



ACCADEMIA DEI GEORGOFILI

PREMIAZIONE

AGROINNOVATION AWARD - VIII EDIZIONE

Martedì 1 luglio 2025

Raccolta dei Riassunti

PROGRAMMA

Ore 10.00 - **Saluti introduttivi**

MASSIMO VINCENZINI, Presidente Accademia dei Georgofili

IVANO VALMORI, CEO Image Line - Accademia dei Georgofili

Ore 10.45 - **Premiazioni AgroInnovation Award**

MARCO DAVIDE MICHEL TORRENTE - Tesi di Dottorato: Agricoltura digitale, Analisi e condivisione dei dati

3D sensing approaches for Precision Agriculture: applications to plant features characterization and to weed control in maize

GIOVANNI MIAN - Tesi di Dottorato: Valorizzazione delle produzioni Made in Italy

Exploring the genetic diversity of Actinidia spp. and biofumigation to reshape the Oomycota pathobiome associated with Kivifruit Vine Decline Syndrome

ALESSIA BADO - Tesi di Laurea Magistrale: Agrometeorologia e Gestione delle risorse idriche

Use of satellite imagery for crop water status monitoring: a case study on soybean using Planet and Sentinel-2 satellites

ERICA TINELLI - Tesi di Laurea Magistrale: Difesa delle colture

*Incidental substrate-borne vibrations produced by foraging erratic spiders as a tool to control the meadow spittlebug *Philaenus spumarius**

ALESSANDRO DE ROSA - Tesi di Laurea Magistrale: Ingegneria Agraria e mecatronica

Fruit Tree Crops Identification Using Machine Learning Techniques

GIULIA SECCHI - Tesi di Laurea Magistrale: Innovazione Varietale e genomica

Analisi metagenomiche ed integrazione di dati multi-omici per lo studio della mastite subclinica nelle bovine da latte

MARCO RIMOLDI - Tesi di Laurea Magistrale: Nutrizione delle piante

Stima in season delle asportazioni di azoto della coltura di mais tramite immagini multispettrali da satellite

GIOVANNI BARBERA - Tesi di Laurea Magistrale: Sostenibilità degli agroecosistemi e protezione dell'ambiente

Precipitazione di struvite da biomasse di scarto: un approccio circolare al recupero di nutrienti

MARICA MARCHESE - Tesi di Laurea Magistrale: Zootecnia

Developing an autonomous decision-making support system using behavioural, productive and meteorological data from a dairy cattle farm in Spain

MARCO CURELLI - Tesi di Laurea Magistrale: PAC e Sviluppo rurale

La digitalizzazione dell'azienda agricola italiana: sfide e opportunità dell'Agricoltura 4.0

Ore 12.45 - **Conclusioni:** RENATO FERRETTI, Vice Presidente CONAF

3D SENSING APPROACHES FOR PRECISION AGRICULTURE: APPLICATIONS TO PLANT FEATURES CHARACTERIZATION AND TO WEED CONTROL IN MAIZE

Marco Davide Michel Torrente - Tesi di Dottorato: Agricoltura digitale Analisi e condivisione dei dati

La tesi esplora diverse applicazioni che prevedono l'utilizzo di strumenti tecnologici nell'ambito dell'agricoltura di precisione, con particolare attenzione all'uso di sensori 3D e altre tecnologie di sensing.

Il tema centrale della tesi è l'analisi delle potenzialità offerte dai sensori 3D nelle applicazioni agricole. L'obiettivo principale è sperimentare soluzioni tecnologiche innovative e digitali per ottimizzare la gestione puntuale ed efficiente del monitoraggio colturale e dell'impiego di input chimici, promuovendo al contempo la tutela ambientale e l'aumento della competitività delle imprese agricole attraverso una maggiore efficienza nell'uso dei fattori produttivi.

I sensori 3D utilizzati sono in grado di acquisire immagini a colori (RGB) con un'elevata risoluzione e, parallelamente, registrano informazioni sulla distanza. Da queste informazioni è possibile derivare la posizione relativa di ogni pixel rispetto al sensore, generando una nuvola di punti tridimensionale, nota come point cloud. Queste nuvole di punti rappresentano una preziosa fonte di informazioni utilizzabili per molteplici scopi. Nella tesi vengono esplorati due ambiti principali di impiego dei sensori 3D:

- Monitoraggio colturale: finalizzato a ottenere stime non distruttive della biomassa con elevata accuratezza. Tali stime possono essere eseguite in un contesto automatizzato, integrando i sensori su piattaforme robotizzate per raccogliere e analizzare i dati.

- Individuazione delle malerbe: nel contesto del diserbo sito-specifico di precisione, con l'obiettivo di ridurre la quantità di erbicidi utilizzati. Questo approccio consente di ottimizzare l'efficienza dei trattamenti mantenendo inalterata la loro efficacia.

Un ulteriore aspetto trattato nella tesi riguarda il confronto tra i risultati ottenuti con i sensori 3D e quelli derivanti da altre tecniche di sensing comunemente adottate nell'Agricoltura di Precisione (AP), come l'utilizzo di immagini digitali acquisite tramite droni (*UAV - Unmanned Aerial Vehicle*).

Per ciascuno degli ambiti investigati sono state condotte prove preliminari in laboratorio, con l'obiettivo di valutare le prestazioni degli algoritmi sviluppati in condizioni controllate. Successivamente, sono state effettuate prove su scala di campo per testare le prestazioni anche in contesti operativi.

Al fine di quantificare il contributo apportato dalle tecniche di sensing 3D, i risultati ottenuti in ogni prova sperimentale sono stati confrontati con quelli derivanti da tecniche tradizionali basate sull'imaging bidimensionale.

Viene infine descritto lo sviluppo di un primo prototipo di irroratrice ad alta precisione, costruita con hardware low-cost. Questo prototipo è stato utilizzato per sperimentare la programmazione e la gestione di una macchina capace di eseguire in

tempo reale l'acquisizione delle immagini, la loro elaborazione e l'impiego delle informazioni raccolte per controllare gli attuatori. Lo scopo del prototipo è quello di sperimentare sistemi e strategie di controllo per i trattamenti di diserbo chimico con una precisione elevatissima.

***EXPLOITING THE GENETIC DIVERSITY OF ACTINIDIA SPP. AND
BIOFUMIGATION TO RESHAPE THE OOMYCOTA PATHOBIOME ASSOCIATED
WITH KIWIFRUIT VINE DECLINE SYNDROME (KVDS)***

Giovanni Mian - Tesi di Dottorato: Valorizzazione delle produzioni Made in Italy

Kiwifruit Vine Decline Syndrome (KVDS) is a severe plant disease first identified in Italy's Veneto Region in 2012, causing significant economic and agricultural challenges. Characterized by symptoms like root rot, canopy collapse, and plant death, KVDS has rapidly spread across major Italian kiwifruit-growing regions and beyond. The syndrome has been linked to a complex interplay of biotic (soil-borne pathogens, particularly oomycetes) and abiotic (waterlogging) factors, with no effective countermeasures currently available.

This Ph.D. research aimed to unravel the etiology of KVDS, identify resistant kiwifruit genotypes, and develop sustainable management strategies. It integrated field observations, controlled experimental trials, and advanced molecular approaches such as metabarcoding. Key outcomes include:

- Understanding KVDS Aetiology: Field observations and historical accounts linked KVDS onset to waterlogged soils and microbial dysbiosis in the rhizosphere.
- Oomycetes such as *Phytophthora sojae* and *Globisporangium intermedium* were confirmed as primary biotic agents contributing to disease progression.
- Genetic Resistance in Actinidia Genotypes: Experimental trials evaluated multiple Actinidia genotypes in KVDS-prone soils. Genotypes like *A. macrosperma* and *A. arguta* exhibited notable resistance, contrasting with the susceptibility of commercial species like *A. deliciosa* and *A. chinensis*.
- Physiological, pathological, and genetic analyses highlighted how resistant genotypes influenced the rhizosphere pathobiome by suppressing pathogenic oomycetes.
- Biofumigation as a Control Strategy: Brassicaceae plants, particularly *Eruca vesicaria* (rocket), were explored for their biofumigation potential due to their bioactive compounds. In vitro tests demonstrated the inhibitory effects of rocket leaf extracts on key oomycetes involved in KVDS.
- Subsequent in vivo trials showed that applying rocket leaf extracts to the soil improved root health, reduced KVDS symptoms, and reshaped the rhizosphere microbial community. These effects were observed in susceptible genotypes, with reduced prevalence of pathogens like *Phytophthora vexans*.
- Pathobiome Dynamics: The research revealed that KVDS involves microbial dysbiosis, where shifts in the rhizosphere microbiome could act as both a cause and

consequence of the disease. The findings emphasize the importance of managing both biotic and abiotic factors to prevent disease progression.

- Future Implications:

KVDS is framed as a multifactorial syndrome requiring integrated management strategies. This thesis provides a foundation for breeding resistant rootstocks, applying biofumigation techniques, and implementing sustainable agricultural practices to combat KVDS.

The research offers a novel understanding of KVDS etiology, highlights the critical role of oomycetes, and delivers practical solutions for growers. By identifying resistant genotypes and exploring biofumigation with *Eruca vesicaria*, this work bridges the gap between fundamental research and field application, offering tools to restore kiwifruit orchard productivity. Moreover, it emphasizes the interplay between host genetics, soil microbiota, and environmental stressors, laying the groundwork for future studies on plant-pathogen-environment interactions.

USE OF SATELLITE IMAGERY FOR CROP WATER STATUS MONITORING: A CASE STUDY ON SOYBEAN USING PLANET AND SENTINEL-2 SATELLITES

Alessia Bado - - Tesi di Laurea Magistrale: Agrometeorologia e Gestione delle risorse idriche

La tesi esplora l'uso di dati satellitari per monitorare lo stato idrico delle coltivazioni, con focus sui satelliti Planet e Sentinel-2, confrontando due strategie di irrigazione: Irrigazione Completa (FI) e Irrigazione a Deficit Regolato (RDI). Gli obiettivi principali sono valutare l'efficacia degli indici di vegetazione nel monitoraggio delle colture, confrontare i dati PlanetScope e Sentinel-2 per la precisione agricola e studiare il bilanciamento tra risparmio idrico e resa agricola. Le tradizionali strategie di irrigazione risultano spesso inefficienti, mentre il cambiamento climatico aggrava la scarsità idrica e le richieste agricole. L'RDI, che utilizza meno acqua del fabbisogno ottimale della pianta, può rappresentare un'alternativa sostenibile rispetto alla FI, che soddisfa il 100% del fabbisogno idrico. Lo studio è stato condotto su un campo di soia a Castelfranco Veneto, diviso in due sezioni per gli anni 2022 e 2023. Ogni sezione misura 160x40 m ed è suddivisa in quattro parcelle di 40x40 m, con due irrigate con FI e due con RDI. La soia è stata piantata il 20/05/2022 e il 31/05/2023, e raccolta il 4/10/2022 e il 9/10/2023. L'RDI ha utilizzato il 23% di acqua in meno rispetto alla FI, evitando l'irrigazione deficitaria nei periodi critici come l'emergenza delle inflorescenze (BBCH 50-59). Le analisi del suolo hanno evidenziato una maggiore capacità di trattenuta idrica nelle parcelle RDI (+43% nel 2023).

Le condizioni climatiche locali sono state monitorate con una stazione meteorologica ARPAV e confrontate con dati climatici degli ultimi 30 anni. L'estate 2022 è stata caratterizzata da siccità estrema, mentre il 2023 ha visto piogge più abbondanti e temperature moderate, permettendo di ridurre l'apporto idrico. Il monitoraggio è stato effettuato con i satelliti PlanetScope e Sentinel-2, utilizzando immagini multispettrali per calcolare indici di vegetazione come NDVI, GNDVI, ENDVI, NDRE e LAI. PlanetScope offre immagini con risoluzione di 3 metri e frequenza giornaliera, mentre Sentinel-2 ha una risoluzione di 10 metri e frequenza di cinque giorni. Gli indici di vegetazione hanno monitorato lo stato di salute delle piante, la copertura fogliare e lo stress idrico, rispecchiando i parametri fisiologici misurati in campo con un porometro/fluorometro LI-600.

I risultati mostrano che gli indici di vegetazione derivati da immagini satellitari sono strumenti efficaci per monitorare la salute delle colture e lo stato idrico. Hanno infatti mostrato sensibilità e risposte pronte sia agli eventi di irrigazione che alle variazioni climatiche, rispecchiando i parametri fisiologici rilevati in situ. L'NDVI e il GNDVI sono risultati sensibili alla biomassa e al contenuto di clorofilla, mentre l'NDRE è stato utile nelle fasi finali del ciclo di crescita. I dati Planet hanno offerto maggiore dettaglio e frequenza, utili per monitoraggi di precisione, mentre Sentinel-2, pur sottostimando alcuni indici, ha catturato adeguatamente le tendenze vegetative globali. I due satelliti, infatti, hanno mostrato correlazioni elevate,

suggerendo che Sentinel-2 cattura adeguatamente le tendenze vegetative globali, risultando una valida risorsa per monitoraggi su larga scala. Per applicazioni agricole più specifiche e mirate, Planet si conferma una scelta preferibile, mentre Sentinel-2, essendo gratuito, rappresenta una soluzione economica per monitorare lo stato generale di salute delle colture e lo stress idrico. Il confronto tra FI e RDI ha evidenziato vantaggi dell'RDI per il risparmio idrico. Sebbene nel 2022 la resa delle parcelle RDI sia stata leggermente inferiore a causa della siccità estrema, il risparmio idrico ha migliorato l'efficienza delle risorse. Nel 2023, con condizioni climatiche più favorevoli, l'RDI ha performato meglio, mostrando indici di vegetazione più alti e una maggiore resa del suolo. Le differenze in termini di resa, contenuto di olio e proteine tra le due strategie sono risultate statisticamente non significative, indicando che l'RDI può rappresentare una strategia sostenibile per regioni con scarsità idrica. Questa ricerca conferma l'importanza di un approccio integrato che combina tecnologie avanzate di telerilevamento con misurazioni dirette in campo per affrontare le sfide dell'agricoltura moderna. Ciò risulta fondamentale per validare le tendenze dei VIs, che si sono dimostrati strumenti efficaci per monitorare le variazioni nello sviluppo fogliare e lo stress idrico, oltre a rispondere in modo sensibile alle strategie di irrigazione e alle condizioni climatiche variabili. L'innovatività inoltre risiede nel confronto tra i satelliti PlanetScope e Sentinel-2, evidenziando compromessi tra risoluzione spaziale, temporale e costi. PlanetScope si è dimostrato ideale per applicazioni di precisione, mentre Sentinel-2 rappresenta una soluzione economica per monitorare lo stato generale delle colture. Questa analisi non solo guida la scelta delle tecnologie satellitari in funzione delle specifiche esigenze agricole, ma offre anche un contributo pratico per ottimizzare le risorse tecnologiche disponibili. Un altro contributo significativo riguarda la valutazione delle strategie di irrigazione. L'RDI si è rivelato non solo sostenibile, ma anche altamente adattabile a condizioni climatiche variabili, come dimostrato dallo studio di due stagioni agricole con caratteristiche meteorologiche opposte: il 2022, caratterizzato da siccità estrema, e il 2023, con precipitazioni più abbondanti. In entrambi i casi, l'RDI ha garantito una resa stabile e un uso efficiente delle risorse idriche, dimostrandosi una strategia flessibile e resiliente. Ulteriori studi sono necessari per valutare la sua applicabilità in suoli con minore capacità di ritenzione idrica o su altre colture, anche in combinazione con varietà geneticamente migliorate per resistere alla siccità. Inoltre, integrare il telerilevamento con modelli predittivi avanzati basati su machine learning potrebbe migliorare l'accuratezza delle analisi e delle previsioni.

Un elemento distintivo di questa ricerca è anche il focus sull'accessibilità delle soluzioni proposte, mirate a garantire che le tecnologie avanzate siano disponibili anche ai piccoli agricoltori. Questo approccio inclusivo contribuisce a migliorare l'efficienza delle pratiche agricole su scala globale, permettendo ai benefici delle innovazioni tecnologiche di essere distribuiti equamente. Possibili futuri studi con l'obiettivo di ridurre sia la crisi alimentare che la scarsità delle risorse idriche potrebbero avere l'obiettivo di creare linee guida pratiche o un sistema di supporto decisionale per facilitare l'adozione dell'RDI in diversi contesti climatici. Questo

potrebbe essere utile anche nell'ottica di espandere l'utilizzo di queste tecnologie da parte degli agricoltori, che rappresenta una sfida importante: l'analisi di possibili strategie economiche, come incentivi fiscali e finanziamenti agevolati, o politiche mirate potrebbe essere cruciale per promuovere un'agricoltura di precisione equa e sostenibile e garantire l'accessibilità degli strumenti su larga scala.

Questa ricerca contribuisce agli obiettivi della PAC 23-27: tutelare l'ambiente, contrastare i cambiamenti climatici e promuovere l'innovazione in agricoltura.

***INCIDENTAL SUBSTRATE-BORNE VIBRATIONS PRODUCED BY FORAGING
ERRATIC SPIDERS AS A TOOL TO CONTROL THE MEADOW SPITTLEBUG
PHILAENUS SPUMARIUS***

Erica Tinelli - Tesi di Laurea Magistrale: Difesa delle colture

Il lavoro tratta dell'introduzione del batterio *Xylella fastidiosa* nel Sud Italia ha causato enormi problemi ecologici, gravi perdite economiche e tensioni sociali. Per affrontare questa emergenza, è fondamentale sviluppare strategie sostenibili a lungo termine, in particolare concentrandosi sul controllo del suo vettore principale, *Philaenus spumarius* (la sputacchina). Una possibile soluzione potrebbe essere manipolare la comunicazione degli insetti con l'ambiente durante le fasi più delicate del loro ciclo vitale, offrendo un'alternativa efficace e rispettosa dell'ambiente rispetto a metodi più invasivi. Gli insetti comunicano in molti modi, combinando segnali chimici e fisici, come stimoli visivi e vibrazioni trasmesse nell'aria o nel substrato. Finora, le strategie di manipolazione si sono concentrate soprattutto su semiochimici e segnali visivi, mentre le vibrazioni trasmesse nel substrato – un metodo di comunicazione molto comune tra gli insetti – sono state studiate meno. Anche se il comportamento di accoppiamento è l'aspetto più conosciuto della comunicazione vibrazionale, esistono anche altre funzioni, come segnali di allarme, difesa, attrazione o comunicazione tra adulti e larve. Interferire con questa forma di comunicazione potrebbe portare a cambiamenti significativi nei comportamenti del vettore, alterando il delicato equilibrio tra insetto, pianta e batterio. A tal fine abbiamo registrato le vibrazioni prodotte sul substrato durante l'interazione tra sputacchine e predatori quali ragni erratici catturati negli uliveti pugliesi. Questi segnali, associati al comportamento predatorio dei ragni, possono provocare risposte comportamentali (immobilizzazione o fuga) nelle sputacchine in grado di ridurre l'attività dell'insetto vettore sulla pianta che porta alla successiva trasmissione del batterio. Con il supporto dell'Electrical Penetration Graph (EPG), abbiamo valutato se le vibrazioni trasmesse alle piante attraverso attuatori lineari risonanti (LRA) potessero influenzare la scelta delle piante ospiti e i comportamenti di sondaggio legati alla trasmissione del batterio. L'integrazione di tecniche di manipolazione comportamentale basate sulle vibrazioni, conosciute come semiofisici, rappresenta un approccio innovativo e sostenibile nella gestione dei parassiti. Questo metodo consente di ridurre la dipendenza dai pesticidi chimici, promuovendo al contempo un equilibrio ecologico.

Interesse scientifico dei risultati ottenuti e innovatività della proposta: i risultati contribuiscono a comprendere meglio come l'insetto vettore interagisce con l'ambiente circostante attraverso segnali vibrazionali. Questo apre nuove prospettive nello studio della comunicazione multimodale degli insetti sfruttata come strategia di controllo. Infatti, semiofisici come le vibrazioni rilasciate sul substrato possono alterare i comportamenti alimentari e di sondaggio che influenzano le interazioni tra vettore, pianta ospite e patogeno. Questa proposta inoltre si allinea con la crescente

necessità di soluzioni ecocompatibili per la protezione delle colture, riducendo l'impatto sull'ambiente e sulla biodiversità. L'utilizzo di vibrazioni come strumento per manipolare il comportamento degli insetti è un metodo ancora poco esplorato, che si discosta dalle tecniche tradizionali basate su pesticidi chimici o semiochimici.

Possibile ulteriore sviluppo del lavoro svolto: sviluppare sistemi di diffusione su larga scala delle vibrazioni più efficaci per applicazioni dirette in campo e monitorare i cambiamenti nell'epidemiologia di *Xylella fastidiosa* in risposta a queste nuove tecniche.

Eventuali pubblicazioni edite in riferimento alla tesi:

Conferenza: ICE2024/Insect vectors of plant pathogens: the biology of epidemics and development of public policy. 25-30 agosto 2024 Kyoto, Japan. Titolo: "Intruding into a conversation: harnessing vibrational communication for interfering with *Xylella fastidiosa* transmission".

Manoscritto in preparazione.

Obiettivi specifici della PAC 23-27 che l'argomento di tesi contribuisce a raggiungere:

tutelare l'ambiente

salvaguardare il paesaggio e la biodiversità

migliorare la posizione degli agricoltori nella filiera alimentare

promuovere le conoscenze e l'innovazione.

FRUIT TREE CROPS IDENTIFICATION USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES

Alessandro De Rosa - Tesi di Laurea Magistrale: Ingegneria Agraria e mecatronica

La tesi di laurea magistrale si concentra sull'applicazione di modelli di machine learning (ML) e deep learning (DL) per la classificazione delle colture arboree attraverso immagini multispettrali e iperspettrali acquisite da satellite. L'obiettivo principale è stato l'identificazione di colture arboree utilizzando immagini satellitari, con particolare attenzione a diverse varietà di uva da tavola e alla discriminazione di vite e olivo, utilizzando dati provenienti da Sentinel-2 e PRISMA. Il lavoro si è articolato in due fasi sperimentali: la prima fase ha riguardato cultivar di uva da tavola coltivate in Perù al fine di classificarle mettendo a confronto due algoritmi di machine learning, nello specifico Random Forest (RF) e Support Vector Machine (SVM) su dati multispettrali. Seconda fase in agro di Andria (Puglia, Italia) per la discriminazione tra vigneti e oliveti attraverso modelli di Convolutional Neural Networks (CNNs) su immagini iperspettrali PRISMA. Le analisi hanno incluso il calcolo di 42 indici di vegetazione, l'ottimizzazione dei modelli ML/DL e la validazione delle classificazioni ottenute. L'uso di machine learning e deep learning in agricoltura rappresenta un approccio innovativo per il monitoraggio e la gestione delle colture. La possibilità di classificare varietà e tipologie di colture attraverso dati satellitari ad alta risoluzione offre numerosi vantaggi, tra cui: maggiore precisione nella mappatura agricola, riducendo la dipendenza da rilievi in campo; automazione e rapidità nell'analisi dei dati, facilitando il monitoraggio in tempo reale; ottimizzazione della gestione agricola, migliorando l'efficienza nell'uso delle risorse (acqua, fertilizzanti, trattamenti fitosanitari). Il principale contributo innovativo della tesi è stato l'applicazione delle CNNs alla classificazione delle colture arboree basata su dati iperspettrali, una tecnologia ancora poco esplorata in ambito agricolo. I risultati ottenuti dimostrano che il deep learning può migliorare la classificazione spaziale delle colture con elevata accuratezza (fino al 92%). La ricerca apre diverse prospettive di sviluppo, tra cui: integrazione con dati da droni per migliorare la risoluzione spaziale e temporale delle analisi; utilizzo di Vision Transformer (ViT) per confrontare l'efficacia dei Transformer con le CNNs nella classificazione delle colture; espansione dello studio a nuove colture e aree geografiche, per validare ulteriormente l'approccio; sviluppo di modelli predittivi per stimare resa, stato di salute e risposta delle colture a stress ambientali.

E' prevista la pubblicazione del lavoro svolto. Ad oggi 31/01/2025 il lavoro si trova in fase di correzione da parte dei supervisor coinvolti nel mio lavoro di tesi.

Secondo i dieci obiettivi della PAC 2023-2027, il mio progetto di tesi, grazie all'approccio tecnologico adottato, favorisce una maggiore competitività del settore agricolo, aumentando l'efficienza produttiva e facilitando l'adozione di strategie basate su dati oggettivi. La classificazione delle colture consente infatti agli agricoltori di migliorare la gestione delle risorse, ottimizzando le pratiche agricole e rendendo il settore più efficiente e sostenibile. Inoltre, il riconoscimento delle

colture, sia a livello di specie che varietale, affronta due temi centrali della PAC: i cambiamenti climatici e la tutela dell'ambiente. Il monitoraggio della copertura del suolo può supportare i decisori politici nella definizione di strategie per la tutela della biodiversità e la valorizzazione del territorio, oltre a facilitare la conservazione delle risorse genetiche più adatte alle mutevoli condizioni climatiche. Questa ricerca si inserisce pienamente nelle strategie di digitalizzazione dell'agricoltura, promuovendo l'uso di tecnologie avanzate per migliorare la raccolta e l'analisi dei dati agricoli. L'integrazione di machine learning e telerilevamento rappresenta un importante passo avanti nell'innovazione del settore, rendendo le informazioni più accessibili e utili per la pianificazione agricola. L'adozione di strumenti innovativi, come intelligenza artificiale e immagini satellitari, risponde quindi a diverse priorità della PAC, contribuendo a un'agricoltura più competitiva, sostenibile e tecnologicamente avanzata.

ANALISI METAGENOMICHE ED INTEGRAZIONE DI DATI MULTI-OMICI PER LO STUDIO DELLA MASTITE SUBCLINICA NELLE BOVINE DA LATTE

Giulia Secchi - Tesi di Laurea Magistrale: Innovazione Varietale e genomica

Il lavoro di tesi si articola in due sezioni: la prima si basa su un progetto di ricerca più ampio denominato “*MASTITOMIC*”, che ha come oggetto di studio e tramite approcci molecolari, la mastite subclinica in bovine di razza Frisona, provenienti da un’azienda agricola situata a Villafranca Padovana (PD). L’obiettivo del progetto è investigare le relazioni tra la patologia subclinica, i marcatori genetici, il microbioma del latte e i *miRNA* degli esosomi del latte, al fine di identificare i meccanismi fisiologici e molecolari che regolano la suscettibilità/resistenza alla mastite, la risposta all’infezione e la sua evoluzione.

Dal punto di vista pratico, la composizione del microbioma dei campioni di latte è stata analizzata seguendo un preciso schema sperimentale.

Il primo *step* era la preselezione degli animali da campionare sulla base di specifici criteri di inclusione, quali: *Breeding Value* (*EBV*, valore genetico) per SCC e dati fenotipici di SCC provenienti dalle lattazioni precedenti.

La raccolta dei campioni di latte in azienda è stata effettuata in tre momenti distinti (T: T0, T1, T2), per seguire l’andamento della patologia nel tempo.

Al tempo T0 è stato condotto un esame di *screening* batteriologico per singolo quarto su tutti gli animali, per definire i gruppi sperimentali.

Ai tempi T1 e T2 (rispettivamente 15 giorni dopo il T0 e 15 giorni dopo il T1), è stato ripetuto l’esame batteriologico per la conferma dello status d’infezione e sono stati effettuati i prelievi di sangue e di latte.

In laboratorio, l’estrazione del DNA batterico dai campioni di latte crudo è stata effettuata tramite l’utilizzo di un estrattore automatico *KingFisher Duo Prime* (*ThermoFisher*) e di un *kit* commerciale *MagMAX™ CORE Nucleic Acid Purification Kit + MagMAX™ CORE Mastitis & Panbacteria Module* (*ThermoFisher*). Al termine del ciclo di estrazione, i campioni sono stati quantificati con *Qubit™ 4 Fluorometer* (*ThermoFisher*) e *NanoDrop One* (*ThermoFisher*).

Infine, i campioni di DNA estratto, sono stati inviati in *outsourcing* per la preparazione delle librerie (*kit Nextera DNA XT (Shotgun)*) ed il sequenziamento è stato condotto su piattaforma *Novaseq X Plus*, con approccio 150 PE (in progress).

La seconda parte dell’elaborato si inserisce all’interno di un progetto di ricerca più ampio, denominato “*LATSAN*”, che mirava ad approfondire lo studio della mastite subclinica attraverso approcci sia fenotipici che molecolari, con lo scopo di sviluppare strumenti innovativi per migliorare la salute delle bovine da latte e la qualità del latte prodotto.

Per la tesi, sui dati ottenuti dalle analisi multi-omiche del progetto *LATSAN*, è stata condotta un’analisi bioinformatica integrativa, finalizzata ad individuare potenziali biomarcatori in grado di discriminare gli animali sani da quelli affetti da mastite subclinica.

Dal punto di vista pratico, l'analisi è stata effettuata utilizzando l'algoritmo di integrazione *DIABLO* (*Data Integration Analysis for Biomarker Discovery Using Latent Components*) del pacchetto *R mixOmics*, consentendo così di identificare le variabili più informative per la discriminazione tra i gruppi di studio.

L'interesse scientifico dei risultati ottenuti e innovatività della proposta: Ad oggi la mastite bovina rappresenta una sfida crescente per il settore lattiero-caseario, sia dal punto di vista economico che sanitario.

Sebbene i risultati di questo studio siano ancora preliminari nell'ambito di un progetto più ampio, la loro applicazione pratica potrebbe contribuire a migliorare la gestione e la sorveglianza della salute mammaria delle bovine in lattazione. Le analisi di laboratorio hanno fornito informazioni rilevanti sui meccanismi fisiologici e molecolari coinvolti nella regolazione della suscettibilità o resistenza alla mastite. Queste informazioni potrebbero migliorare l'accuratezza diagnostica di previsione del rischio di insorgenza della patologia nella sua forma subclinica, aprendo nuove prospettive per lo sviluppo di strategie terapeutiche mirate.

Il possibile ulteriore sviluppo del lavoro svolto: In futuro, l'adozione di un approccio preventivo potrebbe contribuire a ridurre l'incidenza della mastite, mitigando così le perdite economiche e migliorando il benessere animale negli allevamenti.

L'utilizzo di indicatori biologici precoci potrebbe inoltre ottimizzare la gestione sanitaria delle bovine in lattazione.

Per quanto riguarda l'integrazione dei dati epigenomici e trascrittomici, le variabili più informative emerse dallo studio potrebbero essere impiegate su larga scala come indicatori predittivi per lo screening e la rilevazione precoce delle infezioni intramammarie subcliniche (IMI), previa validazione su una popolazione più ampia.

STIMA IN SEASON DELLE ASPORTAZIONI DI AZOTO DELLA COLTURA DI MAIS TRAMITE IMMAGINI MULTISPETTRALI DA SATELLITE

Marco Rimoldi - Tesi di Laurea Magistrale: Nutrizione delle piante

Il lavoro di tesi ha affrontato lo sviluppo e la valutazione di un modello semplificato per la stima dell'azoto asportato dalla coltura di mais (N uptake) durante la stagione di crescita, sfruttando dati di riflettanza ottenuti da sensori multispettrali installati su satellite. Il modello è uno strumento innovativo di supporto alla gestione sito-specifica della concimazione azotata, con l'obiettivo di migliorarne l'efficienza. Attualmente, in Europa, l'efficienza dell'uso dell'azoto si attesta al 33%, e questo approccio mira a ottimizzare l'impiego di questo nutriente, riducendo i costi e gli impatti ambientali.

Il modello ipotizzato è stato sviluppato a partire dall'elaborazione di dati raccolti in campo all'interno del progetto Consensi, condotto nella primavera-estate del 2022 in due appezzamenti distinti di due aziende agricole della provincia di Milano, gestite seguendo tecniche agronomiche convenzionali. L'annata 2022 ha presentato condizioni meteorologiche anomale, caratterizzate da precipitazioni quasi assenti e temperature frequentemente superiori ai 32°C. In ciascun appezzamento sono state individuate sei Unità Sperimentali (ESU), di cui tre a bassa fertilità e tre ad alta fertilità, con distribuzione differenziata di liquame bovino in base al livello di fertilità del suolo. Durante la stagione colturale, sono state monitorate varie variabili biometriche e produttive, tra cui la sostanza secca epigea (AGB) e la sua distribuzione tra foglie e culmi, l'altezza della coltura, lo stadio fenologico, l'Indice di Superficie Fogliare (LAI) e la concentrazione di azoto totale nei tessuti vegetali.

Il modello è stato sviluppato utilizzando risultati precedentemente ottenuti in altri studi condotti da Lemaire, nei quali era stata proposta una relazione di tipo lineare tra Nuptake e LAI. Si è verificata la validità e l'applicabilità di tale relazione utilizzando sia i dati di LAI misurati a terra (LAIground) che i dati di LAI stimati da indice vegetazionale

derivati dal satellite Sentinel2. Il LAI stimato da NDRE (LAINDRE) derivato da Satellite ha mostrato buone correlazioni, con R² compresi tra 0.75 e 0.98.

È stata applicata l'equazione di Lemaire ($28.9 \cdot \text{LAI}$) ai dati di LAIground e ai dati di LAINDRE nelle aziende sperimentali, ottenendo una risposta diversa da quanto previsto. I risultati ottenuti tramite l'applicazione della relazione hanno mostrato una capacità di stima migliore se la relazione viene applicata alla stima di azoto asportato dalle sole foglie.

Per la stima dell'N uptake complessivo della coltura (AGB) è stato calcolato e verificato l'uso di un coefficiente di ripartizione dell'azoto asportato verso le foglie ($f_{\text{Nup_leaf}}$). Tale coefficiente è stato calcolato come rapporto tra l'azoto asportato dalle foglie e l'asportazione totale in diverse fasi dello sviluppo della coltura. $f_{\text{Nup_leaf}}$ così calcolato ha mostrato di rimanere stabile nel tempo e in condizioni variabili di crescita e sviluppo della coltura, con un valore medio pari a 0.6.

L'algoritmo utilizzato per la stima dell'asportazione di azoto è

$$Nuptake=28.9*LAI0.6$$

La correlazione tra N uptake misurato e quello stimato attraverso l'integrazione di f_{Nup_leaf} ha permesso di ottenere stime molto più accurate con valori di R^2 tra 0.82 e 0.85 utilizzando LAIground e R^2 tra 0.79 e 0.82 per il LAINDRE.

Traducendolo in unità di azoto, la stima di NUp, espressa in kg N ha⁻¹ mostra un errore di stima inferiore alle 15 unità; Considerando che l'N assorbito al momento della fertilizzazione azotata in copertura (stadio 7-9 foglie) è stata da 110 a 130 kg N ha⁻¹, l'errore relativo della predizione è del 10%. Sull'intero ciclo della coltura la stima di NUp invece mostra un errore di stima intorno alle 20 unità. Considerando che l'N assorbito nell'intero ciclo è stato da 200 a 270 kg N ha⁻¹, l'errore relativo della predizione scende tra il 7% e il 10%. Tale risultato è da considerarsi molto buono in ambito agricolo, in cui molte variabili del sistema colturale sono di non facile previsione, di non facile misura e non facilmente modificabili.

L'innovazione proposta consiste in un modello di facile utilizzo per la stima dell'azoto asportato dalla coltura, che consente una gestione sito-specifica della concimazione azotata in tempo reale per la coltivazione del mais. Questo approccio permette all'agricoltore di determinare la dose di azoto da applicare, adattandola alla risposta della coltura alla variabilità spaziale e temporale della stagione. In questo modo, è possibile calibrare la Dose Tecnica Ottimale (DTO) per massimizzare la resa e la Dose Economica Ottimale (DEO) per ottimizzare la redditività economica della coltura, dato che l'azoto rappresenta il 12-15% del costo di produzione. Tale strategia migliora l'efficienza nell'uso dell'azoto, riducendo fenomeni di lisciviazione e volatilizzazione, limitando così l'inquinamento delle falde acquifere e delle emissioni atmosferiche, e contribuendo a un bilancio aziendale più sostenibile e a un impatto ambientale ridotto.

È possibile sfruttare il modello elaborato per creare report utili alla gestione a lungo termine della variabilità spaziale aziendale (mappatura di aree omogenee), per rappresentare lo stato di utilizzo dell'azoto (gestione agronomica di precisione) e per valutare la sostenibilità ambientale dell'impresa agricola (obiettivo filiera). A livello regionale, il modello si rivela particolarmente utile per la gestione della Direttiva Nitrati, consentendo di analizzare la sostenibilità ambientale dell'azoto di origine zootecnica e di ottimizzare la distribuzione territoriale di fertilizzanti. In particolare, la distribuzione a rateo variabile di liquame (NIR) può essere regolata in base all'azoto asportato dalla coltura, migliorando l'efficienza e riducendo l'impatto ambientale.

Considerato l'interesse suscitato dal modello, nella primavera di quest'anno, in collaborazione con il CREA di Lodi, saranno raccolti ulteriori dati di campo per validarne scientificamente le previsioni e procedere alla pubblicazione. Il futuro sviluppo del modello prevede l'elaborazione di un algoritmo per stimare l'azoto asportato (N uptake) nelle colture cerealicole autunno-vernine, nel riso e nelle colture orticole, che presentano opportunità per interventi di fertilizzazione durante l'intero ciclo colturale, con una maggiore sensibilità qualitativa alla concimazione.

L'integrazione della stima dell'azoto o di altri elementi chimici, unitamente a interventi mirati lungo il ciclo colturale, contribuirà a migliorare la sostenibilità economica, qualitativa e ambientale delle colture, nonché la salubrità dei prodotti per il consumatore finale (minimizzando i nitrati negli alimenti). Per affinare ulteriormente la stima, si prevede l'uso di droni, che offrono maggiore precisione nel rilevamento dell'indice NDRE per la stima del LAI e una risoluzione spaziale più alta.

Il modello sviluppato risponde agli obiettivi della Politica Agricola Comune (PAC) e del Green Deal europeo, in particolare per quanto riguarda la riduzione dell'uso di fertilizzanti di sintesi e la promozione della sostenibilità agricola. Esso consente una gestione sito-specifica delle quantità di azoto, ottimizzando l'impiego dei fertilizzanti in conformità con la Direttiva Nitrati, e favorisce l'adozione di tecnologie digitali (DSS), sostenute dalle politiche di digitalizzazione previste dalla PAC. L'approccio integrato, contribuisce a una maggiore redditività e sostenibilità ambientale per le imprese agricole, in linea con gli obiettivi di riduzione delle emissioni e di tutela delle risorse naturali del Green Deal europeo.

PRECIPITAZIONE DI STRUVITE DA BIOMASSE DI SCARTO: UN APPROCCIO CIRCOLARE AL RECUPERO DI NUTRIENTI

Giovanni Barbera - Tesi di Laurea Magistrale: Sostenibilità degli agroecosistemi e protezione dell'ambiente

Entro il 2050 la popolazione mondiale raggiungerà i 10 miliardi, incrementando la produzione agricola del 70%, dei fertilizzanti dell'1,9% annuo e aumentando i rifiuti urbani del 70%. La produzione di fertilizzanti, pari a 275 milioni di tonnellate annue, utilizza principalmente fonti non rinnovabili di azoto e fosforo. Circa il 50% delle 20 milioni di tonnellate di fosforo estratte annualmente viene rilasciato negli oceani, mentre il 70% dell'azoto si perde nei corsi d'acqua e in atmosfera. Considerando gli attuali scenari geopolitici ed ambientali, è necessario gestire al meglio questi due elementi in modo da non alterare eccessivamente i loro cicli. Una possibile strategia è quella di recuperare N e P dalle biomasse di scarto. Lo studio ha visto la collaborazione di IREN spa: holding multiservizi che produce e eroga energia elettrica, teleriscaldamento, servizi idrici integrati e servizi ambientali di gestione dei rifiuti. Ha collaborato anche Biogas Wiptal srl, un moderno impianto situato a Vipiteno per la produzione di biogas da reflui zootecnici. Lo studio è stato possibile grazie ai progetti Nodes ed Econutri. Le biomasse studiate in questa tesi sono tra le più abbondanti e disponibili: i reflui zootecnici e la FORSU ovvero la frazione organica del rifiuto solido urbano. Questi scarti possono essere usati come substrato per la DA (digestione anaerobica), un processo biochimico in grado di convertire la biomassa in biogas, miscela di CH₄ e CO₂, e digestato ricco di nutrienti. Attraverso la DA si ottiene il digestato, che viene generalmente separato in frazioni solida e liquida, per semplificarne il trasporto, lo stoccaggio e l'eventuale smaltimento. Mentre la frazione solida può essere applicata come ammendante del suolo, la frazione liquida viene normalmente smaltita come scarto. Un approccio più sostenibile è il recupero dei nutrienti dalla frazione liquida tramite la precipitazione di struvite, un fertilizzante a lento rilascio con composizione NH₄MgPO₄·6H₂O. Le condizioni di precipitazione di struvite dalla frazione liquida del digestato sono state ottimizzate per entrambe le biomasse. I risultati migliori sono stati ottenuti con un'ora di processo, pH=9 e rapporto molare N:P:Mg = 1:1:2. L'analisi elementare, XRD e FTIR hanno confermato l'alta purezza del prodotto ottenuto da entrambi i substrati. Le immagini SEM hanno evidenziato cristalli ortorombici puri con dimensione e morfologia omogenea, più grandi per la struvite da FORSU e più piccoli per quella da reflui zootecnici. Le principali differenze tra i due prodotti riguardano il contenuto di carbonio. La struvite da FORSU è classificabile come fertilizzante minerale (C < 3%), mentre quella da reflui zootecnici come fertilizzante organo-minerale (7,5-20 %C). Entrambi i prodotti hanno mostrato una lenta cinetica di rilascio del P in acqua e a diversi pH, condizione che favorisce l'assorbimento di fosforo dalla pianta e la riduzione di perdite di nutriente nell'ambiente.

Inoltre, in questo lavoro sono stati testati dei pretrattamenti sulle biomasse con l'obiettivo di aumentare la solubilizzazione del fosforo dalla frazione solida e trasferirlo nella frazione liquida. Nella separazione solido-liquido del digestato, il fosforo organico si concentra nella fase solida ($1:1=N:P$) e, l'azoto ammoniacale nella fase liquida ($>10:1=N:P$). Si consideri che l'apporto di $N:P$ richiesto dalle piante per le culture estensive deve essere circa 6:1. Questo squilibrio di P nella frazione liquida, oltre a non essere indicato alla pianta determina che per precipitare struvite è necessario aggiungere elevate quantità di P sottoforma di reagente puro. Questo studio ha valutato e confrontato l'effetto di una miscela di cellulasi, emicellulasi e proteasi, volto alla degradazione della materia organica, e due tipi di enzimi per l'idrolisi del fosfato: fitasi e fosfatasi. Un altro pretrattamento studiato è la cavitazione idrodinamica, ovvero un pretrattamento fisico che porta alla frammentazione fisica della biomassa iniziale mediante la formazione e poi esplosione di microbolle di cavitazione. La combinazione di più trattamenti è risultata efficace nella solubilizzazione di P sottoforma di ortofosfato. Per quanto riguarda la biomassa di FORSU è stato registrato un incremento di rilascio del 50% di P disponibile, mentre per la biomassa letame-liquame si è registrato un incremento pari all' 80%. Questi pretrattamenti studiati saranno testati con prove di DA in progetti di ricerca futuri. In conclusione, la struvite ottenuta può essere commercializzata come fertilizzante minerale o organo-minerale con differente cinetica di rilascio di P . I risultati promettenti di questo lavoro porteranno le aziende ad adottare questo processo per purificare il refluo in modo da ottenere fertilizzante contenente P e N ricavato da biomasse di scarto.

***DEVELOPING AN AUTONOMOUS DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEM
USING BEHAVIOURAL, PRODUCTIVE AND METEOROLOGICAL DATA FROM A
DAIRY CATTLE FARM IN SPAIN***

Marica Marchese - Tesi di Laurea Magistrale: Zootecnia

Lo stress termico nelle vacche da latte è ad oggi un problema critico, che spesso porta a una diminuzione della resa lattiera, ad alterazioni del comportamento alimentare e a problemi di salute, conseguenze dirette a tempi di esposizione al calore prolungati. Le strategie tradizionali di mitigazione, come i sistemi di ventilazione e docce, spesso non sono efficaci e non riescono ad adattarsi dinamicamente alle condizioni ambientali. La ricerca si avvale di tecnologie di sensori, monitoraggio in tempo reale e modellizzazione predittiva per creare un approccio più efficace e automatizzato alla gestione dello stress termico.

Metodologia

I dati sono stati raccolti presso un'azienda lattiera commerciale di Bétera, in Spagna, che ospita 3.500 vacche. Lo studio si è concentrato su un gruppo target di 65 vacche in lattazione durante un periodo estivo della durata di tre mesi. Tra le variabili chiave per il monitoraggio figurano:

Indice di temperatura-umidità (THI): Derivato da dati meteorologici per quantificare i livelli di stress termico.

Metriche comportamentali: ingestione, ruminazione e tempo di affanno sono stati registrati tramite accelerometri on-neck.

Parametri produttivi: i dati sulla resa del latte sono stati raccolti per ciascuna sessione di mungitura diaria.

Consumo di mangime: misurato tramite sistemi digitali di pesatura tra quantità di input e output dei gruppi di vacche sottoposti allo studio.

Analisi dei dati esplorativa

Lo studio ha rilevato correlazioni significative tra stress da caldo e il comportamento diretto delle vacche. L'aumento del THI ha portato a una riduzione dei tempi di ingestione e ruminazione, mentre ha aumentato il comportamento di affanno. La matrice di correlazione ha rivelato:

Correlazione negativa (-0,30) tra THI e ruminazione, che indica un'alterazione della digestione.

Correlazione positiva (0,45) tra THI e respiro affannoso, confermando il suo ruolo di indicatore dello stress termico.

Correlazione negativa (-0,1375) tra THI e produzione lattiera, evidenziando le perdite economiche dovute allo stress termico.

Sviluppo del modello

È stato sviluppato un modello di regressione lineare per prevedere il comportamento della respirazione, utilizzando come predittori THI, temperatura,

umidità, consumo di cibo e frequenza delle docce. Gli indicatori chiave di rendimento del modello comprendevano:

- **R- quadro:** 0,5542, che spiega il 55,42% della variabilità nel respiro.
- **Errore assoluto medio (MAE):** 8,78 minuti, garantendo una moderata precisione predittiva.
- **F-statistic:** Altamente significativo, confermando la robustezza del modello.

Ottimizzazione del piano di raffrescamento tramite docce.

Utilizzando algoritmi di apprendimento automatico, è stato generato un programma ottimizzato della frequenza delle docce, regolando dinamicamente gli interventi di raffreddamento in base ai punteggi di affanno previsti. L'algoritmo ha mirato a ridurre i punteggi di affanno da una media osservata di 17,44 min/ora ad un obiettivo di 7,00 min/ora. Il processo di ottimizzazione ha identificato un regime di doccia minimo di quattro volte al giorno come il più efficace.

Risultati e impatto

- **Riduzione dell'affanno:** Tramite il modello predittivo si è ottenuta una diminuzione di circa il 90,42% nelle manifestazioni di stress da calore.
- **Stabilità della produzione di latte:** mentre i piani attuali per le docce hanno mostrato un impatto limitato, la strategia perfezionata ha fornito una maggiore coerenza nella resa del latte in condizioni di THI elevato.
- **Miglioramento comportamentale:** le predizioni hanno mostrato un miglioramento nei comportamenti di ingestione e ruminazione sotto il programma di raffreddamento ottimizzato.

Discussione e destinazioni future

Lo studio dimostra che l'intervento basato sui dati può migliorare in modo significativo la gestione dello stress termico. Le capacità predittive del modello aprono la strada all'integrazione di reti neurali e Random forests per perfezionare ulteriormente i programmi delle docce. Inoltre, l'ampliamento del set di dati per includere marcatori fisiologici delle vacche (ad esempio la frequenza cardiaca) potrebbe migliorare l'accuratezza del modello.

Conclusione

La ricerca convalida l'uso di tecniche di allevamento di precisione (PLF) nella gestione delle aziende lattiero-casearie. Sfruttando i dati dei sensori e la modellazione predittiva, il sistema di supporto decisionale proposto offre una soluzione scalabile per ottimizzare il benessere delle vacche, sostenere la produzione di latte e migliorare l'efficienza dell'azienda agricola in presenza di temperature globali crescenti. Lo studio evidenzia il potenziale di trasformazione della gestione del bestiame basata sull'IA per adattarsi ai cambiamenti climatici e garantire pratiche sostenibili di allevamento.

LA DIGITALIZZAZIONE DELL'AZIENDA AGRICOLA ITALIANA: SFIDE E OPPORTUNITÀ DELL'AGRICOLTURA 4.0

Marco Curelli - Tesi di Laurea Magistrale: PAC e Sviluppo rurale

La presente tesi di laurea magistrale è stata sviluppata con una visione interdisciplinare, diretta ad unire le conoscenze apprese dal corso di “Organizzazione aziendale” ad un interesse personale per il settore agricolo e l’innovazione tecnologica.

Il lavoro di ricerca è stato scandito dal binomio sfide-opportunità, sviluppato in una duplice accezione: da un lato, le sfide che il settore agricolo oggi si trova ad affrontare e come l’Agricoltura 4.0 possa essere l’opportunità/il rimedio per farvi fronte; dall’altro, le sfide che ostacolano la diffusione del paradigma 4.0 nell’azienda agricola italiana e gli strumenti esistenti e/o implementabili per superare simili barriere.

Le sfide attuali che minacciano la sopravvivenza del settore agricolo “tradizionale” possono essere raggruppate in tre macro-categorie: le sfide di carattere ambientale, sociale ed economico.

Tali sfide, sempre più contingenti, si influenzano e si alimentano le une con le altre, con inevitabili riflessi sull’organizzazione delle aziende agricole e sull’attività produttiva. Con il presente elaborato, si è inteso mettere in luce come la risposta a queste sfide possa (e debba) essere rappresentata dall’adozione delle soluzioni 4.0 all’interno delle aziende agricole italiane. Nell’era dell’Industria 4.0, infatti, il settore agricolo può (e deve) avanzare lungo le traiettorie segnate dall’introduzione dei processi di digitalizzazione in tutti i settori produttivi. Si parla, allora, di “Agricoltura 4.0” per indicare un fenomeno

complesso, che è al contempo tecnico, gestionale, produttivo e organizzativo, basato sull’introduzione e implementazione di varie tipologie di processi di digitalizzazione all’interno del settore agricolo, nei vari stadi e nelle diverse fasi che lo interessano.

La seguente immagine è in grado di mostrare visivamente che cosa si intende per “Sistema 4.0”. I vantaggi scaturenti dall’introduzione di applicativi 4.0 in azienda possono essere realmente apprezzati solo se si crea un sistema interconnesso, basato sull’attività di raccolta dati (monitoraggio), l’analisi degli stessi, la loro elaborazione per ricavarne informazioni utili che i sistemi di supporto alle decisioni possono offrire all’imprenditore agricolo per gestire nel modo più efficiente, efficace e sostenibile le operazioni colturali utilizzando VRT (tecnologie a rateo variabile).

Il lavoro di ricerca, quindi, si è sviluppato analizzando le tecnologie abilitanti, ossia tutti quegli applicativi che, interagendo tra loro, consentono di creare un sistema interconnesso e, quindi, di digitalizzare l’attività agricola: tecnologie adibite alla raccolta di dati tecnologie dirette a digitalizzare la fase “decisionale” mediante l’elaborazione dei dati e l’extrapolazione di informazioni utili tecnologie che consentono di automatizzare e di gestire in modo *smart* le operazioni colturali tecnologie che operano lungo la filiera agroalimentare, favorendo la digitalizzazione della supply chain e garantendo maggiore tracciabilità ai prodotti

Dopo aver esaminato le singole tecnologie, sottolineata la necessità di creare un “sistema”, si è passati all’analisi degli ostacoli principali all’implementazione di soluzioni digitali in agricoltura. Le barriere alla digitalizzazione del settore sono state raggruppate in cinque macrocategorie: economiche; diffidenza degli imprenditori agricoli verso il cambiamento; sociali-laburistiche; strutturali; tecnico-giuridiche, legate alla disciplina e alla gestione dei dati agricoli.

Anche se “non è tutto oro quel che luccica” e vi sono numerose sfide da affrontare, gli innumerevoli benefici connessi alla digitalizzazione dell’impresa agricola impongono di individuare gli strumenti per fare fronte alle criticità che ostacolano l’adozione dell’Agricoltura 4.0, le “opportunità” che fanno da contraltare alle “barriere”. La maggior parte degli strumenti che possono arginare gli ostacoli alla digitalizzazione agricola esistono già, altri sono facilmente implementabili se se ne comprende l’importanza, altri sono progetti in fase di studio, altri devono essere ancora “inventati”. Quale che sia lo strumento e l’opportunità che esso offre, è fondamentale conoscere il “nemico” (la barriera che si deve combattere) per raggiungere il risultato. Il capitolo 2.10, quindi, è stato elaborato sulla falsariga dello schema sottoriportato, dove sono stati riassunti i principali ostacoli all’implementazione delle AgTech nelle aziende agricole italiane, utilizzando colori diversi a seconda della sfera a cui appartengono (economica – verde, soggettiva – azzurro, lavorativa – arancione, tecnologica – grigio, tecnico-normativa – viola) e gli strumenti che possono contenerli o eliminarli. Guardando alla relazione tra barriere e opportunità (le frecce), è possibile notare la capacità di queste seconde a rispondere a più di un ostacolo contemporaneamente. L’ultimo capitolo dell’elaborato ha riguardato dei casi di studio, diretti a raccogliere l’esperienza degli operatori del settore che si collocano ai due lati opposti del mercato “Agricoltura 4.0”: l’imprenditore agricolo e l’ATP (Agricultural Technologies Provider). I casi di studio sono stati gestiti in modo da far sì che emergesse l’opportunità di interessarsi al nuovo modello produttivo 4.0, ma soprattutto si potessero conoscere le variabili in gioco in un processo ancora in corso, il ruolo degli *stakeholders* coinvolti nel processo di digitalizzazione, gli ostacoli da tenere in considerazione, le iniziative da implementare per eliminarli o limitarne la portata. La scelta di non focalizzarsi su dati prettamente numerici (il risparmio di un certo input grazie all’uso di una tale tecnologia) è stata determinata dalla consapevolezza che la riorganizzazione del modello produttivo tradizionale in uno *smart* è un percorso soggetto a tantissime variabili che dipendono dalle caratteristiche particolari di ogni singola azienda agricola. Ciononostante, anche l’approccio adottato nel presente elaborato risente di un notevole tasso di soggettività poiché i soggetti intervistati hanno riportato la loro personale esperienza e non possono certo dirsi rappresentativi dell’intera categoria. Lo sviluppo del lavoro svolto dovrebbe proprio incentrarsi su questo profilo, andando a sviluppare un sistema più oggettivo possibile (es. ad esempio, mediante questionario - diverso a seconda che si tratti di imprenditori agricoli o ATP) diretto a raccogliere le informazioni utili per comprendere quali sono gli ostacoli e le opportunità della digitalizzazione del settore percepiti dai soggetti che vi operano.

L'analisi condotta sul fenomeno della digitalizzazione del settore agricolo e il particolare taglio che si è scelto di dare al lavoro di ricerca, alla luce del binomio sfide-opportunità, rappresenta una scelta consapevole che mira a mostrare come l'Agricoltura 4.0 consenta di perseguire al contempo più obiettivi della PAC 23-27. Le tecnologie *blockchain*, correttamente valorizzate, possono essere in grado di migliorare la posizione degli agricoltori nella filiera alimentare e, quindi, di garantire redditi migliori e di aumentare la competitività degli operatori del settore. Le tecnologie dirette a usare in modo efficiente gli input produttivi consentono di ridurre l'impatto ambientale dell'attività agricola e di ridurre i costi di produzione. La digitalizzazione delle imprese agricole è un'opportunità attirare le nuove generazioni e nuove professionalità nelle aziende agricole, promuovendo conoscenze e innovazione. Questi ed altri obiettivi della PAC 23-27 possono essere perseguiti e valorizzati favorendo la digitalizzazione dell'agricoltura italiana, un passo necessario per un'agricoltura più sostenibile dal punto di vista sociale, economico e ambientale.

