

Seminario:

Master Agricoltura di Precisione.  
Presentazione delle relazioni finali

11 dicembre 2025

*Relatori*

Marco Vieri (coordinatore), Marco Benfenati, Andrea Biagini, Jacopo Cioce,  
Vito Desiante, Angelo Di Francesco, Sergio Florio, Francesco Fracassini,  
Eleonora Gragnoli, Giulio Guarino, Luca Maggi, Federico Palaferri,  
Giacomo Poggesi, Alessandro Rimondi, Anastasia Sablone, Teodoro Scalera,  
Elisa Strati, Raoul Terenzi, Giacomo Tontoni, Matteo Verdi

## Sintesi

L'Accademia dei Georgofili persegue, tra i suoi principi fondanti, la promozione dell'istruzione (conoscenze) e dell'educazione (approccio) nei diversi settori agricoli. In linea con questa missione, l'Accademia favorisce costantemente la creazione di sinergie e collegamenti con le istituzioni preposte al settore.

In tale contesto, un'attenzione particolare è stata riservata al Master in Agricoltura di Precisione, un programma di alta formazione gestito dall'Università di Firenze in collaborazione con le Università di Teramo, Viterbo, Salerno e Padova, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), il Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria (CREA) e con associazioni pilota di rilievo.

L'Agricoltura di Precisione (AP) costituisce il mezzo strategico essenziale per implementare un modello di agricoltura rigenerativa. Per garantirne la diffusione e l'efficacia, si rende indispensabile una preparazione ampia e qualificata mirata a far evolvere la mentalità generale del settore e a sviluppare le necessarie conoscenze e competenze.

Il Master si posiziona al centro dell'innovazione agricola attuale, assolvendo al maggiore punto critico che ostacola l'adozione effettiva dell'AP nelle imprese: la formazione del capitale umano. Questa transizione verso la digitalizzazione rappresenta una vera e propria rivoluzione tecnologica e metodologica, che impone un deciso cambio di impostazione. La sfida del futuro agricolo è affidata, in gran parte, all'apertura e alla mentalità proattiva delle nuove generazioni.

L'evento del 11 dicembre 2025 rappresenta un'importante occasione di condivisione, accogliendo presso la sede dell'Accademia studenti, ricercatori, docenti, imprenditori e consulenti.

Tra i molteplici aspetti analizzati e presentati, si annoverano: i metodi di ricerca applicati, il machine learning, lo sviluppo di algoritmi di analisi, e i criteri per l'adozione di procedure e tecnologie avanzate nelle attività aziendali.

MARCO BENFENATI

*Dalla mappatura del suolo alla progettazione di un impianto microirriguo: un caso studio*

La conoscenza delle caratteristiche e della variabilità spaziale del suolo è oggi riconosciuta come fondamentale nella progettazione degli impianti e nella gestione razionale delle colture, obiettivo primario degli approcci di Agricoltura di Precisione. In questo senso la mappatura della conducibilità elettrica (CEa) del suolo e le misure di riflettanza Vis-NIR si sono affermate sempre più come utili strumenti.

In questo lavoro di tesi sono stati impiegati dati di CEa e riflettanza nel rosso (R) e infrarosso (IR) raccolti attraverso un sensore mobile iScan di Veris® Technologies per determinare la suddivisione di un actinidieto di 3,3 ha in tre zone omogenee (MZ). Tale partizione è stata impiegata per orientare il prelievo di campioni di suolo da destinare all'analisi di laboratorio delle principali proprietà fisico-chimiche. I risultati delle analisi hanno poi costituito la base per lo sviluppo di uno schema che ha permesso di stimare il raggio di bagnatura in superficie per varie combinazioni di portata, spaziatura, volume di adacquamento e umidità iniziale del suolo. Confrontando, infine, questi risultati con la distanza tra i gocciolatori è stato possibile identificare le caratteristiche tecniche dei componenti dell'impianto microirriguo ottimizzate per lo specifico sito, caratteristiche che sono risultate differenti da quelle dell'impianto attualmente presente nel sito.

ANDREA BIAGINI

*Applicazione della vendemmia manuale selettiva supportata da tecnologie remote: un caso studio in Toscana*

La necessità di ottimizzare i processi produttivi in ambito vitivinicolo è ormai il presente e Cinciano, azienda agricola del Chianti Classico, ha cominciato ad approcciarsi a queste tecnologie iniziando con una mappatura aziendale della vigoria per poi passare a una raccolta manuale differenziata su una parte di essa per la produzione del vino Chianti Classico Gran Selezione. Grazie all'aiuto di Agrobot, azienda specializzata in agricoltura di precisione, si è dap-

prima mappata tutta la superficie vitata con drone per produrre le mappe di prescrizione e da queste, su soli quattro ettari, sono stati individuati dei punti specifici per effettuare il campionamento delle uve, analizzando la maturità tecnologica e polifenolica. Una volta appurate le differenze tra le tre aree di prescrizione, si è proceduto a organizzare una raccolta in tre passaggi consecutivi, dividendo i tre raccolti in altrettante vasche di vinificazione e lavorandole con gli stessi protocolli in maniera da ridurre le variabili che potessero influenzare il risultato finale. Una volta terminata la fermentazione alcolica sono stati analizzati i parametri di base, come alcol, acidità e contenuto polifenolico del vino, notando anche in quest'ultimo passaggio, delle differenze tangibili tra le tre partite di vino. Si tratta di un primo approccio al mondo dell'agricoltura di precisione da parte di un'azienda, di medie dimensioni, che ha sempre svolto la propria attività in maniera tradizionale ma che, sulla base delle dinamiche di mercato, si trova obbligata a perseguire un percorso che richiede efficientamento, ottimizzazione e precisione degli interventi.

JACOPO CIOCE

*Analisi delle performance di irrorazione delle macchine a rateo variabile*

Negli ultimi anni il settore agricolo sta affrontando profondi cambiamenti legati all'adozione di tecnologie avanzate, alle variazioni dei sistemi produttivi e alle pressioni globali come cambiamento climatico e riduzione delle risorse. In questo contesto, l'agricoltura di precisione rappresenta un approccio strategico per migliorare efficienza, sostenibilità e gestione degli input, grazie all'impiego di sensori, sistemi digitali e strumenti di analisi capaci di adattare gli interventi alle reali esigenze colturali. Tra le operazioni più critiche rientra la distribuzione dei prodotti fitosanitari, tradizionalmente eseguita in modo uniforme e spesso inefficiente. Le tecnologie a rateo variabile offrono la possibilità di modulare la quantità di prodotto applicato, riducendo sprechi e dispersioni. Tuttavia, la loro applicazione richiede macchinari altamente reattivi e sistemi di controllo affidabili. Le irroratrici pneumatiche rappresentano una soluzione promettente grazie alla buona penetrazione della chioma, alla produzione di gocce fini e alla maggiore omogeneità di distribuzione. Questo studio analizza il comportamento operativo di un'irroratrice pneumatica predisposta per la distribuzione a rateo variabile in condizioni reali di vigneto. Sebbene l'agricoltura di precisione richieda sistemi di irrorazione altamente reattivi e accurati, le prestazioni dinamiche delle irroratrici pneumatiche durante le fasi transitorie risultano ancora poco caratterizzate. Queste macchine, che atomizzano il liquido tramite un flusso d'aria ad alta velocità, offrono van-

taggi quali gocce fini, buona penetrazione della chioma e minori esigenze di manutenzione, ma potrebbero presentare limitazioni nelle fasi di avvio dell'erogazione. I risultati suggeriscono la necessità di interventi progettuali, come l'integrazione di valvole di controllo prossime agli orifizi e l'ottimizzazione del circuito aria-liquido, per migliorare la reattività del sistema e garantire una distribuzione più precisa nella viticoltura di precisione.

VITO DESIANTE

*Riduzione degli input azotati tramite agricoltura di precisione: analisi di scenari alternativi nella gestione del frumento duro*

La gestione dell'azoto nel frumento duro è cruciale per coniugare resa, qualità e sostenibilità, soprattutto negli ambienti mediterranei eterogenei. La tesi analizza un appezzamento di circa 20 ha ad Asciano (Crete Senesi, SI), valutando se l'agricoltura di precisione possa migliorare la seconda copertura azotata. La variabilità intra-appezzamento è stata descritta tramite nove immagini Sentinel-2 (2016-2024) al picco di NDVI; sulla base dei dati raccolti ed elaborati, è emerso che il campo non presenta aree a produzione stabile; al contrario, l'intero appezzamento è caratterizzato da una marcata variabilità produttiva. La parte applicativa ha riguardato la campagna 2024/2025, con dose media di riferimento pari a 50 kg N ha<sup>-1</sup>. Sono stati confrontati tre scenari: distribuzione uniforme, distribuzione a rateo variabile basata su NDVI (approccio "Robin Hood") e distribuzione a rateo variabile guidata dall'indice di nutrizione azotata (NNI). I dati di raccolta 2025 indicano che lo scenario NDVI non migliora resa (3,34–3,35 t ha<sup>-1</sup>) né efficienza rispetto al controllo (NUE = 7,17 kg granella kg<sup>-1</sup> N), mentre lo scenario NNI ottiene la resa più elevata (3,63 t ha<sup>-1</sup>) con minore azoto applicato (119,7 contro 140 kg N ha<sup>-1</sup>) e NUE pari a 8,38. Nel complesso, l'NNI si conferma strumento più efficace della NDVI per guidare la fertilizzazione, permettendo di modulare le dosi in funzione dei fabbisogni reali della coltura e di aumentare l'efficienza d'uso dell'azoto.

ANGELO DI FRANCESCO

*Relazione dello stato fisiologico fogliare e la qualità del prodotto in una coltura modello*

La tesi si inserisce nel contesto della Viticoltura di Precisione mediterranea e mira a indagare in che modo lo stato fisiologico fogliare, valutato tramite

indice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), sia correlato alla maturazione tecnologica dell'uva e sulla qualità del prodotto, in funzione delle principali fasi fenologiche e della variabilità spaziale all'interno di un vigneto, cv. Montepulciano d'Abruzzo gestito secondo i principi dell'agricoltura biologica.

Il disegno sperimentale ha previsto un monitoraggio ad alta risoluzione spaziale su 18 filari, con esclusione di filari "buffer" e selezione di 12 filari attivi, stratificati in tre *Management Unit Zones* (MUZ), definite a partire da serie storiche di NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (2020 - 2025). Su 48 piante georiferite sono state effettuate misure tri-settimanali mediante l'impiego di strumentazione SPAD, su foglie comprese tra la terza e la quinta dall'apice, in due orari (09:00 e 12:00) durante l'intero periodo produttivo (allegagione, invaiatura e maturazione avanzata). In parallelo sono stati monitorati l'accrescimento degli acini con calibro digitale, l'andamento dei °Brix in campo e, in due date (18/08 e 24/09), i principali parametri enologici (°Babo, pH, acidità totale) su campioni di mosto analizzati in laboratorio.

L'elaborazione dei dati ha integrato modelli lineari misti (LMM) in R-Studio per la scomposizione della variabilità (effetto fisso dell'orario, effetto casuale del filare), script in Python per l'analisi delle serie temporali e QGIS per la sintesi e tematizzazione spaziale degli indici SPAD, grado zuccherino e acido-basici, su scala di filare e di zona omogenea.

Nel complesso, l'indagine sperimentale è rivolta a valutare, in condizioni mediterranee soggette spesso a stress idrico e forte eterogeneità microambientale, quali interventi possono contribuire a gestire la qualità dell'uva, non tanto nella variabilità diurna della misura, quanto nella sua dimensione spaziale multiscala. A tal fine, l'integrazione di sensori prossimali (SPAD, rifrattometro), analisi enologiche e strumenti statistici e GIS, forniscono un quadro operativo robusto per supportare decisioni sito-specifiche (vendemmie scalari, micro-vinificazioni, gestione differenziata della chioma e dell'acqua) e per ridurre la variabilità "lot-to-lot" in cantina, contribuendo alla transizione verso una viticoltura di precisione più resiliente e adattiva.

SERGIO FLORIO

*Piattaforme di Early Warning e DSS (decision support system) per l'agricoltura di precisione: integrazione di Ai e architetture cloud-ready*

La tesi esamina l'evoluzione dei sistemi di Early Warning e dei Decision Support System (DSS) di nuova generazione per l'agricoltura di precisione: dati eterogenei, modelli agronomici e data-driven complementari, pipeline decisionali e architetture cloud-ready. Dopo un richiamo a principi, tecnologie e standard

dell'AP, il lavoro analizza i Big Data agricoli per tipologie, qualità, armonizzazione multi-sorgente e governance. La rassegna dei modelli evidenzia la centralità di approcci process-based o a soglia per interpretabilità e aderenza fisiologica, affiancati da ML/DL per gestire variabilità reale di campo, serie temporali dense e dati telerilevati. Per l'early warning fitopatologico e i DSS irrigui emerge che pochi driver misurati bene valgono più di molte fonti deboli; la previsione di resa richiede invece una fusione spazio-temporale spinta e spesso ibrida. Parte integrante del lavoro è la definizione di un'architettura cloud-ready, riusabile e modulare, articolata in macrocomponenti e linee guida progettuali, con focus su microservizi. La tesi contribuisce a ricomporre in modo coerente letteratura agronomica e ingegneristica, esaminando gli aspetti che condizionano robustezza, replicabilità, trasferibilità, retraining stagionale e monitoraggio del drift. Vengono chiariti i requisiti minimi e i principali trade-off per progettare DSS realmente operativi e riusabili su colture e contesti diversi.

FRANCESCO FRACASSINI

*Primo approccio all'agricoltura di precisione per un'azienda vitivinicola a gestione tradizionale*

L'agricoltura di precisione rappresenta oggi uno strumento essenziale per migliorare efficienza, sostenibilità e qualità delle produzioni agricole attraverso l'uso integrato di dati, sensori, telerilevamento e software gestionali. La presente tesi propone un percorso di introduzione graduale dell'agricoltura di precisione nelle Tenute Beltrami, azienda vitivinicola e olivicola dei Chianti Colli Fiorentini a gestione tradizionale. Partendo da un'analisi del contesto territoriale e delle pratiche attualmente adottate, il lavoro evidenzia le potenzialità di una transizione digitale basata su strumenti accessibili come QGIS e Agricoolus. Vengono illustrate applicazioni operative quali digitalizzazione aziendale, mappe di vigore e resa, campionamenti georeferenziati, progettazione di nuovi impianti viticoli e gestione sito-specifica della concimazione. È inoltre proposta la creazione di una rete meteorologica territoriale condivisa per supportare una difesa fitosanitaria più mirata. Il piano triennale sviluppato guida l'azienda dalla costruzione di un database georeferenziato alla piena integrazione tecnologica con sistemi GNSS, droni multispettrali e DSS avanzati. Il modello delineato non si configura come sperimentazione, ma come strategia operativa pensata per aziende medio-piccole che intendono adottare un approccio innovativo senza rinnegare l'esperienza agronomica tradizionale. L'obiettivo finale è mostrare come una transizione digitale consapevole possa rafforzare sostenibilità, tracciabilità e competitività nel settore vitivinicolo e olivicolo.

ELEONORA GRAGNOLI

*Valutazione del telerilevamento per la concimazione azotata del girasole*

Lo studio è stato condotto su due appezzamenti situati in provincia di Siena, presso l'Azienda Agricola Gragnoli Eleonora, su due appezzamenti coltivati a girasole per la campagna 2025. L'obiettivo dell'indagine è stato valutare l'efficacia del telerilevamento e delle mappe di resa come strumenti di supporto alle decisioni per la concimazione azotata a rateo variabile, in un contesto aziendale privo di dati storici di produzione. Sono state analizzate immagini satellitari Sentinel -2 acquisite nel periodo 2018-2025 mediante l'indice NDVI, al fine di costruire mappe di stabilità della variabilità spaziale. L'analisi della deviazione standard temporale ha evidenziato un'elevata instabilità in entrambi i campi che ha impedito l'individuazione di zone di gestione stabili basate esclusivamente sull'informazione satellitare. Di conseguenza, lo studio è stato riorientato sull'utilizzo della mappa di resa del 2025, ottenuta tramite mietitrebbia CLAAS TRION 540. Le mappe hanno messo in evidenza una marcata variabilità intra parcellare. Sulla base di tali dati sono state simulate strategie di concimazione azotata a rateo variabile, denominate King e Robin Hood, mantenendo costante l'apporto totale di azoto pari a 78 kg N/ha. Nel campo 23M le due strategie hanno fornito risultati simili in termini di efficienza (circa il 69% per King e il 68% per Robin Hood), mentre nel campo 2B entrambe hanno mostrato valori nettamente inferiori pari al 37%. Lo studio mette inoltre in evidenza come il fattore determinante per l'efficienza della fertilizzazione sito-specifica non risieda nel metodo di modulazione utilizzato, bensì nella qualità e nella rappresentatività del dato di vigore e nella profondità della conoscenza del sistema suolo-pianta.

GIULIO GUARINO

*Analisi delle interazioni suolo-cantieri meccanizzati ai fini della ottimizzazione gestionale*

L'obiettivo della tesi è l'analisi dell'interazione suolo-cantieri meccanizzati, cruciale per l'efficienza operativa e la sostenibilità in Agricoltura di Precisione (AP). La ricerca svoltasi presso la Tenuta di Cesa, ha adottato una metodologia basata sull'integrazione di dati georeferenziati. La mappatura geofisica e pedologica è stata realizzata con il sistema ARP per caratterizzare l'eterogeneità intrinseca dei suoli, elemento fondamentale per definire le Zone di Gestione Omogenea. La resistenza alla penetrazione è stata quantificata con il penetrometro Field Scout SC 900, il quale ha rivelato strati di compattazione a diver-

se profondità. Lo sforzo di trazione è stato misurato in tempo reale da celle di carico CM-2 Installate sull'attacco a tre punti sensibilizzato (TPH). L'operazione di dissodamento è stata condotta con il trattore DEUTZ-FAHR 5125 GS e l'estirpatore Faralli 5 ancore. L'analisi ha accertato una forte correlazione tra la resistenza del suolo e lo sforzo di trazione richiesto per la lavorazione.

La marcata variabilità spaziale è risultata evidente in tutti i parametri, dimostrando l'inefficacia agronomica di una gestione uniforme. L'ipotesi di adottare protocolli di lavorazione a rateo variabile è stata scientificamente validata. Modulando la profondità di lavoro in funzione delle aree a maggiore resistenza, si massimizza l'efficienza operativa ottimizzando il rendimento di trazione a cui segue un miglioramento della sostenibilità ambientale mediante la minimizzazione della compattazione e un disturbo selettivo del suolo. L'utilizzo del sistema TPH ha trasformato il cantiere meccanizzato in un sensore dinamico georeferenziato, capace di mappare in tempo reale la resistenza del suolo.

LUCA MAGGI

*Viticultura di precisione a supporto della progettazione e gestione viticola*

Si analizza il ruolo dell'agricoltura di precisione come elemento chiave della transizione digitale in agricoltura, evidenziando come l'integrazione di tecnologie avanzate stia trasformando l'agricoltore tradizionale in un "agricoltore 4.0", in grado di gestire dati, sensori e sistemi automatizzati per ottimizzare efficienza e sostenibilità. Dopo aver delineato l'evoluzione dell'agricoltura, si è passati a un approccio alla storia dello sviluppo delle tecniche di precisione. Dalle prime applicazioni, fino alle moderne piattaforme integrate e le l'ampia applicazione. Nell'elaborato vengono, inoltre, presentati i vari input, legati all'analisi e gestione dati, alla sensoristica e alla georeferenziazione. Nella seconda parte, si approfondisce la progettazione del vigneto, illustrando un'analisi del terroir, e la sua influenza all'impianto. Viene anche inserito, uno studio su un progetto d'impianto vigneto, affrontato durante il tirocinio. Sono state, analizzate le varie operazioni pre-impianto e come i principi dell'agricoltura di precisione sono integrati alla progettazione e gestione agronomica. Sono state evidenziate le possibilità operative dei macchinari di precisione come le mappature del suolo, grazie ai vari sensori e sono state prese in considerazione le varie attrezzature a rateo variabile; in particolare è stata evidenziata la loro applicazione alla viticoltura. Una sezione specifica è dedicata alla stima dei costi di impianto. Nella parte finale dell'elaborato, vengono trattate le strategie di gestione del vigneto, mediante sistemi di monitoraggio del suolo, della chioma e dello stato idrico e fitosanitario. Si parlerà dell'anagrafica digitale

aziendale, che permette una tracciabilità completa delle operazioni colturali. Per concludere con una panoramica di progetti internazionali, che illustra l'applicazione globale della viticoltura di precisione e il suo contributo verso una produzione viticola sempre più sostenibile e orientata alla qualità.

FEDERICO PALAFERRI

*Monitoraggi e irrorazioni aeree tramite drone nelle colture orticole*

Nell'ambito dell'Agricoltura di Precisione (AP), l'impiego dei droni (UAV) sta rivoluzionando la gestione agronomica, offrendo strumenti per migliorare l'efficienza e la sostenibilità. Le colture orticole, caratterizzate da elevata intensità e cicli brevi, rappresentano un settore ideale per l'applicazione di queste tecnologie.

La presente tesi, sviluppata all'interno del Master in Agricoltura di Precisione, analizza l'integrazione del monitoraggio multispettrale e dell'irrorazione aerea per la gestione di precisione. Per validare questo elaborato è stato condotto un protocollo operativo su una coltura di finocchio (*Foeniculum vulgare*, var. Michelangelo), testando l'efficacia di un biostimolante ("Jisamar") applicato a dosaggi differenziati.

Lo studio è stato condotto su un appezzamento di tre ettari. La fase di monitoraggio è stata eseguita con un drone DJI Mavic 3M, acquisendo dati multispettrali elaborati tramite i software Pix4D field e QGIS. L'analisi iniziale ha evidenziato come l'indice NDRE (Normalized Difference Red Edge) fosse più efficace della NDVI nel discriminare la variabilità della coltura in fase avanzata, a causa della saturazione della NDVI in condizioni di alta biomassa. Il ground-truthing ha confermato la correlazione tra i bassi valori di NDRE e le aree di stress, dovute a fallanze, trapianti posticipati e infezioni fungine.

Sulla base di questa zonizzazione, è stato definito un disegno sperimentale per l'applicazione a rateo variabile (VRA) con un drone irroratore DJI Agras T50. Sono state confrontate tre tesi: Testimone (controllo), Tesi 1 (Jisamar 300 cc/ha) e Tesi 2 (Jisamar 500 cc/ha), con un volume di distribuzione di 40 L/ha.

Il protocollo ha previsto monitoraggi successivi per valutare l'evoluzione degli indici vegetativi nelle diverse tesi e determinare la risposta della coltura al biostimolante. La metodologia ha incluso anche l'analisi dei dati per la conta delle piante, come strumento per la stima della resa potenziale e il miglioramento delle strategie commerciali. Questo lavoro dimostra l'utilità dell'integrazione tra sensori avanzati e sistemi di irrorazione mirata per ottimizzare la gestione delle colture orticole.

GIACOMO POGGESI

*Autorizzazioni e regolamentazioni dei droni agricoli in Italia*

Il seguente elaborato si propone di analizzare attraverso lo studio dei manuali di volo prodotti da ENAC ed EASA l'attuale situazione UAS nel panorama italiano, in particolar modo nei confronti della classe Specific SORA, la categoria principalmente usata nel settore agricolo. Nel testo del documento sono inoltre descritte le normative che regolano la valutazione e la classificazione del rischio, insieme ai principali documenti operativi richiesti da ENAC per concedere un'autorizzazione operativa al volo SORA. Sulla base di queste norme citate è poi sviluppata nei capitoli seguenti un caso studio riguardante la tenuta Il Borro, azienda agricola che ha deciso di investire su questa tipologia di mezzi. Mediante l'analisi del rischio degli appezzamenti e attraverso la creazione di mappe geografiche di vincolo sono poi presentate due missioni UAS riguardanti gli oliveti della tenuta: una dedicata alla concimazione fogliare tramite DJI Agras T30 e l'altra riguardo il monitoraggio multispettrale con DJI Mavic 3M. L'elaborato si conclude evidenziando poi come i droni agricoli pur non essendo ancora in grado di sostituire i metodi tradizionali, rappresentino già un asset complementare per aumentare l'efficienza aziendale.

ALESSANDRO RIMONDI

*Sistemi integrati di gestione aziendale applicati al monitoraggio e all'analisi delle flotte di meccanizzazione agricola*

La digitalizzazione sta assumendo un ruolo centrale, e in molti casi ormai indispensabile, soprattutto nelle grandi aziende agricole e nelle imprese di contoterzismo. Le macchine interconnesse permettono di registrare automaticamente dati sulle prestazioni, offrendo una base oggettiva per migliorare l'organizzazione del lavoro e la qualità delle operazioni agronomiche.

Questo lavoro analizza l'utilizzo della piattaforma digitale John Deere Operations Center all'interno di un'azienda dotata di una flotta completamente connessa. Sono stati esaminati i dataset relativi alle principali lavorazioni dell'annata agraria 2025, costruendo una banca dati dedicata utilizzata per valutare la scomposizione dei tempi di lavoro e il coefficiente operativo delle trattrici, confrontati con parametri di riferimento per individuare eventuali margini di miglioramento. L'analisi ha mostrato come alcune operazioni siano già gestite con buoni risultati, confermando un'impostazione organizzativa efficace. Nei casi in cui le performance sono risultate leggermente inferiori alle attese, la disponibilità dei dati ha permesso di individuare con precisione

le possibili cause, offrendo indicazioni utili per migliorare ulteriormente il processo produttivo.

Nel complesso, emerge come una piattaforma digitale di questo tipo rappresenti un supporto concreto per rendere più informate le decisioni gestionali. In un settore sempre più sensibile ai costi e alla produttività, la digitalizzazione si conferma un passaggio fondamentale per valorizzare il lavoro svolto e aumentare la competitività delle aziende agricole.

ANASTASIA SABLONE

*Integrazione di sensoristica di campo e telerilevamento per il monitoraggio di stress abiotici in piante coltivate*

Lo studio analizza un vigneto biologico di *Vitis vinifera* L. cv. Montepulciano, sito a Roseto degli Abruzzi (TE). L'obiettivo è monitorare e caratterizzare gli stress abiotici mediante un'integrazione di proximal e remote sensing per supportare l'ottimizzazione irrigua in un'ottica di Agricoltura di Precisione. La combinazione di dati prossimali, provenienti dall'installazione di due data-logger in vigneto, con informazioni multispettrali da telerilevamento ha permesso lo studio e la rappresentazione della variabilità intra-filare e intra-pianta nelle diverse fasi fenologiche. L'attività di remote sensing ha incluso la generazione di script automatizzati per il calcolo di NDVI, NDRE e NDWI e successivo utilizzo in Google Earth Engine. L'elaborazione statistica in Python e la successiva integrazione in QGIS hanno consentito la creazione di mappe tematiche e di un indice trifattoriale normalizzato e scalabile. I risultati permettono un'analisi multiscala, dal filare alla singola pianta, individuando hotspot di stress utili per applicazioni di Viticoltura di Precisione. Il principale esito della presente ricerca consiste nella definizione di un Decision Support System in grado di operare a livello di singola pianta. Ciò è reso possibile dalla puntuale banca dati elaborata nello studio, che consente di differenziare quantitativamente l'irrigazione intra-cluster delle piante campione appartenenti alle diverse classi di indice di stress.

TEODORO SCALERA

*Il ruolo dell'agronomo nell'agricoltura di precisione: competenze digitali e applicazione del telerilevamento per la zonazione dei campi cerealicoli*

Il lavoro analizza il ruolo dell'agronomo nell'introduzione delle strategie di agricoltura di precisione, mostrando un'applicazione operativa del telerileva-

mento satellitare per la caratterizzazione della variabilità spaziale e temporale di due appezzamenti cerealicoli dell'azienda agricola "D'Onofrio Carmela e figlie", localizzati in agro di Carlantino (FG). Attraverso l'utilizzo di immagini Sentinel-2 (periodo 2018–2025) e l'elaborazione dell'indice NDVI in ambiente GIS, sono state generate mappe multitemporali e mappe di stabilità secondo la metodologia di Basso et al. (2019). Le aree omogenee sono state successivamente raggruppate in zone di gestione (Management zones), permettendo di individuare superfici a diverso potenziale produttivo. Queste ultime hanno rappresentato la base per la proposta del piano di campionamento del suolo e per la realizzazione delle mappe di prescrizione, finalizzate alla fertilizzazione azotata a rateo variabile. I risultati ottenuti dimostrano, nonostante i limiti rappresentati dalla mancanza di validazione degli stessi in campo, come dati satellitari gratuiti e software open-source possano supportare decisioni aziendali più consapevoli e sostenibili. Ciò conferma come l'agronomo rappresenti una figura importante nella transizione digitale dell'agricoltura e nella definizione di strategie di gestione basate sulla variabilità temporale e spaziale delle colture.

ELISA STRATI

*Uso sistemi satellitari per valutare lo stato vegetativo di un impianto forestale nell'ambito di un progetto carbon farming*

L'obiettivo è stato quello valutare l'efficacia dei satelliti Sentinel-2 e Planet nel monitoraggio dello stato di salute di un nuovo impianto di bosco nell'ambito di un progetto di decarbonizzazione attraverso gli indici NDVI e NDRE.

Il progetto di forestazione sarà il primo in Italia che produrrà crediti di carbonio certificati da enti terzi per la compensazione delle emissioni di gas serra. Il progetto prevede la piantumazione di 1 milione di piante su 5 aziende agricole in differenti regioni (Friuli-Venezia Giulia, Emilia-Romagna, Lazio e Calabria) del Gruppo Leone Alato la holding agroalimentare e vitivinicola di Generali assicurazioni.

L'azienda dello studio in questione si trova nel Lazio e ha un'estensione di circa 600 ha della quale 400 saranno convertiti completamente in bosco. Le operazioni di impianto sono state avviate nella primavera del 2024. L'elevata estensione aziendale non permette un monitoraggio accurato di tutta la superficie, uno dei metodi possibili da utilizzare è quello del rilievo tramite l'utilizzo di sistemi satellitari con diversa risoluzione sentinel-2 di 10 metri per le bande nel visibile e nel vicino infrarosso, mentre i sensori Planet di 3 metri, consentendo un'analisi più dettagliata.

Nel lavoro viene analizzata una particella di 11 ha, i dati satellitari ottenuti verranno elaborati attraverso il calcolo degli indici vegetativi NDVI e NDRE e Z-score in un arco temporale da maggio a ottobre 2025. Le analisi verranno condotte con il software GIS.

La finalità dello studio è di poter ottenere dei dati utilizzabili per il monitoraggio di progetti di riforestazione certificati e per verificare l'andamento della crescita delle piante nel tempo, lo stato di salute e la risposta di quest'ultime all'andamento climatico.

Il lavoro inoltre ha lo scopo di confrontare la risoluzione spaziale, temporale, spettrale e radiometrica di due sistemi satellitari tenendo conto delle esigenze della realtà aziendale analizzata.

RAOUL TRENZI

*Caratterizzazione del terroir attraverso la viticoltura di precisione: tecnologie a supporto dell'identità e della qualità vitivinicola*

La tesi analizza il terroir viticolo attraverso un approccio multidisciplinare che integra geochimica, metagenomica e viticoltura di precisione. Dopo aver rivisto il concetto moderno di terroir come sistema complesso di interazioni tra suolo, clima, vite, microbioma e fattore umano, il lavoro approfondisce il ruolo delle Terre Rare (REE) come traccianti geochimici capaci di conservare la firma litologica dei suoli. Le REE, grazie alla loro stabilità e scarsa mobilità, permettono di distinguere diverse origini geologiche anche all'interno di vigneti apparentemente omogenei e rappresentano uno strumento efficace per la zonazione e la valorizzazione dei territori viticoli.

La tesi esplora poi la dimensione biologica del terroir attraverso la metagenomica del suolo, che rivela la struttura e la funzione delle comunità microbiche e il loro ruolo nella fertilità, nella disponibilità dei nutrienti e nelle risposte fisiologiche della vite. L'integrazione dei dati in ambiente GIS consente di associare pattern microbici alle caratteristiche pedologiche e ai comportamenti vegetativi.

Il caso studio del Castello di Brolio dimostra come l'unione di analisi geochimiche, telerilevamento multispettrale, sensori prossimali e metagenomica permetta di interpretare la variabilità intra-parcellare con grande dettaglio. Le correlazioni tra litologia, vigoria, ECa e microbioma evidenziano come il terroir sia una rete di relazioni dinamiche, scientificamente misurabili, ma profondamente legate all'identità del luogo. L'approccio integrato mostra prospettive applicative rilevanti per una viticoltura sostenibile, precisa e attenta alla qualità.

GIACOMO TONTONI

*Dimostrazione dell'uso dei dati telemetrici di macchinari agricoli John Deere per fini migliorativi delle performance*

Nella tesi si sono introdotti concetti relativi all'agricoltura e l'importanza per la nostra società, mostrando come i progressi tecnologici hanno innovato il modo di fare tale pratica, arrivando all'agricoltura di precisione o 4.0. Proseguendo l'introduzione si è sempre ristretto l'argomento alla meccanizzazione agricola di precisione, passando dalla descrizione generale dell'agricoltura di precisione, arrivando a descrivere il CAN BUS e sensori. La tesi poi ha trattato come caso studio lo sfruttamento di dati telemetrici e di lavoro compiuti da 3 macchinari John Deere, resi disponibili dal concessionario, PM&B S.r.l. per cui lavoro, mediante apposite piattaforme web. Nel breve si sono spiegate alcune caratteristiche tecniche delle macchine in questione, che sono un trattore gommato 6R 175, una mietitrebbia T5 600 e un cingolato 8RT 410, e degli strumenti sia hardware che software per la parte agricoltura di precisione. Le macchine sono state usate per prove dette "Demo", mostre per potenziali clienti. Si è studiato per il gommato i valori di slittamento in condizioni di dissodamento con zavorra o senza, osservando gli impatti sui consumi a ettaro. Per la mietitrebbia si sono osservati i dati di resa di una trebbiatura riportati su una mappa di resa, generata dalla tecnologia John Deere, mostrando come tali risultati sia importanti per poter costruire delle mappe di prescrizione o identificare il contesto agronomico. Il cingolato che è stato usato per un dissodamento è stato monitorato, lanciando da remoto una registrazione di dati telemetrici, che riportano lo stato di salute del sistema di post trattamento. In conclusione nella tesi sono mostrati la potenzialità degli strumenti utilizzati e di come l'importanza dei dati può portare un efficientamento di vari processi in un'azienda agricola.

MATTEO VERDI

*Sviluppo di un DSS per l'irrigazione in viticoltura*

La gestione efficiente dell'irrigazione in viticoltura rappresenta una sfida sempre più rilevante in un contesto di cambiamenti climatici e crescente scarsità della risorsa idrica. Questa tesi presenta lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni (Decision Support System, DSS) progettato per ottimizzare la programmazione irrigua nei vigneti attraverso l'integrazione di dati satellitari, informazioni pedologiche ad alta risoluzione e modellistica avanzata.

L'approccio proposto combina indici di vegetazione e di stress idrico derivati da immagini Sentinel-2 — in particolare NDVI e NDMI — con la stima dell'evapotraspirazione colturale (ETc), calcolata mediante il metodo FAO-56 e corretta tramite un coefficiente colturale dinamico ottenuto da dati di telerilevamento. A tali informazioni si integrano le proprietà idrauliche del suolo fornite da rilievi prossimali AgriSOING, fondamentali per la determinazione della capacità idrica disponibile

Il DSS risultante consente una gestione irrigua dinamica, sito-specifica e scalabile, capace di ridurre gli sprechi idrici, migliorare la sostenibilità agronomica e supportare decisioni operative più consapevoli in viticoltura di precisione.

Lo studio esplora, inoltre, l'implementazione di una rete neurale artificiale, addestrata per prevedere lo stato idrico della coltura e migliorare la precisione della stima dei fabbisogni irrigui rispetto ai tradizionali modelli di bilancio idrico.