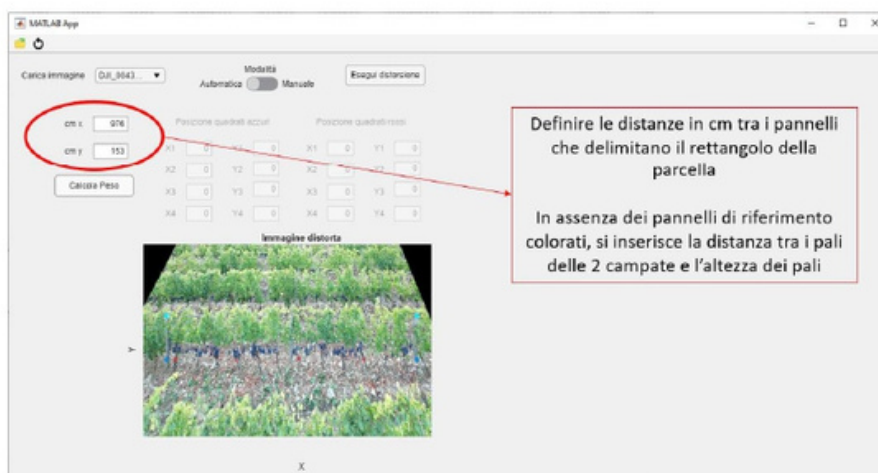
2. Eseguire la correzione dell'immagine per rimuovere le distorsioni in **modalità automatica**



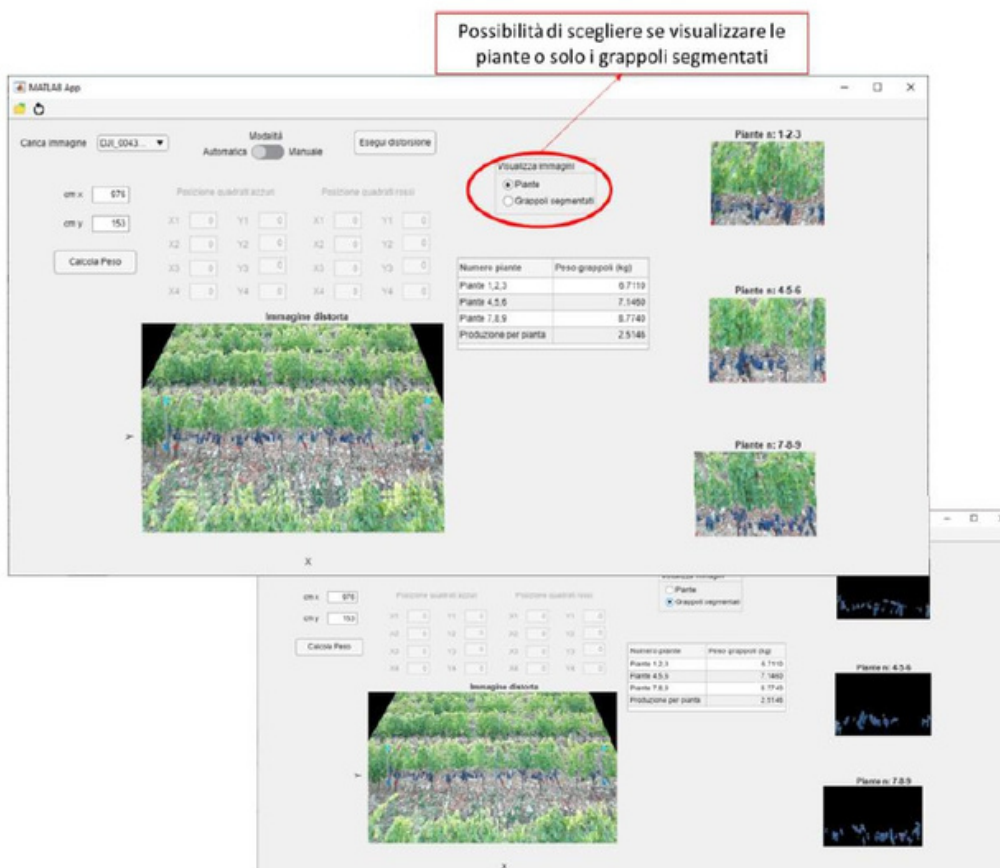
2. Processamento dell'immagine per correggere le distorsioni



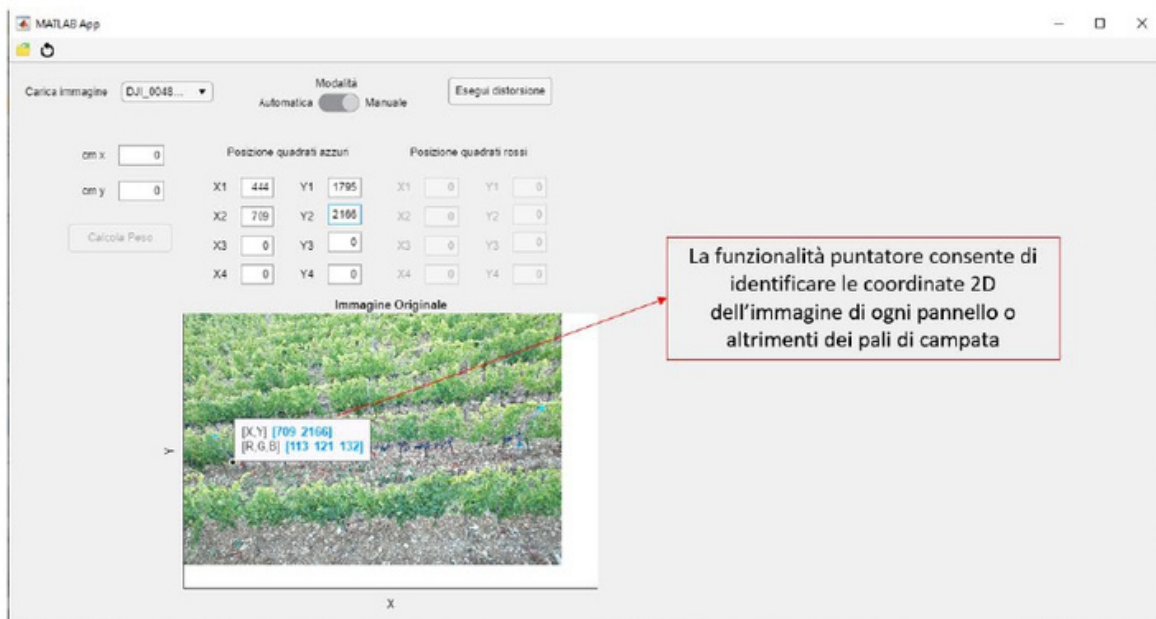
3. Conversione metrica di pixel dell'immagine e calcolo delle rese per gruppi di 3 piante



4. Visualizzazione dei risultati della segmentazione e report delle rese come valori totali per ciascun gruppo di 3 piante e come valore medio per pianta



5. Se i quadrati non vengono identificati correttamente si procede con una correzione dell'immagine in **modalità manuale** impostando le coordinate 2D dei punti di interesse dall'immagine



La DIGIVIT App integra con successo gli algoritmi di correzione dell'immagine, segmentazione della parcella di interesse, segmentazione di blocchi di 3 piante, segmentazione dei grappoli e infine conversione della superficie 2D metrica dei grappoli in peso per pianta.

Il terzo anno di monitoraggio ha confermato le funzionalità del tool sviluppato, tuttavia considerando l'importante impatto del fattore annata sulla dimensione e struttura del grappolo, nonché il rapporto buccia/polpa, ulteriori stagioni di studio consentirebbero di ottimizzare ulteriormente il tool DIGIVIT, inserendo ad esempio un coefficiente di conversione legato all'andamento climatico, in termini di termici e pluviometrici, con macroscopico impatto sullo spessore della buccia, sulla densità della polpa e mosto, sulle dimensioni dell'acino, sul livello di compattezza del grappolo.

RICADUTE ECONOMICHE E AMBIENTALI

08

Miglioramento produttività

L'applicazione del protocollo operativo messo a punto nel progetto ha messo a disposizione delle aziende uno strumento informativo rapido ed efficace per monitorare la maturazione delle uve in campo dell'intero comprensorio aziendale. Il controllo delle produzioni è un elemento chiave per ottimizzare i processi produttivi, e consente alle aziende di pianificare al meglio le scelte decisionali per operazioni in campo ed in cantina, attraverso l'individuazione più corretta del piano temporale di intervento.

Incremento dei margini di redditività aziendali

Diretta conseguenza dell'impatto sul miglioramento dei processi produttivi, è l'incremento di redditività aziendale sostanzialmente in termini di riduzione dei costi gestionali. La delineazione di un quadro oggettivo e tempestivo su ampia scala della maturazione delle uve, consente di abbattere macroscopicamente le ore/uomo necessarie per effettuare il tradizionale monitoraggio in campo. Si riduce quindi il costo del personale, ma allo stesso tempo, si rende disponibile all'azienda personale altrimenti coinvolto nel monitoraggio, permettendo così di effettuare tempestivamente e al meglio interventi tradizionali di gestione del vigneto



Sicurezza sul lavoro

L'utilizzo di droni identifica un altro aspetto di estrema importanza, ossia la sicurezza sul lavoro. I vigneti toscani sono ambienti di lavoro altamente soggetti a incidenti, principalmente causati dalle condizioni pedomorfologiche in cui suolo lavorato, elevata presenza di scheletro e pendenze rendono difficoltoso il movimento e lo svolgimento delle operazioni per gli operai. Inoltre le condizioni ambientali estreme che caratterizzano il mese di agosto, mettono a rischio la salute dei lavoratori agricoli, ad esempio non sono rari svenimenti dovuti a colpi di calore

Sostenibilità

L'adozione di tecniche di monitoraggio nell'ambito della viticoltura di precisione consente alle aziende di utilizzare prodotti per le pratiche agronomiche in maniera precisa e che rispetti i reali fabbisogni delle piante evitando sprechi che possono essere critici per l'ambiente



ATTIVITÀ DI TRASFERIMENTO

Brochure

[Link per scaricare la brochure](#)

Casi studio in azienda, incontri tematici

Nonostante i limiti imposti dal contesto pandemico globale causato dall'emergenza sanitaria COVID19, garantendo condizioni di sicurezza sono stati svolti confronti con aziende principalmente in vigneto. Molti sono stati in confronti, e le aziende sono state invitate in campo per seguire i rilievi da drone durante sopralluoghi mirati alla preparazione e gestione delle parcelle sperimentali, che durante test operativi e infine durante le campagne di monitoraggio svolte in fase di invaiatura e maturazione nel periodo che precede la vendemmia.

Al termine della stagione 2021 è stato organizzato un Field Day presso uno dei vigneti studio del partner Marchesi Mazzei presso la tenuta Castello di Fonterutoli. In occasione dell'evento svoltosi il 23 settembre, oltre a tecnici e agronomi abbiamo avuto la partecipazione di referenti della Regione Toscana che hanno potuto "toccare con mano" i risultati del progetto, tra i presenti il dr. Alessandro Compagnino, dirigente del Settore Attività Gestionale sul livello territoriale di Firenze e Arezzo della Direzione Agricoltura E Sviluppo Rurale. In particolare, oltre alla presentazione del partenariato e dell'approccio tecnologico e metodologico sviluppati, il partner tecnologico ha illustrato le specifiche tecniche dei droni prototipali e ha effettuato dei voli demo per dimostrarne il funzionamento e l'operatività raggiunta. La semplicità di utilizzo dei droni sviluppati a promozione della diffusione del mondo operativo è stata stimolata facendo provare a pilotare i droni sia al dirigente della Regione Toscana che ai tecnici aziendali. Al termine, si è svolto un confronto molto interessante e costruttivo incentrato sulle criticità e limiti del trasferimento tecnologico delle soluzioni digitali alle realtà aziendali produttive



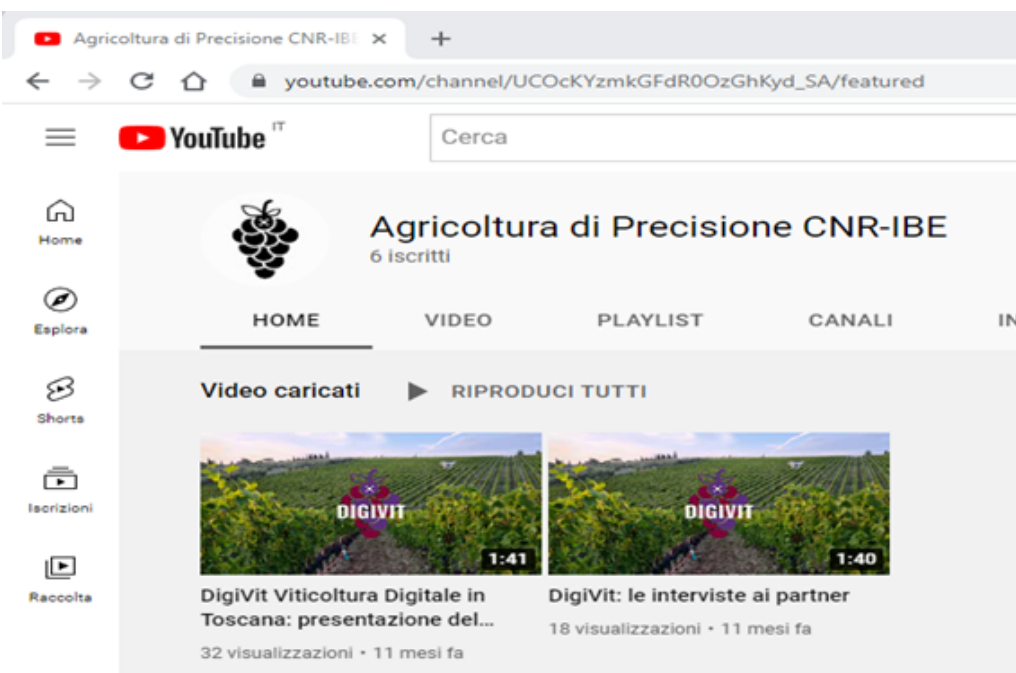
Field Day organizzato nel corso della stagione 2021 presso Castello di Fonterutoli Marchesi Mazzei

Canali social media

Nel corso della durata complessiva del progetto DigiViT, la divulgazione informative delle attività svolte all'interno del progetto è stata svolta durante le campagne di monitoraggio estive (stagione produttiva 2020-2021-2022) attraverso i canali social gestiti dal capofila CNR-IBE. Nello specifico è stata utilizzata la piattaforma web Facebook sul profilo "AgricolturaPrecisioneCnr" e la piattaforma Twitter sul profilo "@TechAgriculture".

Su tutti i canali social è possibile identificare materiale informativo, foto e video relativi alle attività sperimentali svolte presso i vigneti delle aziende agricole partner. Inoltre, è stato sviluppato un canale YOUTUBE in cui sono stati caricati contenuti video relativi al progetto realizzati in campo durante un field day DIGIVIT con le aziende.

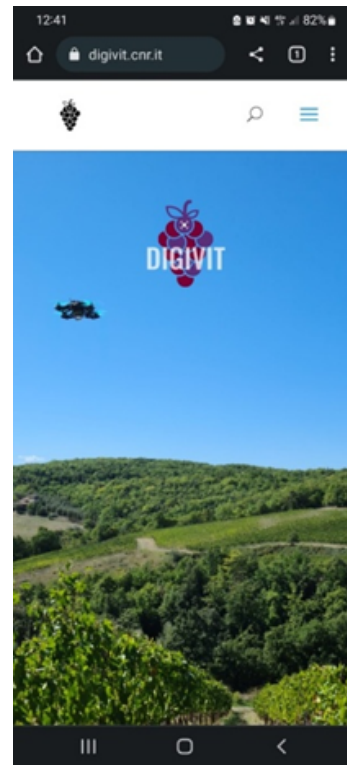
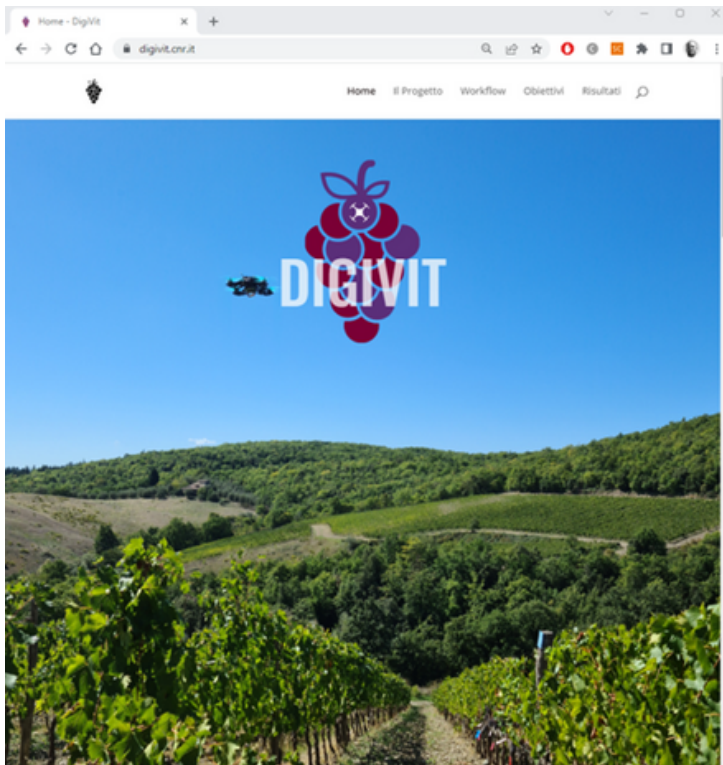
https://www.youtube.com/channel/UCOcKYzmkGFdR0OzGhKyd_SA/featured



Sito web DIGIVIT

Il progetto è inoltre stato inserito in rete per ampia divulgazione, attraverso la progettazione e realizzazione sito web responsive ed ottimizzazione SEO di base comprensivo di funzionalità flowchart, wireframe con ampia attenzione dedicate alla progettazione grafica. Il sito web del progetto www.divigit.cnr.it è stato realizzato da Yoono-Lab, e integra tutti gli aspetti del progetto, dal contesto in cui si colloca l'idea, al workflow operativo e ai risultati ottenuti. La sezione news è inoltre popolata con articoli aggiornati sulle attività del progetto. Il sito web DIGIVIT è stato realizzato con un approccio di progettazione tale da renderlo uno strumento aggiornato alle nuove tecnologie e alle nuove possibilità di implementazione di contenuti multimediali

Link sito web DIGIVIT
www.digivit.cnr.it



Schermato Home del sito web DIGIVIT www.digivit.cnr.it sia in versione desktop che mobile

Articolo divulgativo VVQ - Tecniche Nuove

Il progetto DIGIVIT è stato presentato e descritto nei suoi risultati tecnologici e applicativi in un articolo preparato da CNR-IBE e pubblicato sulla rivista nazionale VVQ – VigneVini e Qualità del gruppo Tecniche Nuove, Edagricole (<https://vigneviniequalita.edagricole.it>). Il progetto è stato selezionato come contributo da inserire in uno special sulla Viticoltura di Precisione pubblicato sul numero di Aprile 2021. Il titolo scelto per il contributo è stato: “Il Progetto DigiViT: droni per la stima delle rese e della maturità fenolica”. La rivista in oggetto ha consentito ampia visibilità al progetto, e ha concesso ampia divulgazione a seguito di numerosi inviti a convegni e seminari per presentare a tecnici e accademici l'obiettivo e i risultati del progetto DIGIVIT

Il Progetto DigiViT: droni per la stima delle rese e della maturità fenolica

Salvatore Filipo Di Genaro, Alessandro Maleno - Istituto per lo studio economico (ISE), Dipartimento di Scienze Agroalimentari del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-CASALE) - Ivrea
Andrea Berben - Istituto di Fisiologia Cereale (IFC), Dipartimento di Scienze Biomediche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-CISEL) - Pisa
Gianluca Pulgarini - Casale di Fontanafredda - Marchese Motta Sola, Casale di Fontanafredda - Marchese Motta Sola, Casale di Fontanafredda - Marchese Motta Sola
Mattia Tognarelli - Azienda Agricola Gennaro, Casale di Fontanafredda - Marchese Motta Sola
Filippo Vigari - Casale di Fontanafredda - Marchese Motta Sola
Simone Ghisù - Sigma Ingegneria S.L. - Luino

Negli ultimi anni la ricerca scientifica nell'ambito della viticoltura di precisione ha fornito tecnologie sempre più performanti e all'avanguardia per il monitoraggio e la gestione sito-specifica in vigneto. Si è osservata una crescente diffusione dell'utilizzo di droni in viticoltura, grazie all'alta flessibilità di impiego, costi operativi ridotti e un'elevatissima risoluzione spaziale. I prodotti di attività di monitoraggio che sempre più aziende di servizio propongono al viticoltore si concretizzano

generalmente in mappe di vigore dei singoli appezzamenti che descrivono aspetti della variabilità spaziale. La conoscenza di questo tipo di prodotto è abbastanza consolidata per la maggior parte degli agronomi, tuttavia non sono molte le aziende che accedono a servizi di mappatura dei loro vigneti. Inoltre, accade che nei casi in cui siano disponibili tali informazioni non se ne sfrutti il reale potenziale, finendo "nel cassetto" dell'agronomo.

Si osserva un ritardo nella diffusione e integrazione di questo tipo di prodotti di caratterizzazione spaziale nella quotidiana gestione del vigneto, non necessariamente con tecnologia a rateo variabile, ma in modo efficace anche con interventi differenziati omogeneamente. Le motivazioni possono essere individuate come costi di acquisto di servizi di mappatura da drone o la sensibilità dell'azienda a investire in queste tecnologie. Inoltre, deve essere considerato il livello di formazione dell'agronomo per una corretta interpretazione di questo tipo di supporti digitali soprattutto a livello di softwareGIS, ma anche più semplicemente di immagini di mappe classificate del vigneto. Questo può essere ulteriormente aggravato da aziende di servizio di monitoraggio da drone scarsamente competenti che forniscono output complessi, di difficile



LA PREVISIONE DELLE RESE DELL'UVA È UN'INFORMAZIONE IMPORTANTE PER AIUTARE L'AGRONOMO NELLE SCELTE GESTIONALI

VINO NUMERO TRE - APRILE GIUGNO 2021

Articolo divulgativo su rubrica Osservatorio Progetti MilleVigne

MilleVigne curato dalla responsabile scientific dr.ssa Alessandra Biondi Bartolini ha pubblicato un articolo di sintesi del progetto dal titolo "DigiViT: stima delle rese e della maturazione con la viticoltura di precisione" pubblicato su MilleVigne vol. 3/2021 (<https://www.millevigne.it/?s=digivit>). L'articolo è stato inserito nella Rubrica Osservatorio, strumento che nasce con l'obiettivo di segnalare ai lettori i progetti più interessanti su innovazione tecnologica che si stanno svolgendo nelle diverse regioni anche quando sono ancora nelle loro fasi iniziali o in corso, per poi successivamente quando i risultati sono completi dare loro eventualmente spazio negli articoli sulle pagine della rivista

Osservatorio progetti

DigiViT: stima delle rese e della maturazione con la viticoltura di precisione

Il Piano Strategico di Gruppo Operativo presenta il progetto DigiViT (collettivo dal 2019-2020 della Regione Toscana) che mira allo sviluppo di una metodologia a basso costo per la stima precisa di parametri produttivi in vigneto, attraverso il ricorso a sensori automatici dei gruppi di sensori RGB acquisite da droni a bassa quota in vigneto.

- l'obiettivo primario è di definire protocolli di monitoraggio della produzione e sviluppo di algoritmi di riconoscimento dei gruppi, oltre alle rese e analisi correlate per la stima della maturazione fenolica;
- sviluppo di 3 droni industriali equipaggiati per la fase di studio e monitoraggio sperimentale di un prodotto specifico di peso inferiore a 50kg, con caratteristiche adatte per essere usati in alto dettaglio dei vigneti;
- disseminazione dei risultati ottenuti ai diversi soggetti coinvolti nella filiera vitivinicola e alle istituzioni.

Il progetto DigiViT, Viticoltura Digitale in Toscana, ha come area di studio il Chianti Classico nelle aziende partner Casale di Fontanafredda e Marchese Motta Sola Agricola, Azienda Agricola Gennaro e Casale di Fontanafredda per la **Bioeconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IBD) svolge il ruolo di capofila e partner scientifico**, mentre Sigma Ingegneria s.r.l. è il partner tecnologico. Durata: 12 mesi (inizio nel novembre 2019).

Albergo: www.digivit.it
 Facebook: [Agricoltura Precisione CNR](https://www.facebook.com/digivit)
 Twitter: [@ibdaagricoltura](https://twitter.com/ibdaagricoltura)

QUALSHELL - valutazione quantitativa delle rese e monitoraggio del processo e della shelf life del vino

Il progetto QUALSHELL QUANTITÀ E SOSTA (2019-2021) VINCI, finanziato nell'ambito della misura 16.1.1 del PSR Regione Piemonte, riguarda lo studio, la messa a punto e l'implementazione di strumenti semplici e rapidi per la valutazione in campo della qualità di un vitigno, che è basso, oltre che sul fronte economico e sociale, sul contenimento di metaboliti secondari, quali polifenoli e ammi. La messa a punto di questi nuovi metodi rapidi e portatili, che vengono utilizzati prima di vendita con i tradizionali metodi analitici di laboratorio. Le metodiche saranno quindi impiegate per la valutazione della composizione e della qualità di un vitigno e l'abbigliamento del vigneto.

La seconda parte del progetto si svolgerà in pratica e riguarderà la produzione di tecniche rapide (metodi spettroscopici) e sensori per il monitoraggio del processo di conservazione, quali la NIR, e l'analisi correlata da dati.

Partner scientifici del progetto QUALSHELL sono il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA-VE-Asti) IgeaItalia, l'Università di Torino (DCA) e l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM).

Il progetto partecipa le aziende partner: Sine del Senale, Fiesi Cantina, Roccaforte, Antichi Poderi Marchesi di Barolo, La Roccella, Vigneti Gennaro, Sanchi, Vigneti Martin, Grasso Sabato, Nelli Dato.

Altri partner: Vassallo Orlino, IREBIOEMICA.

Albergo: <https://www.qualshell.com/>

QualShell - Qualità e shelf-life del vino

IRIPRESO

Articolo Divulgativo Progetto DIGIVIT – MilleVigne 3/2021

Pubblicazioni scientifiche

Attualmente è in fase finale di produzione una pubblicazione scientifica internazionale con i risultati del progetto DigiViT che sarà sottomessa prossimamente sulla rivista scientifica di estremo rilievo internazionale (Impact Factor 6.627) *Frontiers in Plant Science* section *Technical Advances in Plant Sciences* su uno Special Issue curato in qualità di editor dal responsabile scientifico del capofila CNR IBE Salvatore Filippo Di Gennaro. Il topic dello special Issue è *Fruit Detection and Yield Prediction on Woody Crops Using Data from Unmanned Aerial Vehicles*, che ha lo scopo di dare rilievo a nuovi metodi di analisi dei dati acquisiti dagli UAV riguardanti il rilevamento dei frutti e la previsione della resa su colture arboree in generale, e quindi anche la vite.

<https://www.frontiersin.org/research-topics/17986/fruit-detection-and-yield-prediction-on-woody-crops-using-data-from-unmanned-aerial-vehicles#overview>

Workshop finale di progetto

L'attività svolta nel corso di 3 annate vegetative 2019-2022 viene infine divulgata ad ampia platea di partecipanti in occasione dell'evento di fine progetto, il 10 ottobre in modalità webinar online. L'evento ha come obiettivo presentare il progetto ed i risultati raggiunti contestualizzando il tutto in uno scenario più ampio di viticoltura digitale realizzato invitando player strategici a livello nazionale. I soggetti invitati sono coinvolti al fine di enfatizzare i risultati del progetto puntando sull'attualità del topic e sull'importanza del trasferimento di strumenti di viticoltura digitale nel mondo operativo.

L'incontro è moderato da Alessandro Matese del Cnr-Ibe, con interventi di Fausta Fabbri della Regione Toscana per illustrare l'esperienza dei progetti strategici dei gruppi operativi Toscana, mentre Giovanni Bigot, Perleuve, per l'importanza dello scouting in vigneto; spazio poi alle aziende DigiViT: Fonterutoli, Castello di Ama e Cennino. Il progetto DigiViT è presentato da Salvatore Filippo Di Gennaro di Cnr-Ibe; Elisabetta Papallo di Sigma Ingegneria mostra lo sviluppo dei prototipi di droni del progetto DigiViT. Focus sulla viticoltura digitale con Cristiano Spadoni di Image Line® e sulla necessità di trasferimento e formazione con Alessandra Biondi Bartolini di MilleVigne. Giuliano Preghenella racconta la propria esperienza di viticoltore digitale, mentre Marina Tinacci Mannelli di Mulini di Segalari spiega l'utilizzo dei droni in vigneto



DIGIVIT
VITICOLTURA DIGITALE IN
TOSCANA

INTERVENTI

Alessandro Matese (CNR-IBE) moderatore

- Fausta Fabbri (Regione Toscana): L'esperienza dei progetti strategici gruppi operativi toscana
- Giovanni Bigot (Perleuve): Importanza dello scouting in vigneto
- Aziende DIGIVIT Fonterutoli, Castello di Ama e Cennino
- Salvatore Filippo Di Gennaro (CNR-IBE): Progetto DIGIVIT
- Elisabetta Papallo (Sigma Ingegneria): Lo sviluppo dei prototipi di droni del progetto DIGIVIT
- Cristiano Spadoni (ImageLine): Viticoltura digitale
- Alessandra Biondi Bartolini (MilleVigne): Necessità di trasferimento e formazione
- Giuliano Preghenella: Viticoltore digitale
- Marina Tinacci Mannelli (Mulini di Segalari): Utilizzo di droni in vigneto

Tavola rotonda

 10 OTTOBRE 2022

 15.00 - 17.00

 ONLINE WEBINAR




























ALGORITMI DI SEGMENTAZIONE AUTOMATICA

DRONI Made in Tuscany

MAPPA DI RESA

96.3% ASSICURATEZZA

QR CODE

Link:

<https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agricoltura-economia-politica/2022/09/30/evento-online-digivit-la-gestione-del-vigneto-e-piu-semple-con-il-digitale/77174>



Webinar: Viticoltura Digitale in Toscana

Webinar conclusivo del progetto DigiVit: Viticoltura digitale in Toscana. Lunedì 10 ottobre alle ore 15 saremo online.

Divulgazione Convegni ed Eventi

Lo sviluppo tecnologico e metodologico realizzato nel corso del progetto DIGIVIT è stato presentato in una serie di eventi chiave dedicati all'innovazione digitale in agricoltura di precisione. In tali eventi gli output del progetto sono stati presentati sia con approccio divulgativo che formativo, al fine di raggiungere una platea sia scientifica che operativa aziendale. I ricercatori di diversi enti pubblici e private hanno potuto ricevere un aggiornamento su una tecnica sviluppata per la prima volta in Toscana, in quanto da letteratura internazionale ad oggi non ci sono altri lavori basati su stime produttive da segmentazione automatica di 2D di immagini RGB acquisite da drone. I risultati del progetto DigiViT attualmente sono un output di ricerca applicata d'avanguardia a livello internazionale.

- MACFRUIT 2021, 9 settembre 2021 - *partecipanti: 50*
- Earth Technologies Expo, 15 ottobre 2021 - *partecipanti: 100*
- Evento progetto AGRIDIGIT CREA 14 dicembre 2021 - *partecipanti: 25*
- Fieragricola Verona, 2-5 marzo 2022 - *partecipanti: 1000*
- DEMO FARM DAY, 31 maggio 2022 - *partecipanti: 25*
- Evento Digital-Grape, 30 giugno 2022 - *partecipanti: 30*
- Notte dei Ricercatori, 30 settembre 2022 - *partecipanti: 200*

MACFRUIT 2021, 9 Settembre 2021

Un evento di eccellenza cui sono stati presentati i risultati del progetto DIGIVIT è stato effettuato in occasione di MACFRUIT 2021 in data 9 Settembre 2021 presso SALA MIMOSA del RIMINI EXPO CENTRE. Organizzato nell'ambito del Progetto INNOVAMARCHE, l'evento ha creato una tavola rotonda con l'intenzione di promuovere il confronto tra i GO italiani che operano sui temi legati all'agricoltura di precisione, con focus sull'utilizzo dei droni e sulle relative implicazioni tecniche, legali, organizzative, etc. al fine di: favorire lo scambio delle conoscenze ed il trasferimento delle innovazioni testate; stimolare la creazione di partenariati più ampi, anche in vista del prossimo periodo di programmazione del PSR; verificare la possibilità di accedere a finanziamenti europei (programma H2020, LIFE, ecc.). Nel corso dell'evento Alessandro Matese ha illustrato dettagli e finalità del progetto, come introduzione all'intervento del partner DIGIVIT Sigma Ingegneria.

Link evento: <https://www.innovamarche.it/eventi/eventi-networking-dei-go/event/93-utilizzo-dei-droni-in-agricoltura-di-precisione>

Evento progetto AGRIDIGIT – CREA 14 dicembre 2021

CNR IBE è stato invitato a presentare esperienze di telerilevamento da drone e in particolare le attività e i risultati del progetto DIGIVIT all'evento webinar organizzato dal CREA nell'ambito delle attività divulgative del progetto AGRIDIGIT, sotto-progetti Selvicoltura e AgroFiliere "Tecnologie digitali integrate per il rafforzamento sostenibile di produzioni e trasformazioni agroalimentari", finanziati dal Mipaaf.

L'evento dal titolo "Agricoltura del futuro: entrano in campo i droni" ha permesso di introdurre il ruolo dei droni in viticoltura di precisione e come il progetto DIGIVIT ha realizzato un approccio innovativo sull'applicazione di piattaforme tradizionalmente utilizzate solo per creare mappe di vigore.

Link video evento:

https://www.youtube.com/watch?v=iLfmTiDmUIQ&ab_channel=CREA-Ricercadavedere

FIERAGRICOLA 3-4 marzo 2022

Il progetto DIGIVIT ha trovato ampio spazio di divulgazione in occasione della 115ª edizione di Fieragricola, organizzata presso Fiera di Verona. Un'edizione di successo, che nonostante sia stata posticipata da gennaio a marzo a causa della pandemia, ha registrato 68 mila operatori professionali da 80 nazioni. In quattro giornate, la rassegna internazionale biennale dedicata all'agricoltura ha accolto più di 520 espositori, riservando un focus particolare al digital farming. In fiera a Verona sono arrivate delegazioni organizzate di top buyer stranieri da 29 Paesi target, di cui per il 72% dall'Europa, il 12% dall'Africa, l'11% dall'Asia e il 5% dall'America.

In questo contesto, CNR-IBE ha acquistato uno stand con uno spazio dedicato al progetto DIGIVIT, in cui sono stati esposti i prototipi sviluppati, illustrando il progetto con il supporto di materiale grafico, quali roll-up, brochure, penne con logo, blocchi ed altri gadget distribuiti ai molti interessati che hanno richiesto informazioni e dettagli sul progetto.

DEMO FARM DAY 31 maggio 2022

I risultati del progetto DIGIVIT sono inoltre stati presentati in occasione del DEMO FARM DAY presso la Tenuta di Cesa (Arezzo) cui sono stati invitati un ampio numero di studenti di Istituti Agrari della Regione Toscana. L'evento ha generato l'occasione di illustrare le potenzialità dei droni non solo per realizzare tradizionali mappature dei vigneti, ma stimolare i futuri agronomi a riflettere su nuove applicazioni della tecnologia così come il progetto DIGIVIT nato da un'idea è diventato realtà grazie all'impegno combinato di ricerca, aziende tecnologiche e aziende agricole e il supporto economico della Regione Toscana.

Evento Digital-Grape, 30 giugno 2022

Il progetto DIGIVIT è stato inoltre presentato il 30 giugno 2022 in occasione dell'evento relativo al 2° incontro di Comunità Di Pratica della Regione Puglia - focus viticoltura da tavola, in cui si sono confrontati i risultati ottenuti da 2 differenti GO realizzati su distinte regioni. Nello specifico Digital Grape (PSR 2014-2020 – MIS. 16 – Cooperazione – Sottomisura 16.2 - Sostegno a progetti pilota e allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie – Avviso pubblico approvato con DAG n. 194 del 12/09/2018) per la regione Puglia e Digivit per la Regione Toscana. Entrambi i progetti focalizzati su aspetti diversi, sono accomunati dallo sviluppo e promozione di utilizzo di strumenti di viticoltura digitale, e relative trasferimento alle aziende.

Link evento: <https://digitalgrape.it/news.html>

Notte dei Ricercatori, 30 settembre 2022

Il progetto DIGIVIT è stato presente alla notte dei Ricercatori che ha avuto luogo a Livorno il 30 settembre 2022. Il Consiglio Nazionale delle Ricerche con l'Istituto per la BioEconomia (Cnr-Ibe), il Centro interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata – CIBM e Aplysia Ricerche Applicate, la Capitaneria di Porto, il Consorzio Lamma e la Scuola Superiore Sant'Anna hanno aperto le loro porte al pubblico per far visitare laboratori e spiegare le attività di ricerca del polo. Il progetto DIGIVIT è stato selezionato per presentare ad un'ampia platea l'idea alla base del progetto e le soluzioni tecnologiche sviluppate. L'intervento si è svolto presso uno stand dedicato alle attività scientifiche CNR-IBE. In occasione dell'evento è stato esposto e presentato il prototipo a basso peso sviluppato all'interno del progetto DIGIVIT per applicare la metodologia di stima della produzione in vigneto.

Link evento

<https://www.scienzainsieme.it/notte-europea-dei-ricercatori/le-citta-2022/eventi-livorno/>

<https://www.ibe.cnr.it/blog/2022/09/23/la-notte-dei-ricercatori-e-delle-ricercatrici-la-ricerca-scientifica-al-polo-tecnologico-scoglio-della-regina-apre-le-porte/>

Link programma

https://www.ibe.cnr.it/wp-content/uploads/2022/09/Attivita%CC%80_sito_IBE_Notte_EU_def.pdf

Earth Technologies Expo, 15 ottobre 2021

Il progetto DIGIVIT è stato selezionato come caso studio da presentare nel corso del workshop “Prospettive e sviluppo della sensoristica e della robotica in agricoltura” svolto in data venerdì 15 ottobre 2021 presso alla Fortezza da Basso, in occasione della fiera Earth Technologies Expo. L'evento supportato dal mondo della ricerca e il mondo accademico ha voluto focalizzare l'attenzione su due aspetti tecnologici di grande rilevanza nel quadro dell'applicazione dei principi dell'Agricoltura 4.0. Unitamente al progetto DigiViT, sono stati presentati altri casi studio costituiti da progetti di innovazione finanziati con le risorse messe a disposizione da due fondi strutturali dell'Unione europea (FEASR e FESR), come esempi di grande interesse in termini applicative delle nuove tecnologie in ambito agricolo e forestale.

Link: <https://www.regione.toscana.it/-/workshop-prospettive-e-sviluppo-della-sensoristica-e-della-robotica-in-agricoltura>

Materiale divulgativo e gifts del progetto DIGIVIT distribuiti durante gli eventi



Conclusioni

La disponibilità di osservazioni in campo nel corso della stagione è una criticità in vigneto, tuttavia gli interventi di scouting svolti da un operatore a terra sono estremamente time-consuming, soprattutto su ampie superfici viticole molto frazionate, spesso caratterizzate da condizioni difficili al passaggio come ad esempio elevate pendenze e suoli lavorati o bagnati. Inoltre, quando non si riesce a sfruttare le ore più fresche della giornata, gli alti regimi termici e radiativi della stagione estiva espongono gli operatori a rischi altamente sottostimati in agricoltura. Altro fattore da considerare il fatto che la scelta soggettiva delle piante e grappoli da monitorare in campo può fornire dati poco rappresentativi della reale variabilità del vigneto. Il valore aggiunto fornito dal progetto DigiViT alle aziende sarà individuato in un incremento della produttività e competitività vista come riduzione delle ore lavoro necessarie ai campionamenti e stime più accurate grazie a un metodo oggettivo e replicabile nel tempo. La disponibilità di stime delle dinamiche di maturità fenolica permetterà di pianificare al meglio la data di vendemmia ed ottimizzare la pianificazione e la logistica del lavoro in cantina. La messa a punto di un sistema informativo semplice e compatto in grado di fornire dati altamente fruibili di resa e maturità, ha l'ambizione infine di stimolare ed accompagnare le aziende vitivinicole nel percorso fisiologicamente graduale che porterà dell'integrazione di un approccio digitale di viticoltura.

L'ampia divulgazione realizzata attraverso incontri, pubblicazioni tecniche e scientifiche, webinar e sito del progetto e networking dei risultati ottenuti ha permesso di trasferire, non solo alle aziende partner del progetto ma anche altre nel territorio toscano per esempio a Bolgheri, gli esempi di approccio virtuoso al problema della stima delle produzioni e qualità in viticoltura. L'intensa partecipazione ad eventi divulgativi ha mostrato interesse per l'argomento e ha permesso di veicolare informazioni che i modelli studiati possono essere riprodotti nelle realtà aziendali della regione Toscana, ma anche pienamente applicabili in altre realtà regionali.

Conclusioni

TECNOLOGIE

Tecnologie innovative MADE IN TUSCANY

- Droni
- Intelligenza artificiale
- Ingegneria Toscana

SOFTWARE

Software fruibile per le aziende

- Produzione
- Qualità
- User-friendly

DIVULGAZIONE

Diffusione delle tecniche di viticoltura di precisione

- www.digivit.cnr.it
- @TechAgriculture
- Agricoltura di precisione CNR