

**GRAPE  
PRODIGI**

# **Sostenere i viticoltori con strumenti digitali per sviluppare il loro approccio all'agricoltura di precisione**

***Materiale didattico***



**Co-funded by  
the European Union**

Finanziato dall'Unione europea. I punti di vista e le opinioni espresse sono tuttavia esclusivamente quelli dell'autore o degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione Europea né l'EACEA possono essere ritenute responsabili.

## Indice dei contenuti

<b>Modulo 1</b> - Introduzione al progetto.....	3
Obiettivo del progetto .....	3
I gruppi target del progetto .....	4
Presentazione dei partner .....	5
<b>Modulo 2</b> - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola .....	8
Lezione 2.1: L'era della trasformazione digitale .....	8
Lezione 2.2: Obiettivi della digitalizzazione .....	9
Sotto-lezione 2.2.1: Introduzione .....	9
Sotto-lezione 2.2.2: Efficienza .....	11
Sotto-lezione 2.2.3: Produttività.....	12
Sotto-lezione 2.2.4: Trasparenza .....	13
Sotto-lezione 2.2.5: Sostenibilità .....	14
Sotto-lezione 2.2.6: Sfide per il settore in materia di sostenibilità .....	15
Lezione 2.3: Principali tendenze digitali nel settore vitivinicolo .....	17
Sotto-lezione 2.3.1: <i>Internet of Things</i> (IoT) /Sensorizzazione.....	17
Sotto-lezione 2.3.2: Intelligenza artificiale .....	19
Sotto-lezione 2.3.3: Robotica.....	21
Sotto-lezione 2.3.4: Immagini da satellite .....	22
Sotto-lezione 2.3.5: LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging).....	23
<b>Modulo 3</b> -Digitalizzazione in agricoltura .....	24
Lezione 1: Introduzione .....	24
Lezione 2: Misure UAV .....	26
Lezione 3: Modelli digitali .....	28
Lezione 4: Mappatura multispettrale e indici di vegetazione .....	34
<b>Modulo 4</b> - Monitoraggio climatico e computer vision in agricoltura .....	37
Lezione 1: Sensori sul campo .....	37
Lezione 2: Visione artificiale applicata alla canopy vegetale.....	44
Lezione 3: Visione artificiale applicata agli insetti .....	47
Lezione 4: Modelli di previsione delle malattie .....	49
<b>Modulo 5</b> - Migliori pratiche.....	51
Lezione 5.1: Vigneti digitali .....	51
Lezione 5.2: Cantine digitali e consumatori.....	54
Riferimenti bibliografici: .....	55

## Modulo 1 - Introduzione al progetto

### Obiettivo del progetto

L'agricoltura, e in parte la produzione di vino, è un settore critico a livello di Unione Europea, con la creazione della Politica Agricola Comune (PAC), dove i benefici economici e culturali sono ben focalizzati. La digitalizzazione del settore agroalimentare è obbligatoria, per raggiungere un livello più elevato di sostenibilità con competenze adeguate agli agricoltori. Gli attuali modelli convenzionali di produzione dell'uva si basano su professionisti altamente istruiti ed esperti che dedicano ore di lavoro alla raccolta di diverse serie di dati per i processi decisionali, come le variabili meteorologiche, i processi di lavorazione a mano, i progressi delle macchine, la salute dei vigneti e la protezione delle piante, la nutrizione del suolo, ecc. La coerenza di queste misurazioni e trattamenti, combinata con la durata di produzione di almeno 25 anni di un vigneto, in quanto si tratta di una piantagione stazionaria, determina una massa eccessiva di dati che devono essere presi in considerazione per ottenere una migliore economia e una maggiore resilienza al clima.



Figura 1. Il logo del progetto GrapePRODIGI

Uno degli obiettivi del progetto è creare un portale di gestione digitale della vite ben sviluppato, utilizzando un quadro geoinformatico basato su GIS e integrato da database GNSS, telerilevamento, dati microclimatici e agricoltura di precisione, integrati con dati provenienti da sensori prossimali in vigneti pilota. Il portale contiene contenuti educativi e informativi sull'uso, i benefici economici e gli aspetti ambientali della digitalizzazione dell'agricoltura dal punto di vista delle produzioni viticole. Il portale è stato creato in lingua italiana, inglese e ungherese e mostra le migliori pratiche per fornire conoscenze facili da implementare. Inoltre, il progetto intende fornire strumenti digitali ai viticoltori per ottenere conoscenze aggiornate sull'implementazione della gestione del vigneto, sull'elaborazione e sull'utilizzo dei dati per aiutare i processi decisionali. Creando materiali didattici sulle applicazioni geoinformatiche nella gestione dei vigneti, saranno sviluppate opportunità di autoapprendimento e roadshow di apprendimento misto per fornire conoscenze digitali agli agricoltori. L'utilizzo di mappe digitali per la gestione dei vigneti aiuta i produttori a coltivare in modo più economico, sostenibile e resiliente al clima, ottimizzando i turni dei lavoratori, i trattamenti fitosanitari e l'apporto di nutrienti, oltre che attraverso un set di dati basato su mappe che sarà disponibile per aiutare i processi decisionali.

Valutando una raccolta di informazioni di facile utilizzo, è possibile finanziare i fondamenti di un centro di conoscenza sulla geoinformatica e sull'agricoltura di precisione, che aggrega informazioni aggiornate, dimostri i progetti pilota dei benefici della digitalizzazione dei vigneti e presenti le migliori pratiche per un apprendimento pratico.

## **I gruppi target del progetto**

I produttori spesso non dispongono di opportunità di formazione adatte allo scopo e di accesso alle informazioni su come impostare queste applicazioni agronomiche innovative (ad esempio, come implementarle, come impostare un sistema agronomico digitale per una determinata azienda, come raccogliere e utilizzare i dati digitali, ecc.) Più specificamente, il progetto GrapePRODIGI si rivolge ai produttori di uva dell'UE che non hanno le conoscenze/la formazione necessarie per trarre il massimo vantaggio dalla gestione digitale dell'azienda agricola, in particolare le aziende agricole di piccole e medie dimensioni e le iniziative regionali. Il consorzio del progetto è una cooperazione equilibrata di centri di ricerca e innovazione, aziende private e soggetti interessati alla digitalizzazione e all'agricoltura di precisione. Grazie all'ampia rete di viticoltori, alle iniziative locali e multinazionali, agli innovatori agricoli e ai principali stakeholder settoriali, numerosi attori possono essere coinvolti nel progetto.

Il gruppo target principale è costituito da produttori di uva da vino e da tavola in Ungheria e in Italia, soprattutto nelle regioni vitivinicole storiche, dove il valore aggiunto del prodotto finale è sufficientemente alto da avere una buona quota di mercato e richiede innovazione e digitalizzazione nella gestione dei campi. I due partner non istituzionali del progetto garantiscono un impatto maggiore. Oltre al gruppo target primario, sono interessati anche i produttori di frutta, verdura o colture, poiché la piattaforma di gestione dei campi non è specializzata solo per la viticoltura, ma possono essere implementate anche altre colture, in particolare le colture perenni. Come utenti alternativi dei database geoinformatici, si rivolgono anche le iniziative regionali e le comunità di agricoltori. Valutando i dati digitali registrati a livello regionale si possono creare informazioni utili per le strategie regionali, i responsabili politici e gli attori di governo. In linea con i pilastri identificati della bozza della PAC post-2020, il progetto ha identificato un'opportunità unica per affrontare le sfide chiave del settore agroalimentare dell'UE, fornendo opportunità di formazione su misura per supportare i produttori nel coinvolgimento e nell'implementazione di una nuova gestione sostenibile dell'azienda agricola, consentendo così un migliore reddito per i produttori, benefici economici e una maggiore resilienza climatica e ambientale.

## Presentazione dei partner

### Università Cattolica di Eszterházy Károly

L'Università Cattolica Eszterházy Károly è un'istituzione di istruzione superiore riconosciuta dallo Stato, che ha una rilevanza soprattutto nella regione nord-orientale dell'Ungheria, ma è conosciuta e riconosciuta anche a livello nazionale. L'Università opera in due campus, a Eger e Jászberény. Circa 6.500 studenti sono iscritti all'istruzione fornita da circa 350 docenti e ricercatori. Le attività principali dell'istituto sono l'istruzione, la ricerca scientifica e la creazione artistica, secondo la legge nazionale sull'istruzione superiore 2 (1). L'Istituto offre corsi di laurea, master, diploma, post-laurea e diploma in settori specifici e a livelli specifici. Offre inoltre una formazione professionale di livello superiore e una formazione di dottorato e rilascia diplomi di dottorato. Offre anche educazione degli adulti. Svolge inoltre attività di ricerca di base, ricerca applicata e sperimentale, organizzazione scientifica, innovazione tecnologica e altre ricerche a sostegno dell'istruzione.



Figura 2. Il logo dell'Università Cattolica di Eszterházy Károly

Il Centro di ricerca e sviluppo fa parte dell'Università Cattolica Eszterházy Károly, Eger, Ungheria. Il centro di ricerca è stato fondato nel 2006. Da allora, è un istituto professionale dominante nei settori delle scienze alimentari, delle tecnologie di sicurezza alimentare e della bioanalisi in Ungheria. Il Centro per la ricerca e lo sviluppo (CRD) ha

fatto esperimenti rilevanti nella costruzione di conoscenze cognitive in relazione all'istruzione, alla ricerca e alla diffusione dei risultati. Le ricerche viticole ed enologiche del centro sono state rafforzate negli ultimi anni, per rispondere alle esigenze della regione vinicola, ottimizzando e riorganizzando il potenziale di ricerca locale del settore. Le sotto-organizzazioni del Centro di Consulenza Agronomica del CRD, con l'autorizzazione del Centro di Consulenza Enologica, offrono una buona opportunità di mantenere i contatti e le relazioni con le organizzazioni professionali viticole ed enologiche del governo, le associazioni di categoria, i cluster e i singoli agricoltori.

Sebbene l'Università Cattolica Eszterházy Károly sia principalmente un istituto di istruzione superiore, riteniamo importante offrire opportunità di sviluppo professionale permanente ai nostri ex studenti e partner professionali.

Il sito web dell'istituto: <https://uni-eszterhazy.hu/en>

### Università degli studi di Padova

L'università degli studi di Padova è uno dei più antichi e prestigiosi istituti di istruzione superiore d'Europa che mira a fornire un'istruzione di alta qualità, a favorire la ricerca, a coltivare le relazioni internazionali e a promuovere un forte legame con il territorio. Il progetto è stato realizzato presso il Dipartimento DAFNAE, che svolge attività di ricerca e insegnamento nei settori delle produzioni vegetali e animali, della difesa delle colture agricole, delle biotecnologie agrarie e del miglioramento genetico di piante e animali, delle tecnologie alimentari, della biodiversità, della conservazione e tutela dell'ambiente e della gestione sostenibile del territorio rurale. La missione del DAFNAE è promuovere la competitività del

settore agroalimentare e l'uso sostenibile delle risorse naturali, attraverso la produzione e la diffusione di conoscenze sulla gestione e il miglioramento di piante, animali, suolo e microrganismi per ottenere alimenti di qualità, garantendo la conservazione dei sistemi ecologici e la valorizzazione dell'ambiente coltivato e della biodiversità.



3. Figura Logo della DAFNAE

DAFNAE svolge attività di ricerca nel campo della viticoltura di precisione e dell'agricoltura digitale presso il centro di ricerca CIRVE, acronimo di Centro Interdipartimentale di Ricerca in Viticoltura ed Enologia dell'Università degli studi di Padova. L'attività didattica è svolta dal DAFNAE presso la Scuola di Scienze Agrarie e Veterinarie dell'Università di Padova con un corso di laurea triennale in Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche e un master in Viticoltura, Enologia e

Mercati del Vino associato al Vinifera EuroMaster. Il Prof. Franco Meggio ha una forte esperienza di ricerca e di insegnamento nel collegare i metodi di telerilevamento alla fisiologia della vite per promuovere approcci di viticoltura di precisione attraverso l'impiego di sensori remoti e prossimali. È responsabile didattico del corso: "Monitoring of water and carbon balance in agricultural crops using advanced remote sensing techniques and ground truth" all'interno del Master di II livello in GIS Science dell'Università di Padova.

Il Dipartimento DAFNAE svolge attività di insegnamento superiore a studenti universitari di età compresa tra i 20 e i 25 anni attraverso corsi di laurea in Viticoltura ed Enologia, ma la loro formazione continua con una scuola di dottorato in Crop Science di età media fino a 30 anni. Allo stesso tempo, il DAFNAE svolge attività di divulgazione nei confronti di viticoltori, tecnici viticoli, professionisti agronomi e semplici cittadini e studenti delle scuole superiori, con un'età che può variare dai 15 ai 60 anni.

### CET Electronics

Sviluppo e produzione di sistemi elettronici e software nel settore dell'automazione industriale e nel settore agricolo, con particolare attenzione a sensori innovativi, sistemi di visione artificiale, modelli di previsione delle malattie e robotica applicata all'agricoltura di precisione.

CET Electronics ha gestito diversi progetti per lo sviluppo di strumenti innovativi per la viticoltura, con il ruolo di responsabile tecnico e anche nell'*outreach* dei progetti. I principali sono: PV-sensing ([www.pvsensing.it](http://www.pvsensing.it)): sviluppo di un nuovo modello di previsione per la peronospora della vite, basato sull'input di nuovi sensori per l'umidità del suolo e la bagnatura delle foglie, insieme a un sistema di computer vision per misurare la crescita della chioma attraverso l'analisi delle immagini. ROVITIS 4.0 ([www.rovitisveneto.it](http://www.rovitisveneto.it)): sviluppo di un robot autonomo di irrorazione per il vigneto, per il quale abbiamo sviluppato il controllo del robot, una parte della guida autonoma basata su telecamere stereo e l'intero apparato di irrorazione di precisione, a rateo variabile e un sistema automatico di miscelazione e iniezione dei prodotti



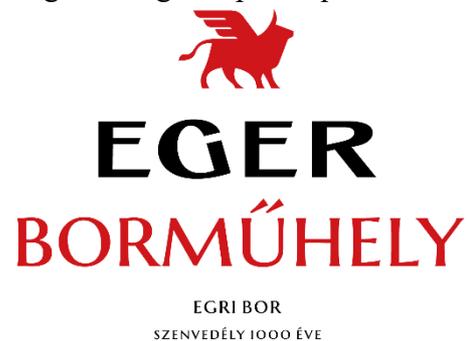
4. Figura Logo di CET Electronics

fitosanitari. IRRIVISION ([www.irrivision.it](http://www.irrivision.it)): sviluppo di un nuovo modello di irrigazione basato su sensori e computer vision per rilevare lo stato di stress idrico delle piante.

La nostra clientela o, in generale, il pubblico che segue abitualmente i nostri seminari o le nostre attività dimostrative, è caratterizzata principalmente da agricoltori e viticoltori di età compresa tra i 30 e i 50 anni, con un'elevata competenza nella viticoltura (come è tipico nella regione del Prosecco) e già un po' di dimestichezza con l'uso della tecnologia in generale, anche se non ancora applicata all'agricoltura.

### **Associazione EGER Borműhely (BAE)**

L'implementazione di una comunicazione unificata e di un'attività di marketing professionale per la regione vinicola di Eger e l'ulteriore sviluppo di una cultura della produzione di vino e uva di qualità, basata su principi scientifici, che prevalgono sugli aspetti quantitativi. L'associazione organizza eventi per promuovere il più possibile la produzione di uva e vino di qualità della regione di Eger. Promuove la cultura della produzione di vino e uva di qualità tra i viticoltori e i produttori di vino e uva attraverso la produzione di materiale professionale, studi, organizzazione di eventi professionali e conferenze. Mantiene contatti con altre organizzazioni che perseguono obiettivi simili.



L'Associazione comunica regolarmente gli ultimi risultati sfruttabili - sia in termini di ricerca scientifica che di formazione nel settore - ai suoi membri e ai rappresentanti delle aziende vinicole di Eger aperte all'argomento. L'Associazione contribuisce a diffondere i risultati professionali rilevanti tra le aziende vinicole di Eger organizzando giornate professionali, durante le quali le presentazioni teoriche costituiscono la base per un seguito preciso delle dimostrazioni pratiche. La missione di BAE è anche quella di far conoscere meglio la Síkhegy, anch'essa coinvolta nel progetto, al pubblico professionale, alla stampa specializzata, ai sommelier e agli esperti di vino.

*Figura 5. Logo dell'Associazione EGER Borműhely*

Il profilo dell'Associazione Eger Borműhely è composto principalmente da viticoltori di Eger. La maggior parte di loro si occupa anche di viticoltura e vinificazione. In parte sono membri dell'Officina del Vino, ma c'è anche una stretta collaborazione con i viticoltori non membri di Eger, per cui possiamo contare di raggiungere anche loro. L'età del gruppo target è molto variabile, con partecipanti di età compresa tra i 20 e i 65 anni. I risultati sviluppati nel progetto previsto potrebbero essere particolarmente utili per loro. La loro età è stimata tra i 30 e i 50 anni.

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

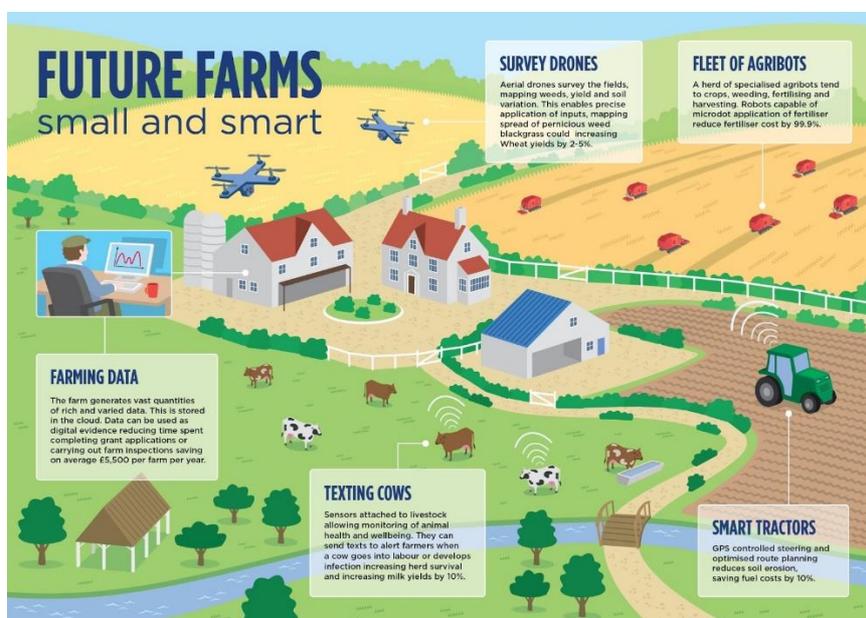
### Lezione 2.1: L'era della trasformazione digitale

Il secolo attuale è caratterizzato dallo sviluppo di nuove tecnologie, dai dispositivi analogici, meccanici ed elettronici a quelli digitali, e dalla diffusione di Internet. Tutto ciò ha contribuito a creare un nuovo contesto socio-economico e commerciale, la Rivoluzione Digitale. Questa era è iniziata negli anni '80 ed è stata riconosciuta come una delle principali tendenze che rimodelleranno le società e l'economia globale in futuro.

La trasformazione digitale utilizza le tecnologie digitali per creare nuove esperienze di business, culturali e per i clienti, al fine di soddisfare i cambiamenti delle esigenze del mercato. Si tratta di un cambiamento culturale che promuove l'evoluzione delle organizzazioni per agire e reagire a condizioni e strategie mutevoli per evolvere e avere ulteriore successo.

Le attuali tendenze della digitalizzazione stanno promuovendo grandi cambiamenti, come la ricerca di nuovi modelli di business e di nuove opportunità, oltre a rendere più efficienti e resilienti quelli esistenti. In altre parole, la digitalizzazione non riguarda solo la digitalizzazione di nuove attività, ma anche il rimodellamento di quelle attuali grazie alle nuove tecnologie digitali.

Nell'ultimo decennio, le tecnologie agrarie hanno registrato un aumento vertiginoso degli investimenti. L'agricoltura di oggi guarda all'uso comune di tecnologie sofisticate come le immagini satellitari, la tecnologia GPS, i robot e i sensori di temperatura, umidità e altro. Tutte queste tecnologie possono rivoluzionare l'agricoltura e aiutare i coltivatori a lavorare in modo più preciso, efficiente, sostenibile ed ecologico. Le tecnologie digitali hanno anche il potenziale per offrire ai consumatori una maggiore trasparenza lungo tutta la filiera di produzione.



Rappresentazione schematica di una futura azienda agricola gestita con precisione

Figura 2.1

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.2: Obiettivi della digitalizzazione

#### Sotto-lezione 2.2.1: Introduzione

L'idea principale dell'Agricoltura Digitale è "*Produrre di più con meno input e mantenendo standard qualitativi più elevati*".

Questo approccio offre molteplici vantaggi alle imprese e all'ambiente.

- **Le cantine** possono ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre i consumi e gli sprechi e aumentare la produttività dei campi. Le moderne attrezzature agricole e i nuovi dispositivi dotati di sensori hanno permesso la raccolta automatica dei dati. Tutti i processi diventano più redditizi perché gestiti in modo più rapido ed efficace e portano a una riduzione dei costi orari che, infine, diminuisce la necessità di manodopera umana.
- **L'ambiente** può essere preservato grazie alla riduzione degli sprechi, come fertilizzanti ed erbicidi, delle emissioni e della compattazione del suolo con un uso più razionale delle risorse. *L'Internet of Things (IoT)*, il *cloud computing* e gli algoritmi di *machine learning* hanno fornito i mezzi per l'analisi dei dati in tempo reale per estrarre informazioni utili per l'ottimizzazione dell'uso degli input e per una migliore gestione delle risorse naturali a livello di azienda agricola.

Il settore vitivinicolo può beneficiare di questi progressi tecnologici. Tuttavia, questi richiedono grandi investimenti in tempo, denaro e nuove capacità e questa è spesso la ragione principale della loro lenta adozione. Gli obiettivi principali della digitalizzazione sono l'aumento di:

- efficienza
- trasparenza
- produttività
- sostenibilità

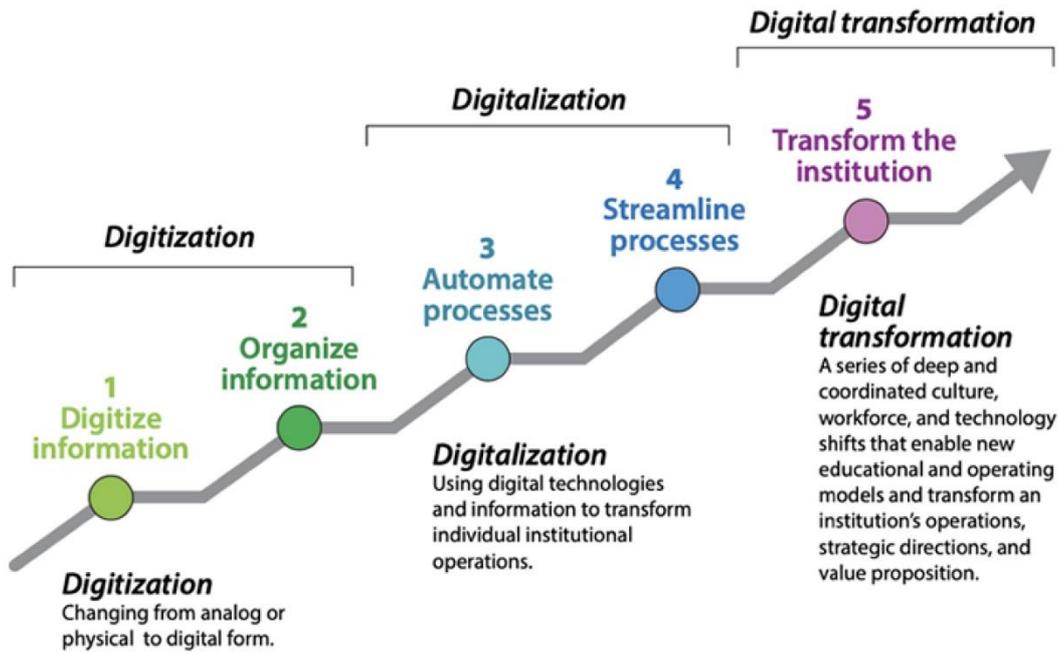


Figura 2.2

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.2: Obiettivi della digitalizzazione

#### Sotto-lezione 2.2.2: Efficienza

L'aumento dell'efficienza della filiera produttiva comporta evidenti vantaggi, come l'utilizzo delle sole risorse realmente necessarie, la riduzione dell'uso di prodotti inquinanti e il miglioramento della capacità dell'impresa di comunicare in modo più efficace. Finora la digitalizzazione dei processi manuali è diventata una questione fondamentale per lo sviluppo e la sopravvivenza delle organizzazioni di piccole e grandi dimensioni. Oggi l'**intelligenza artificiale** e la **robotica** possono svolgere meglio i compiti ripetitivi, riducendo così il lavoro manuale e favorendo i dipendenti verso attività a maggior valore aggiunto o di responsabilità.

Per il settore vitivinicolo, questo concetto consentirebbe di migliorare diverse fasi della filiera produttiva, come l'acquisizione di dati in vigneto sullo stato fisiologico delle viti e sulla qualità delle uve, una migliore pianificazione ed esecuzione delle pratiche enologiche in cantina e una migliore gestione dello stoccaggio.



## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.2: **Obiettivi della digitalizzazione**

#### Sotto-lezione 2.2.3: Produttività

Uno degli obiettivi principali di qualsiasi settore produttivo è quello di aumentare la produzione annuale con lo stesso numero di risorse e oggi il raggiungimento di questo obiettivo può essere fortemente favorito dalla digitalizzazione. La digitalizzazione può fornire un'elevata capacità di raccogliere dati da sfruttare ulteriormente, portando i coltivatori a prendere decisioni migliori, ottimizzare le operazioni e aumentare la produttività, con conseguenti maggiori profitti e un settore agricolo più sostenibile. Ciò consente al settore vitivinicolo di migliorare la produttività in campo e in cantina riducendo i costi e, grazie al monitoraggio automatico tramite sensori distribuiti nel vigneto, di prendere decisioni migliori per decidere se e quanto irrigare, eseguire le pratiche di gestione della chioma più appropriate e al momento migliore e raccogliere l'uva nella fase di maturazione più appropriata per il successivo processo di vinificazione in cantina.

Automatizzando i compiti e ottimizzando le operazioni, le tecnologie digitali possono contribuire a ridurre il carico di lavoro fisico e mentale degli agricoltori, migliorando le condizioni di lavoro.

Nonostante i costi delle tecnologie, i reali vantaggi economici di questo tipo di agricoltura e di strumenti sono ben noti. Un maggiore controllo sulle attività porta all'ottimizzazione delle risorse e, di conseguenza, a un minore spreco di acqua e fertilizzanti. Tutto ciò si traduce in un risparmio per il viticoltore.



## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.2: Obiettivi della digitalizzazione

#### Sotto-lezione 2.2.4: Trasparenza

La trasparenza è una delle principali preoccupazioni di imprese e consumatori. In questo contesto, la digitalizzazione può dare un grande contributo attraverso tecnologie che migliorano la trasparenza rendendo le informazioni più accessibili a un pubblico più ampio. La digitalizzazione può contribuire a migliorare la tracciabilità dei prodotti agricoli, consentendo ai consumatori di fare scelte più informate.

Un monitoraggio costante e preciso di ogni fase della catena di produzione può tradursi in una maggiore qualità del prodotto finale, con indubbi vantaggi per la salute. Si stima che i prodotti di una filiera ad alta tecnologia mantengano le loro proprietà e siano quindi più sani.

Un esempio di maggiore trasparenza per i consumatori nel settore vitivinicolo è l'etichetta elettronica, che consente di inserire su un QR *code* informazioni sull'azienda, sul territorio fino allo specifico vigneto da cui è stata prodotta l'uva, in misura maggiore rispetto alle etichette tradizionali.

Negli ultimi anni si è assistito a un incredibile aumento della quantità di dati raccolti nelle aziende agricole. I fornitori di tecnologie agricole, le aziende *high-tech* e le società di dati iniziano a svolgere un ruolo sempre più importante nei processi di raccolta, archiviazione, elaborazione e analisi dei dati agricoli. Si stima che la quantità di dati generati al giorno da un'azienda agricola media abbia superato i 250.000 nel 2015. Si prevede un ulteriore aumento della generazione di dati agricoli da circa 500.000 al giorno nel 2020 a oltre 2.000.000 al giorno nel 2030..

I potenziali limiti alla diffusione della digitalizzazione possono includere la scarsa chiarezza della proprietà e dei diritti decisionali residui sui dati agricoli e i problemi di privacy legati all'uso dei dati personali e non personali raccolti nelle aziende agricole. I coltivatori potrebbero essere preoccupati soprattutto per i potenziali usi impropri dei dati agricoli raccolti nelle loro aziende. Gli stessi set di dati che possono informare e fornire indicazioni per le decisioni agricole possono anche essere utilizzati dai fornitori di tecnologie agricole e dalle società di dati per migliorare le loro attività e la loro posizione sul mercato a spese degli agricoltori e delle comunità rurali.



## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.2: Obiettivi della digitalizzazione

#### Sotto-lezione 2.2.5: Sostenibilità

La sostenibilità è un altro obiettivo della digitalizzazione per migliorare il settore vitivinicolo. La Viticoltura 4.0 è specificamente progettata per migliorare la sostenibilità dell'attività agricola e ridurre l'impatto ambientale dell'intera filiera produttiva, dalla vite al vino.

Per agricoltura sostenibile intendiamo un tipo di agricoltura che privilegia il rispetto delle risorse naturali accanto a quelle umane ed economiche. L'agricoltura sostenibile può garantire il benessere della popolazione mondiale attuale senza danneggiare le generazioni future che ereditano il mondo in cui viviamo.

L'agricoltura sostenibile si basa su un modello economico etico, vincolante per tutte le parti interessate, i cui principi sono:

- migliorare le condizioni di lavoro e di vita dei produttori. Questo sostiene i più svantaggiati attraverso maggiori opportunità di sviluppo.
- sensibilizzare i consumatori sui meccanismi di sfruttamento delle risorse della terra.



## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.2: Obiettivi della digitalizzazione

#### Sotto-lezione 2.2.6: Sfide per il settore in materia di sostenibilità

La [FAO - Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura](#) - ha definito i 5 principi dell'agricoltura sostenibile che possono aiutare a comprendere l'importanza di questo cambiamento nella nostra società.

1. **Aumentare la produttività, l'occupazione e il valore aggiunto dei sistemi alimentari** con l'obiettivo di promuovere un cambiamento nelle pratiche e nei processi agricoli per garantire l'approvvigionamento alimentare globale e ridurre il consumo di acqua ed energia.
2. **Proteggere e valorizzare le risorse naturali**, promuovendo la conservazione dell'ambiente e riducendo l'inquinamento delle fonti idriche e la distruzione degli ecosistemi.
3. **Migliorare i mezzi di sussistenza e promuovere una crescita economica inclusiva.**
4. **Migliorare la resilienza delle persone, delle comunità e degli ecosistemi** al fine di ridurre al minimo l'impatto degli eventi meteorologici dovuti ai cambiamenti climatici o alla variabilità dei prezzi di mercato.
5. **Adattare la governance alle nuove sfide** per garantire equità e trasparenza a tutti i livelli (pubblico e privato).

L'Economia Circolare, un modello economico rigenerativo, offre molte nuove opportunità per aiutare le aziende vinicole a spostare il loro modello di business verso la sostenibilità, applicando tre chiari principi:

- evitare di utilizzare risorse limitate e di creare rifiuti e altre forme di inquinamento;
- mantenere i prodotti e i materiali in uso il più a lungo possibile e al loro massimo valore;
- e rigenerare i sistemi naturali.

Nel caso del settore vitivinicolo, le principali sfide relative alla sostenibilità sono le seguenti:

- contribuire a creare valore economico nelle aree rurali, fissando la popolazione sul territorio;
- garantire diritti e buone condizioni ai dipendenti della catena del valore;
- investire in diverse forme di mobilità sostenibile nel processo di distribuzione;
- promuovere una produzione sostenibile ed efficiente, senza pesticidi e con un uso minimo di acqua;
- promuovere l'agricoltura rigenerativa: migliorare la qualità del suolo e contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici;
- garantire la salute e il valore della biodiversità e degli ecosistemi terrestri;
- produrre nuove forme di energia sostenibile come i biocarburanti;
- ridurre gli sprechi lungo tutta la catena del valore;
- considerare il rischio climatico e l'impatto dell'aumento delle temperature nel processo produttivo;
- massimo utilizzo della produzione biologica: la cantina come bioraffineria;
- modello di *eco-design* e marketing del prodotto: nuovi formati di imballaggio (riutilizzabili, a rendere, compostabili, riciclabili) e nuovi formati di accesso al prodotto che promuovono la circolarità;

- ottimizzare il ciclo di vita di strutture, infrastrutture, macchinari e attrezzature;
- ciclo dell'acqua: raccolta, utilizzo e rigenerazione dell'acqua;
- ridurre al minimo il consumo di energia e l'approvvigionamento da fonti rinnovabili.

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.3: Principali tendenze digitali nel settore vitivinicolo

#### Sotto-lezione 2.3.1: *Internet of Things* (IoT) /Sensorizzazione

L'*Internet of Things* (IoT) definisce una rete di oggetti fisici (cose) dotati di sensori, software e altre tecnologie allo scopo di connettersi e scambiare dati con altri dispositivi e sistemi tramite Internet. Negli ultimi anni, l'IoT è diventata una delle tecnologie più importanti del 21<sup>st</sup> secolo. I dati raccolti nelle aziende agricole e aggregati in insiemi di dati più grandi (*big data*) possono essere ulteriormente considerati come aventi caratteristiche di bene pubblico. In particolare, la disponibilità di questi dati può consentire decisioni informate sulla produzione alimentare, sulla sicurezza alimentare globale, sull'ambiente, sulla salute pubblica e sulle politiche relative al cambiamento climatico.

A livello aziendale, il monitoraggio dello stato di salute delle colture richiede uno sforzo enorme. La produzione nei campi è difficilmente omogenea, soprattutto a causa della diversa qualità del suolo, della presenza di parassiti e funghi o di problemi di irrigazione, soprattutto quando si estendono su aree molto ampie. È quindi fondamentale essere in grado di identificare tempestivamente queste cause, per porre rimedio a tutte le situazioni che riducono la produttività.

Lo sviluppo di tecnologie basate su sensori offre la possibilità a molti dispositivi di coesistere e lavorare insieme scambiando informazioni (ad esempio, le condizioni del suolo e la disponibilità idrica per un uso efficiente dell'acqua e la gestione dell'irrigazione). Oggi, il concetto di **vigneto digitale** si riferisce a nuovi strumenti di misurazione basati sulla raccolta di una moltitudine di dati tramite sensori wireless (eventualmente combinati con immagini satellitari o di droni e alimentati dall'intelligenza artificiale). Per quanto riguarda i vigneti e le aziende vinicole, possono essere implementati direttamente nel terreno, incorporati nei fusti di vite o collocati tra le foglie, a seconda dei dati da misurare, per contribuire a migliorare la produttività, monitorare le condizioni di stress e prevedere il clima.

Le applicazioni IoT possono essere classificate in base alla loro posizione nella filiera di produzione:

#### a. **Vigneto**

Una delle ragioni principali per l'utilizzo di soluzioni tecnologiche nei vigneti è la riduzione dei rischi durante la vendemmia. La maggior parte dei sensori e delle immagini satellitari attualmente utilizzati nei vigneti si concentra sul controllo della qualità della vite e sugli aspetti ambientali: monitoraggio delle condizioni del suolo e la disponibilità idrica per un uso efficiente dell'acqua, la gestione dell'irrigazione e previsioni meteorologiche. Inoltre, consentono di monitorare parametri chiave come la temperatura dell'aria, la velocità del vento, l'umidità relativa, la bagnatura delle foglie, l'umidità del suolo e le precipitazioni. Esistono anche molte applicazioni grazie alla combinazione di tecnologie come i droni e le immagini a infrarossi e multispettrali per il controllo dei parassiti nel vigneto. Ad esempio, molte aziende vitivinicole combinano già i dati dei sensori (umidità, temperatura, contenuto idrico nel suolo e qualità della vite) e le immagini satellitari per monitorare in tempo reale i fattori ambientali chiave per la vendemmia. Un'altra applicazione dell'*Internet of Things* è quella di rendere il settore più sostenibile e rigenerativo, ottimizzando l'uso dell'acqua, eliminando i pesticidi e misurando la qualità del suolo.

## **b. Cantina e distribuzione**

L'obiettivo principale dell'utilizzo di sensori in cantina è quello di monitorare i parametri più importanti per un corretto processo di vinificazione e per garantire la qualità. I cambiamenti climatici favoriscono la variabilità inter- ed intra-stagionale. In questo scenario, a causa delle mutevoli condizioni meteorologiche, ogni anno il prodotto, pur essendo prodotto nello stesso modo, presenta alcune grandi differenze. L'adozione di tecnologie basate su sensori consente di monitorare il processo di vinificazione in tempo reale. È possibile apportare piccole modifiche per ottenere un prodotto il più possibile simile a quello desiderato.

Ciò che i viticoltori chiedono oggi sono sistemi online basati su sensori per effettuare la valutazione del processo di fermentazione senza bisogno di strutture di laboratorio. I sensori possono essere utilizzati nelle cantine per monitorare l'invecchiamento del vino, compresi i fattori chiave come temperatura, luce e umidità. La temperatura è particolarmente importante, poiché anche le minime fluttuazioni possono alterare l'ossidazione del vino e quindi incidere significativamente sulla qualità e longevità.

Nella fase di distribuzione, l'IoT offre notevoli vantaggi anche quando si tratta di migliorare la logistica per aumentare l'efficienza e ridurre i costi. Ne sono un esempio i sistemi di gestione dei trasporti per controllare e ottimizzare tutti i flussi logistici dell'azienda o le soluzioni di *computer vision* per controllare i flussi in entrata e i movimenti all'interno dello stabilimento dei trasportatori di materie prime e prodotti finiti.

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.3: Principali tendenze digitali nel settore vitivinicolo

#### Sotto-lezione 2.3.2: Intelligenza artificiale

L'Intelligenza Artificiale (IA) è una branca dell'informatica che si occupa dello sviluppo di dispositivi intelligenti in grado di svolgere compiti che di solito richiedono l'intelligenza umana. L'IA è una scienza interdisciplinare con un'ampia gamma di applicazioni che fanno uso di tecniche di *machine learning* e *deep learning*. Come il cervello umano, l'IA impara dall'esperienza utilizzando algoritmi e software avanzati per identificare modelli comuni o ripetuti o singole caratteristiche contenute in grandi quantità di dati. L'IA dipende fortemente dalla tecnologia dei sensori come informazioni utilizzate per identificare gli schemi e fare previsioni.

L'IA svolge un ruolo centrale nella trasformazione digitale della società ed è oggi una priorità. Si prevede che le sue applicazioni future comporteranno grandi cambiamenti, ma l'IA è già utilizzata per diversi compiti nei vigneti, nelle cantine e per la distribuzione.

#### a. Vigneto

Per quanto riguarda l'applicazione dell'IA nei vigneti, il software di IA fornisce preziose informazioni sugli aspetti quantitativi (ad esempio, dimensioni, resa) e su altre condizioni (ad esempio, stato fisiologico e nutrizionale) dei vigneti. L'intelligenza artificiale si integra con i dati ricevuti da sensori prossimali e immagini satellitari, consentendo ai viticoltori di migliorare molti aspetti della gestione dei vigneti. Ad esempio, la classificazione dei vigneti in base alla varietà di uva (distinguendo la varietà di uva osservando le caratteristiche della foglia, la dimensione, la forma e il colore dell'acino, il tipo di buccia, il sapore, ecc...); la gestione e l'ottimizzazione delle colture attraverso sensori e immagini che possono fornire informazioni di supporto ai coltivatori per prendere le decisioni più appropriate per controllare la resa e la fase di maturazione, stimando meglio il momento ottimale per la raccolta dell'uva e garantire la qualità.

Questa tecnologia, se opportunamente combinata con altre tecnologie come le Tecnologie basate su sensori, può portare molti vantaggi. Può raccogliere, interpretare e imparare dai dati raccolti, aiutando gli agricoltori a prendere decisioni e previsioni basate sui dati.

L'applicazione completa di monitoraggio e gestione delle colture per ottimizzare la produzione e il consumo di risorse per la viticoltura, utilizzando varie tecniche (computer vision, modelli predittivi) e dati provenienti da varie fonti per: controllo del ciclo di maturazione e pianificazione della vendemmia, controllo dei parassiti, adeguatezza degli interventi e minimizzazione del loro consumo (irrigazione, fertilizzazione) garantisce le seguenti funzionalità:

- Gestione delle colture: rilevamento delle colture per il monitoraggio con la visione artificiale (rilevamento di parassiti, carenze di nutrienti, maturazione dei frutti, ecc).
- Modelli predittivi: risultati in base alla cronologia delle azioni e al contesto precedente, previsione della data della raccolta, previsione della diffusione dei parassiti, ecc. per prendere decisioni sulla cura delle colture.
- Dashboard: interfaccia di controllo con grafici e avvisi, interattiva e completamente personalizzabile.
- Raccolta dati: basata su IoT (sistema di sensori nella coltura).

## **b. Cantina e distribuzione**

Nelle cantine, l'intelligenza artificiale raccoglie i dati ricevuti dai sensori e li utilizza per migliorare l'efficienza della catena di produzione. Il controllo in tempo reale delle scorte e delle condizioni delle botti consente di programmare la produzione in modo ottimale sulla base delle analisi effettuate. Questo può aiutare le cantine a massimizzare la loro produttività e può contribuire a una produzione più sostenibile.

Nell'ultima fase della filiera produttiva, i commercianti di vino utilizzano l'IA per raggiungere il cliente finale, cambiando il modo in cui i consumatori acquistano il vino, comprendendo le preferenze del prodotto e generando canali diretti disintermediati verso il cliente finale che, in ultima analisi, andranno a vantaggio della produttività.

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.3: Principali tendenze digitali nel settore vitivinicolo

#### Sotto-lezione 2.3.3: Robotica

Un robot è definito come una "*macchina controllata da un computer che viene utilizzata per eseguire lavori in modo automatico*". I robot possono assistere l'uomo e/o replicare le azioni umane. All'inizio erano abituati a svolgere compiti singoli e ripetuti, ma si sono evoluti per eseguire azioni più complicate che facilitano diversi tipi di lavoro. Tutti i robot hanno diversi livelli di autonomia, da quelli controllati dall'uomo che eseguono compiti di routine su cui l'uomo ha il pieno controllo, a quelli completamente autonomi che eseguono compiti senza alcuna influenza esterna.

Nell'industria vitivinicola, i robot high-tech dotati di intelligenza artificiale possono ridurre al minimo, ad esempio, l'impatto della siccità, delle alte temperature e dei cambiamenti nei programmi di vendemmia. Sono più precisi e veloci di qualsiasi viticoltore umano.

Quando si parla delle applicazioni e dei vantaggi della robotica nel settore vitivinicolo, è possibile sviluppare una serie di applicazioni in base alla posizione nella filiera produttiva:

#### **Vigneto**

I robot possono monitorare fattori quali la resa di uva, la crescita vegetativa e la composizione dell'uva nei vigneti. In questo modo è possibile creare una mappa di prescrizione che mostra la qualità del raccolto in specifiche zone omogenee e, quando si tratta di aumentare la resa, prevenire le malattie o controllare la crescita eccessiva, le viti possono essere potate e i prodotti fitosanitari possono essere applicati in modo efficiente grazie alla robotica. Per eseguire questi compiti, anche *in movimento*, è necessario calcolare un'immagine 3D della pianta o del filare, consentendo alle macchine di muoversi lungo le viti, potando e fertilizzando.

Così come l'impianto, il monitoraggio, la potatura e la concimazione delle viti possono essere automatizzati, anche il compito di raccogliere l'uva può essere svolto dalla robotica, scuotendo le viti e raccogliendo gli acini che cadono dalla vite.

#### **Cantina e distribuzione**

Nelle fasi finali della filiera vitivinicola, l'uso di robot è comune in molti magazzini e per alcuni centri logistici è necessario tracciare in modo efficiente le scorte all'interno di molti magazzini in diverse località, contribuendo ad aumentare la produttività della fase di distribuzione. Grazie all'immagazzinamento intelligente - che si riferisce all'automazione dei magazzini attraverso la robotica e l'IA, e agli smart shop - la fase finale del ciclo di vita del vino viene notevolmente migliorata. La distribuzione e la commercializzazione sono più efficienti grazie al risparmio di tempo e all'automazione del lavoro operativo che rende le attività autonome grazie all'integrazione con l'intelligenza artificiale, alla maggiore sicurezza delle attività, al controllo e all'ottimizzazione di tutti i flussi logistici dell'azienda, al miglioramento della capacità di controllo delle scorte, ecc.

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.3: Principali tendenze digitali nel settore vitivinicolo

#### Sotto-lezione 2.3.4: Immagini da satellite

Il monitoraggio satellitare delle colture è uno strumento che consente agli agricoltori di monitorare costantemente lo stato di salute dei propri campi grazie all'analisi multispettrale delle immagini satellitari ad alta risoluzione e di attivare tempestivamente qualsiasi allarme.

Le immagini scattate dai satelliti sono utilizzate per un'ampia gamma di scopi, come la cartografia, il geoposizionamento, l'impatto dei cambiamenti climatici, i rilievi geografici, ecc. Negli ultimi anni, l'uso di diverse immagini satellitari a beneficio del settore agricolo è diventato sempre più diffuso. Questo è stato particolarmente incentivato dall'inizio del progetto di osservazione della Terra Copernicus dell'Unione Europea, un progetto in cui sono stati lanciati nello spazio una serie di satelliti della missione Sentinel con il compito di generare una grande quantità di informazioni sulle condizioni di coltivazione e sulla salute delle piante, utilizzate per migliorare l'efficienza delle aziende agricole.

Questo è possibile perché i satelliti sono in grado di rilevare alcune lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico, come le bande del visibile e del vicino infrarosso, per individuare problemi non rilevabili a occhio nudo. In pratica, possono "catturare" la luce solare riflessa dalle piante e dal terreno per produrre una sorta di immagini di campo, fornendo informazioni su aspetti chiave come lo sviluppo vegetativo, il contenuto idrico e la temperatura del terreno. Le immagini ottenute da questi satelliti possono essere visualizzate con combinazioni di bande o indici di vegetazione. Il più diffuso è l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) che aiuta a identificare le piante fotosinteticamente attive e quindi sane. Questi indici possono fornire molte informazioni sullo stato delle colture, sulla loro maturazione e sul tipo di coltura in atto in ogni appezzamento di terreno.

Per i produttori, disporre di immagini accurate del campo che si rinnovano in un breve lasso di tempo rappresenta un vantaggio considerevole, in quanto consente di conoscere in tempo reale lo stato delle colture, le malattie, lo stress idrico o lo stadio di maturazione. Se combinate con l'IA e l'IoT, queste tecnologie possono creare modelli predittivi o sistemi di supporto alle decisioni (DSS), che gli agricoltori possono utilizzare per prevedere i raccolti annuali, anticipare gli eventi meteorologici estremi, individuare rapidamente e con precisione malattie o parassiti e imparare dal passato per prevedere o migliorare i raccolti.

## Modulo 2 - Vantaggi economici e aspetti ambientali della digitalizzazione agricola

### Lezione 2.3: Principali tendenze digitali nel settore vitivinicolo

#### Sotto-lezione 2.3.5: LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging)

Il LiDAR è una tecnologia di rilevamento non invasiva che può essere utilizzata per mappare la struttura, compresa l'altezza, la densità e altre caratteristiche della vegetazione. Questo lo rende lo strumento ideale per studiare le caratteristiche di una particolare area in dettaglio (ad esempio, terreno, vegetazione, ostacoli, pendenza, ecc.).

Il LiDAR è un sistema di telerilevamento "attivo", il che significa che il sistema stesso genera energia (fascio di luce) per misurare gli oggetti sul terreno. Il sistema emette luce sotto forma di un raggio laser che viaggia verso il suolo e si riflette su oggetti come edifici e rami di alberi. L'energia luminosa riflessa ritorna al sensore LiDAR dove viene registrata.

Questa tecnologia viene utilizzata principalmente nei veicoli autonomi, in quanto è in grado di mappare con precisione l'ambiente circostante il veicolo. Nel mondo della vite e del vino, questo strumento può essere utilizzato in diverse applicazioni:

- **Mappare il vigneto** in tre dimensioni, dalla topografia del terreno ai frutti di ogni vite. I "cloud-point 3D" registrati forniscono un modello 3D accurato di una rappresentazione del vigneto. La radiazione emessa dalla tecnologia si riflette sugli oggetti che incontra nel suo percorso, ritorna al sensore e crea la mappa 3D.
- **Valutazione della resa della vendemmia:** poiché il sensore si muove attraverso il vigneto, analizza le aree in cui c'è più frutta e identifica la possibile alta o bassa produttività in modo da calibrare altri strumenti, come i fertilizzanti, per controllare o stimolare la crescita. In questo modo i fertilizzanti e l'acqua vengono utilizzati in modo più efficiente.
- **Trattamenti sito-specifica:** per mappare accuratamente le aree con la minore o maggiore densità di foglie e di frutti. Queste informazioni possono essere ulteriormente utilizzate per migliorare la precisione nell'uso dei pesticidi e ridurre l'inquinamento e i costi per i produttori.
- **Riduzione degli incidenti nel vigneto:** disponendo di una mappa 3D dettagliata del terreno, è possibile migliorare la sicurezza dei trattori e dei veicoli autonomi, poiché il terreno è perfettamente mappato con pendenze, buche e altri tipi di pericoli.

In futuro, si prevede che la principale frontiera di questa tecnologia sarà rappresentata dai trattori e dai veicoli autonomi nei vigneti, poiché diventerà più accessibile in termini di costi e adattabilità (droni e trattori). Con il continuo sviluppo dei veicoli autonomi, la domanda di strumenti LiDAR aumenterà, con conseguente aumento dell'offerta e prezzi più competitivi.

## Modulo 3 -Digitalizzazione in agricoltura

### Lezione 1: Introduzione

La digitalizzazione è la trasformazione tecnologica che caratterizza questa epoca e, come in altri settori, avrà un impatto importante sull'agricoltura. Per digitalizzazione si intende l'adozione di tecnologie dell'informazione e della comunicazione, tra cui Internet, tecnologie mobili e dispositivi, nonché l'analisi dei dati, per migliorare la generazione, la raccolta, lo scambio, l'aggregazione, la combinazione, l'analisi, l'accesso, la tracciabilità e la presentazione di contenuti digitali, anche per lo sviluppo di servizi e applicazioni.

Questo processo ha il potenziale di portare un cambiamento significativo nel funzionamento dell'agricoltura, al di là di strumenti, tecnologie o pratiche discrete, e di offrire un percorso per l'innovazione e nuovi modi di organizzare la produzione e le catene di approvvigionamento. In particolare, il settore agricolo sta assistendo a una serie di tendenze trasformative dovute alla digitalizzazione, come una maggiore attenzione all'agricoltura di precisione e all'uso dei big data per favorire la produzione e l'efficienza aziendale.



6. Figura Digitalizzazione in agricoltura

Gli attori pubblici e privati delle filiere produttive agroalimentari e del più ampio sistema di innovazione agricola (AIS) potrebbero beneficiare della trasformazione digitale dell'agricoltura in diversi modi. Per gli agricoltori, le tecnologie digitali e gli approfondimenti generati dai dati agricoli potrebbero supportare un migliore processo decisionale nelle aziende, contribuendo a stimolare l'innovazione e a migliorare la produttività, la sostenibilità e la resilienza dell'agricoltura.

Le tecnologie digitali potrebbero anche offrire opportunità per nuove fonti di efficienza e creazione di valore a monte e a valle delle aziende agricole, sostenendo la ricerca e l'innovazione, la creazione di nuovi servizi per il settore, una migliore tracciabilità e transazioni più efficienti nelle catene del valore. Inoltre, i responsabili politici potrebbero utilizzare le tecnologie digitali per migliorare le modalità di progettazione, implementazione e monitoraggio delle politiche, e progettare nuove e migliori politiche per il settore agricolo. Infatti, anche se non tutta l'innovazione agricola è legata alle tecnologie digitali, queste ultime possono supportare la maggior parte degli altri tipi di innovazione.

È importante valutare il maggior numero possibile di dati per avere un quadro più preciso delle reali condizioni della vegetazione.

La sovrapposizione (*Figura 7*) è un'operazione GIS che sovrappone più set di dati (che rappresentano temi diversi) allo scopo di identificare le relazioni tra di essi. Una sovrapposizione crea una mappa composita combinando la geometria e gli attributi dei set di dati in ingresso.

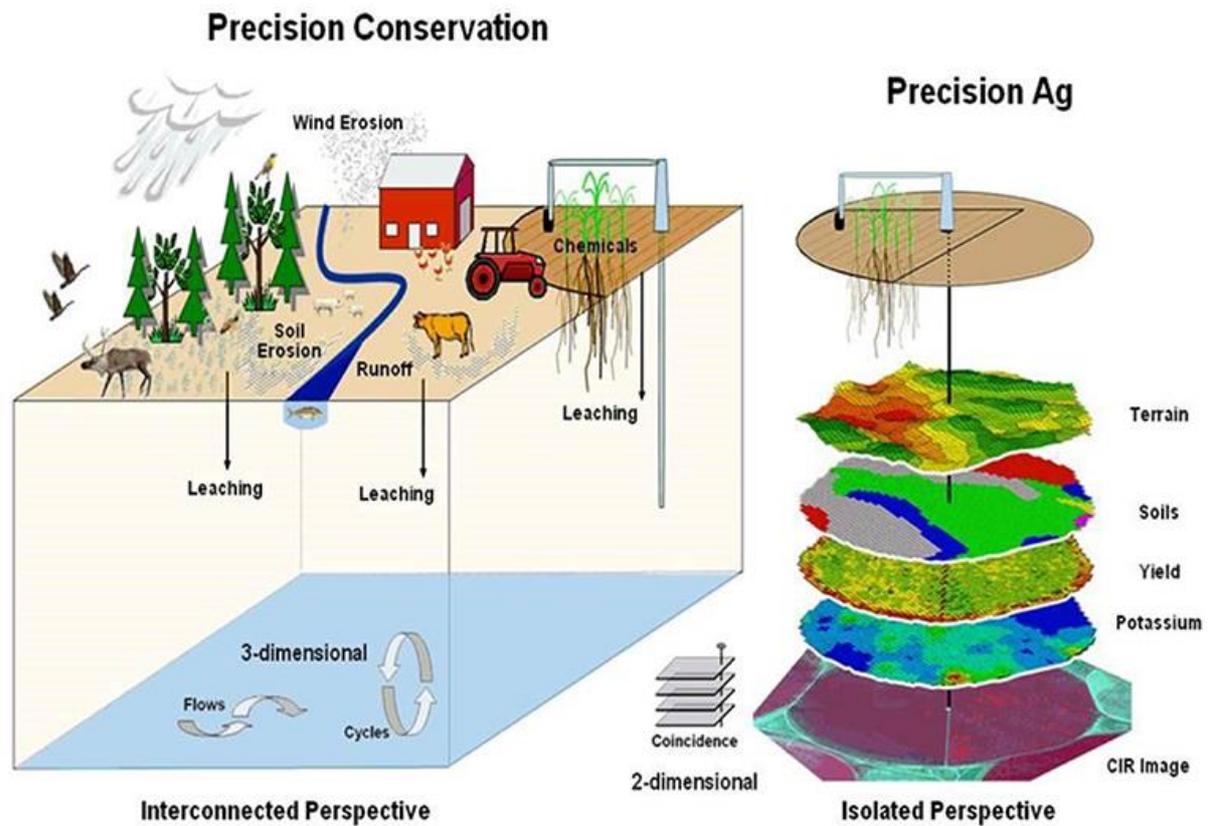


Figura 7. L'approccio sito-specifico può essere esteso a un approccio su scala tridimensionale che valuta gli afflussi e i deflussi dai campi alla scala di bacino e regionale.

Il prossimo video mostra come funziona la digitalizzazione e la sovrapposizione di mappe e informazioni di valutazione nella pratica agricola.

<https://www.youtube.com/watch?v=s7QDPwHiFAU>

*Come i droni stanno aumentando l'intelligenza in agricoltura?*

Il video qui sotto mostra perché i droni sono utili nell'agricoltura moderna e come i droni forniscono dati per il processo decisionale.

[https://www.youtube.com/watch?v=wagjFXb\\_uz4](https://www.youtube.com/watch?v=wagjFXb_uz4)

## Lezione 2: Misure UAV

Il telerilevamento è definito, per i nostri scopi, come la misurazione delle proprietà di oggetti sulla superficie terrestre utilizzando dati acquisiti da aerei e satelliti. Si tratta quindi di un tentativo di misurare qualcosa a distanza, piuttosto che a terra. Poiché non siamo in contatto diretto con l'oggetto di interesse, dobbiamo affidarci a segnali propagati di qualche tipo, ad esempio ottici, acustici o a microonde.

I sensori e le piattaforme dei veicoli aerei senza pilota (UAV) sono oggi utilizzati in quasi tutte le applicazioni (ad esempio, agricoltura, silvicoltura, miniere, ecc.) che necessitano di informazioni osservate dall'alto. Sebbene siano destinati a essere uno strumento generale di telerilevamento (RS), i relativi metodi di elaborazione e analisi dei dati RS sono ancora in gran parte adattati alle applicazioni. I principali vantaggi dei dati UAV sono l'alta risoluzione spaziale e la flessibilità nell'acquisizione e nell'integrazione dei sensori, ma in generale manca un'analisi sistematica su come queste caratteristiche alterino le soluzioni per i tipici compiti di RS come la classificazione della copertura del suolo, il rilevamento dei cambiamenti e la mappatura tematica.

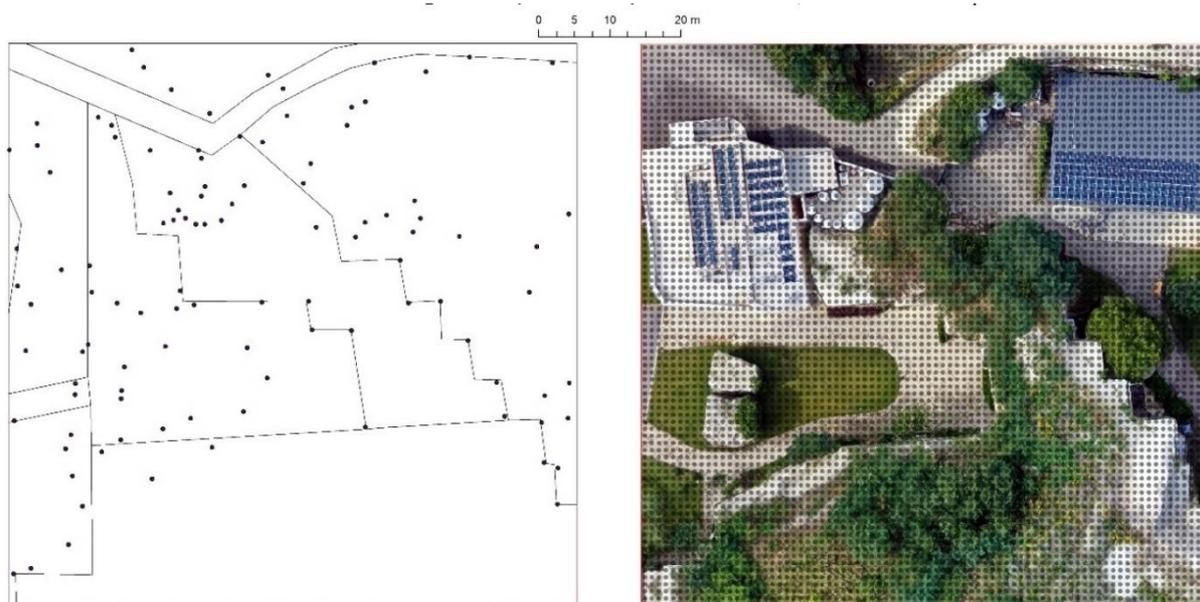
Con l'aiuto della fotogrammetria aerea, la tecnologia UAV è in grado di misurare milioni di punti dell'intera area, in modo che non ci siano parti o aree mancanti su cui si debba tornare.



*Figura 8. I veicoli aerei senza pilota (UAV) sono regolarmente utilizzati in agricoltura per le indagini sul campo.*

Le immagini digitali aeree dei vigneti hanno il potenziale per fornire informazioni preziose ai viticoltori e ai gestori dei vigneti. Per le diverse misure si possono utilizzare telecamere diverse, ad esempio telecamere ad alta risoluzione e/o telecamere multispettrali.

Tradizionalmente, i punti vengono misurati con strumenti di misurazione geodetici, si fa un disegno di massima e si tracciano i punti di altezza, con lo svantaggio che vengono registrati solo pochi punti, la misurazione di ogni punto richiede molto tempo e quindi i costi sono elevati. Con l'aiuto della fotogrammetria aerea, la tecnologia dei droni è in grado di misurare milioni di punti di altezza dell'intera area in una brevissima frazione di tempo (*Figura 9*), quindi non c'è una parte o un'area mancante su cui si debba tornare. Durante la misurazione, oltre alla nuvola di punti 3D, viene scattata anche un'ortofoto, che aiuta il processo di pianificazione e visualizzazione. Sulla base della topografia e del modello altimetrico, è possibile pianificare l'ubicazione di opere di terra e strutture, la loro integrazione nel paesaggio o la pianificazione di piantagioni.



*Figura 9. Figura Rilievo con metodo tradizionale e UAV*

*Come si può usare un drone per la mappatura?*

Questo video mostra come la mappatura con droni abbia cambiato il settore del rilievo. Alla fine del video, non solo conoscerete i vantaggi dell'uso dei droni per pianificare ed eseguire una missione di mappatura, ma avrete anche una comprensione di base di concetti quali la mappatura con droni, la fotogrammetria e la modellazione 3D.

<https://www.youtube.com/watch?v=rLOM82se6W8>

### Lezione 3: Modelli digitali

La mappatura digitale viene eseguita tipicamente attraverso un computer. Sebbene le interfacce grafiche utente (GUI) siano disponibili da tempo, è bene sottolineare che l'interpretazione delle immagini richiede una visualizzazione grafica e che maggiori sono le dimensioni e il numero di visualizzazioni pertinenti, più facile diventa potenzialmente l'interpretazione. È inoltre essenziale che tutto il lavoro venga svolto all'interno di un sistema informativo geografico (GIS) per garantire che le immagini di input e i set di dati interpretati mantengano lo stesso sistema di coordinate geografiche. Ciò consente l'esportazione dei dati in altri prodotti geografici e facilita la produzione di mappe e analisi quantitative accurate. Gli interpreti devono avere familiarità con il funzionamento e l'uso di un GIS, e la familiarità con i principi del telerilevamento è utile. I testi introduttivi che descrivono i GIS, il telerilevamento e l'elaborazione delle immagini includono Lillesand et al. (2008).

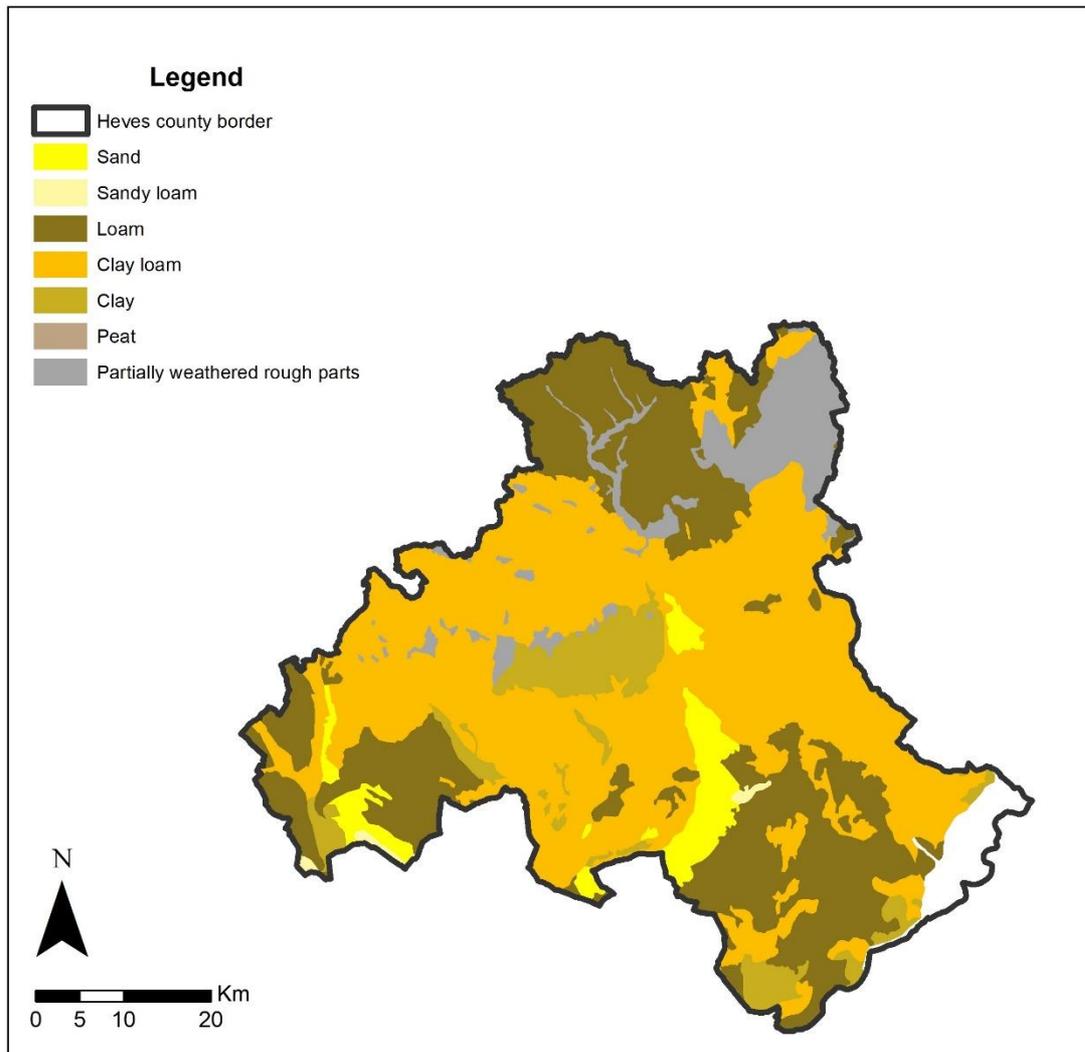
Come descritto nella Lezione 1 Introduzione, è importante sovrapporre le mappe e valutare tutti i componenti e gli aspetti cruciali del campo. Pertanto, di seguito viene fornita una breve introduzione di alcune possibili mappe che un agricoltore di precisione può prendere in considerazione.

In primo luogo, il concetto di mappa tematica: Una carta tematica mostra la distribuzione spaziale di caratteristiche identificabili della superficie terrestre; fornisce una descrizione informativa di una determinata area, piuttosto che una descrizione di dati. La classificazione delle immagini è il processo utilizzato per produrre mappe tematiche a partire dalle immagini. I temi possono spaziare, ad esempio, da categorie come suolo, vegetazione e acque superficiali in una descrizione generale di un'area rurale, a diversi tipi di suolo, vegetazione e profondità o chiarezza dell'acqua per una descrizione più dettagliata. Nella costruzione di una mappa tematica da immagini telerilevate è implicito che le categorie selezionate per la mappa siano distinguibili nei dati dell'immagine.

Ad esempio, la *Figura 10* è una mappa tematica che mostra la tipologia fisica dei suoli della contea di Heves, in Ungheria.

I terreni non sono stati creati tutti allo stesso modo. Spesso si pensa alla variabilità del suolo su larga scala, tra regioni o contee, ma le proprietà del suolo possono differire anche all'interno di un campo. Il prossimo video fornisce informazioni sulla mappatura digitale del suolo.

<https://www.youtube.com/watch?v=nvgFiYEU25Q>



*Figura 10. Tipologia fisica dei suoli nella contea di Heves, Ungheria*

Il terreno è una componente importante dell'agricoltura. Pertanto, informazioni precise sul terreno hanno un impatto significativo sui miglioramenti. I prodotti geospaziali del terreno forniscono informazioni utili. Il modello digitale di elevazione (DEM) è un importante prodotto geospaziale.

I modelli digitali del terreno (DTM), come quello riportato nella *Figura 11*, sono un modello topografico della Terra nuda che può essere manipolato da programmi informatici.

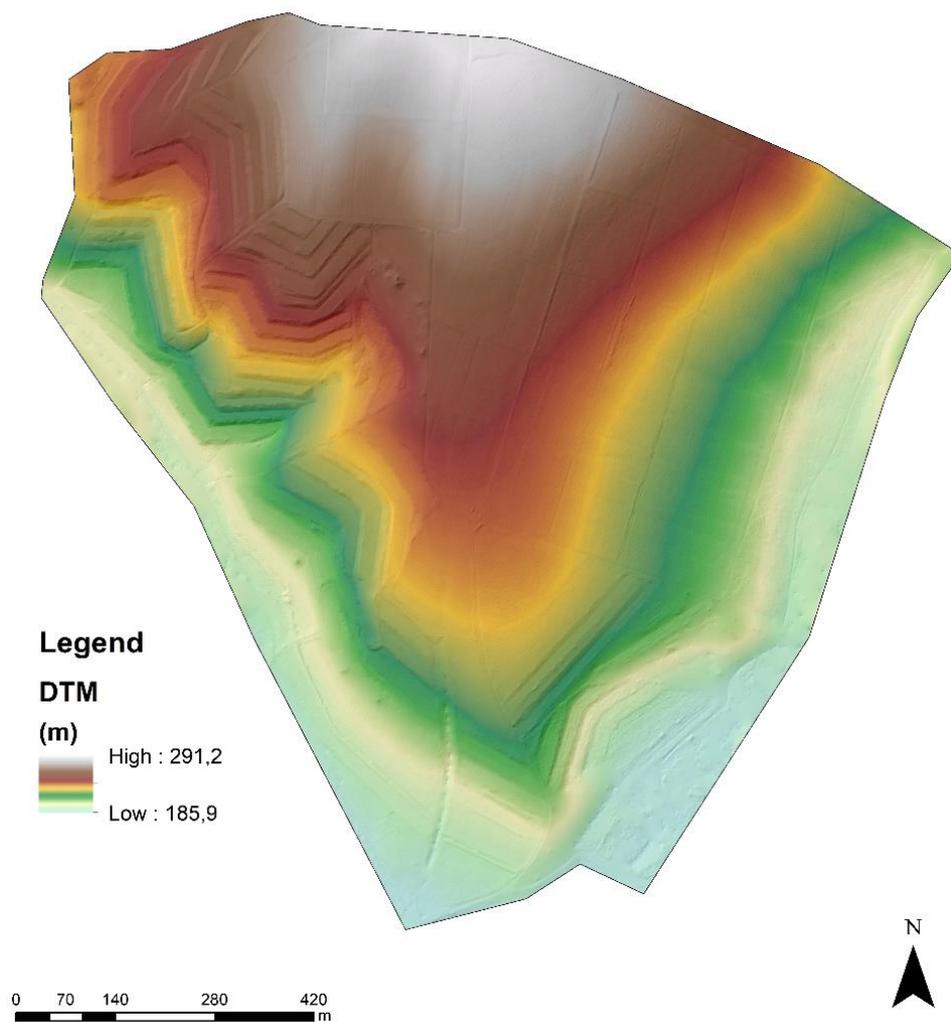


Figura 11. Mappa DTM dell'area del vigneto Sik-hegy

**Link al portale GIS:** <https://gis.uni-eszterhazy.hu/grapeProdigi/>

I file di dati contengono i dati altimetrici del terreno in un formato digitale che si riferisce a una griglia rettangolare. Vegetazione, edifici e altri elementi culturali vengono rimossi digitalmente, lasciando solo il terreno sottostante.

Il video che segue fornisce una breve introduzione al modello digitale di elevazione (DEM): <https://www.youtube.com/watch?v=fvzNkdmoy48>

Il video seguente mostra la differenza tra Modello digitale di elevazione (DEM), Modello digitale del terreno (DTM) e Modello digitale di superficie (DSM). <https://www.youtube.com/watch?v=llu9j-q9Tvs>

Le curve di livello sono linee che collegano posizioni di uguale valore in un set di dati raster che rappresenta fenomeni continui come l'altitudine, la temperatura, le precipitazioni, l'inquinamento o la pressione atmosferica. Le linee collegano celle di valore costante nell'input. La *Figura 12* presenta una mappa delle curve di livello. Le mappe topografiche utilizzano le curve di livello. Molti conoscono le mappe topografiche, comunemente chiamate carte

topografiche, fornite da diverse agenzie nazionali di rilevamento geologico. Questi diagrammi tracciano linee attraverso punti di altitudine costante: quanto più vicine sono le linee sulla mappa, tanto più ripida è la forma del terreno.

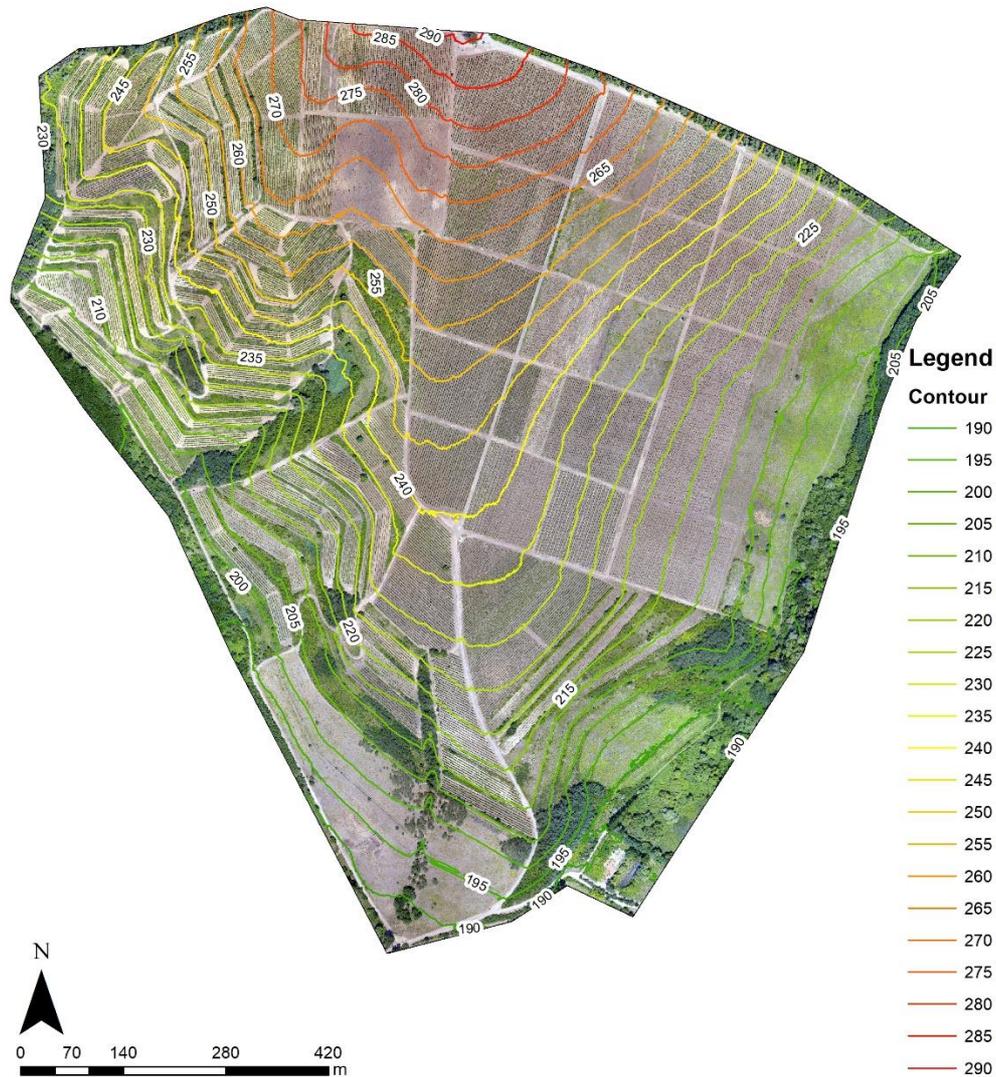


Figura 12. Mappa delle curve altimetriche dell'area del vigneto Sik-hegy

Link al portale GIS: <https://gis.uni-eszterhazy.hu/grapeProdigi/>

La carta delle pendenze (Figura 13) è una carta topografica che mostra le variazioni di quota a un livello molto dettagliato. Architetti, paesaggisti e pianificatori del controllo delle acque utilizzano una mappa delle pendenze per valutare un particolare sito. Per generare una di queste mappe sono necessari dati dettagliati.

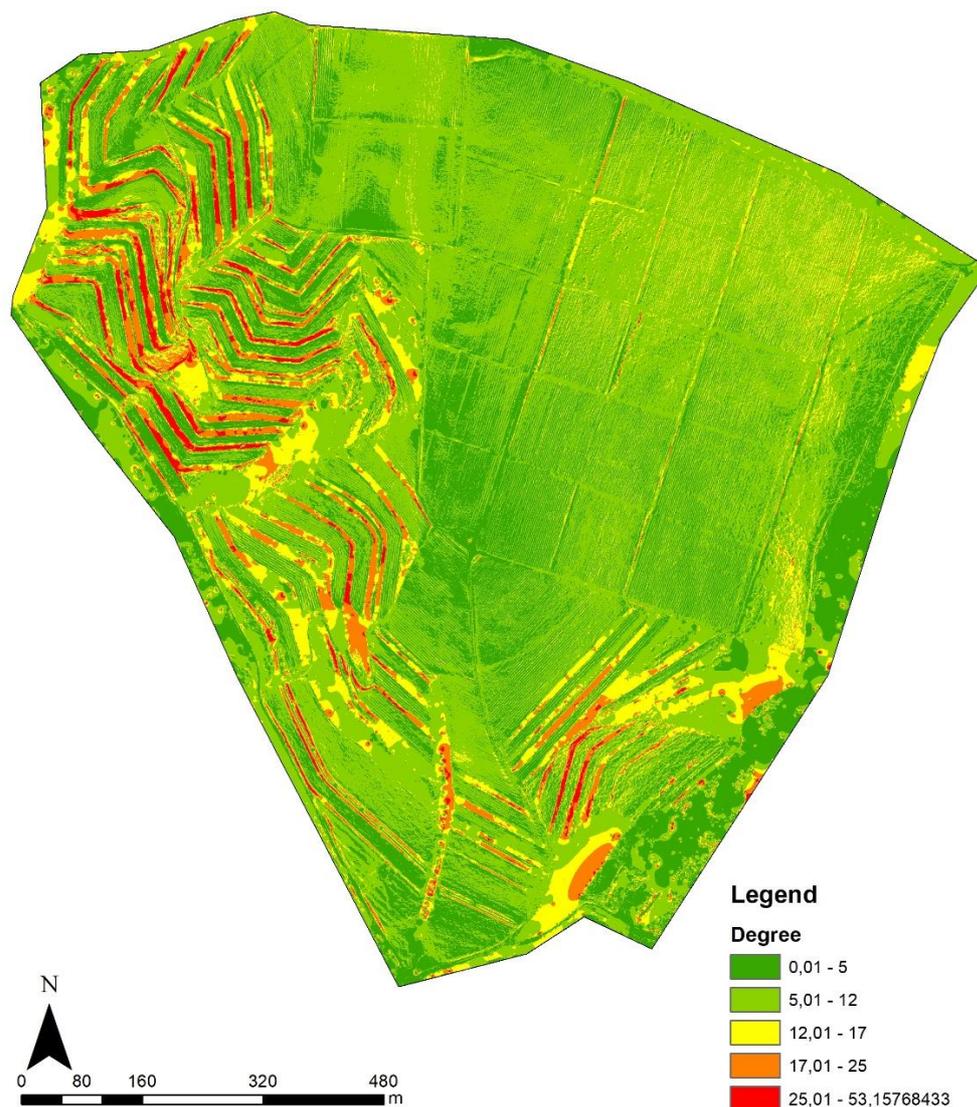


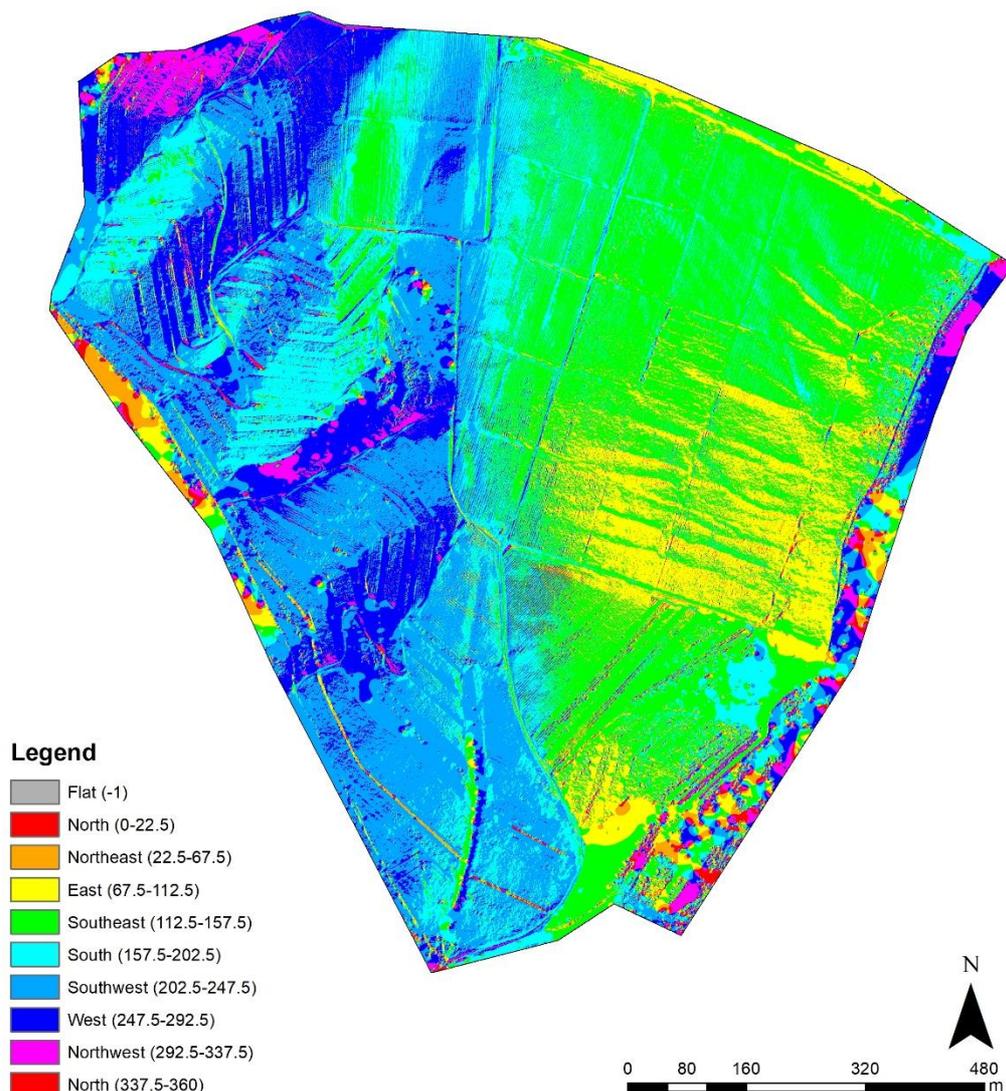
Figura 13. Mappa della pendenza dell'area del vigneto Sík-hegy

**Link di collegamento al portale di formazione** <https://grapeprodigi-bakosmrtn.b4a.run/>

Quando il terreno è piatto, non c'è pendenza. Quindi, questo significa anche che non c'è aspetto. Ma in montagna ci sono pendenze in tutte le direzioni. Ci sono pendii rivolti a nord, a ovest, a sud e a est. La direzione della bussola verso cui è rivolto il pendio è l'aspetto (*Figura 14*) e ci sono alcune applicazioni uniche nel mondo reale dell'aspetto:

- Gli agricoltori seminano le colture in base alla quantità di radiazione solare in entrata e ai dati sull'aspetto.
- Gli ecologi studiano il microclima per la biodiversità.
- Anche i progettisti di attività ricreative studiano la direzione dei pendii per prevenire le valanghe.

Il concetto di mappa di aspetto è semplice da comprendere. I valori di aspetto indicano le direzioni dei pendii fisici. Possiamo classificare le direzioni di aspetto in base all'angolo di pendenza con una direzione descrittiva. Un raster d'aspetto fornirà una rappresentazione tipicamente in diverse classi di direzione dei pendii.



14. Figura Mappa dell'area dei vigneti di Sík-hegy

**Link di collegamento al portale di formazione** <https://grapeprodigi-bakosmrtn.b4a.run/>

Se non c'è pendenza, il valore della cella sarà -1. Queste sono le celle grigie nella mappa dell'aspetto sopra riportata. Se esiste una pendenza, l'aspetto viene misurato in senso orario partendo da 0° a nord. Il valore ritorna a 360° in direzione nord.

Ecco come lo strumento Aspect classifica una mappa degli aspetti:

- Piatto (-1)
- Nord (da 0° a 22,5°)
- Nord-est (da 22,5° a 67,5°)
- Est (da 67,5° a 112,5°)
- Sud-est (da 112,5° a 157,5°)
- Sud (da 157,5° a 202,5°)
- Sud-ovest (da 202,5° a 247,5°)
- Ovest (da 247,5° a 292,5°)
- Nord-ovest (da 292,5° a 337,5°)
- Nord (da 337,5° a 360°)

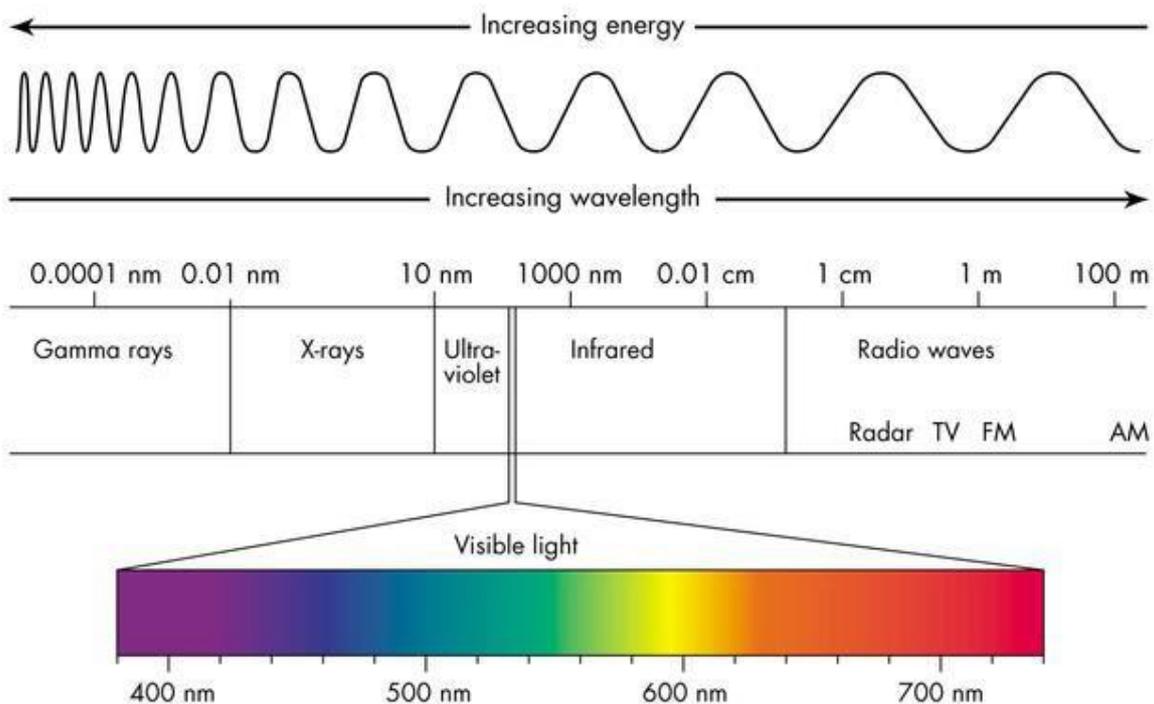
## Lezione 4: Mappatura multispettrale e indici di vegetazione

*Che cos'è l'imaging multispettrale?*

Il prossimo video mostra come funziona l'imaging multispettrale e quali applicazioni di visione possono trarre vantaggio da questa tecnologia. Le telecamere multispettrali possono essere utilizzate per diverse applicazioni. Sebbene siano tradizionalmente utilizzate soprattutto nei laboratori, oggi vengono impiegate anche nei droni, ad esempio per controllare la salute delle piante sul campo.

<https://www.youtube.com/watch?v=b0webdvlySo>

Spettro elettromagnetico (*Figura 15*): Solo una piccola parte dello spettro elettromagnetico (luce visibile) può essere percepita dall'uomo, ma i sensori satellitari possono utilizzare altri tipi di luce, come la luce infrarossa, la luce ultravioletta e persino le microonde. Quando si realizzano immagini satellitari, a questi tipi di luce invisibili viene assegnato un colore visibile. La maggior parte dei sensori attivi opera nella porzione dello spettro elettromagnetico a microonde, che li rende in grado di penetrare l'atmosfera nella maggior parte delle condizioni.



*Figura 15. Lo spettro elettromagnetico*

Per l'occhio umano, una pianta è verde perché il pigmento clorofilliano in essa contenuto riflette le onde verdi e assorbe le onde rosse. Le strutture cellulari delle piante riflettono le onde del vicino infrarosso (NIR). Quindi, quando avviene la fotosintesi, la pianta si sviluppa e cresce e contiene più strutture cellulari. Ciò significa che una pianta sana, con molta clorofilla e strutture cellulari, assorbe attivamente la luce rossa e riflette le onde NIR. Una pianta non sana farà l'esatto contrario. Questa relazione tra radiazione luminosa e clorofilla è il modo in cui

possiamo usare l'NDVI per distinguere una pianta sana da una malata. Le piante sane assorbono attivamente la luce rossa e riflettono la luce del vicino infrarosso. I sensori satellitari nello spazio misurano le lunghezze d'onda della luce assorbita e riflessa dalle piante verdi. Sono un'ottima fonte di dati sulla firma spettrale per l'analisi NDVI. L'indice NDVI rileva e quantifica la presenza di vegetazione verde viva utilizzando la luce riflessa nelle bande del visibile e del vicino infrarosso.

Un'immagine di un blocco di vigneto è composta da pixel corrispondenti alle viti stesse e allo spazio tra i filari (interfila). A seconda dell'esatta composizione dell'immagine, altri pixel possono comprendere elementi aggiuntivi come annessi, strade e sentieri e alberi.

La Figura 16 è un'immagine NDVI di un blocco di vigneto calcolata pixel per pixel utilizzando le bande del vicino infrarosso e del rosso di un'immagine multispettrale. In questa scala di colori, i pixel verdi rappresentano i pixel con il valore NDVI più alto, mentre i pixel rossi rappresentano i pixel con i valori NDVI più bassi. I pixel verdi in questa immagine includono quelli corrispondenti alle viti e ad altra vegetazione sana.

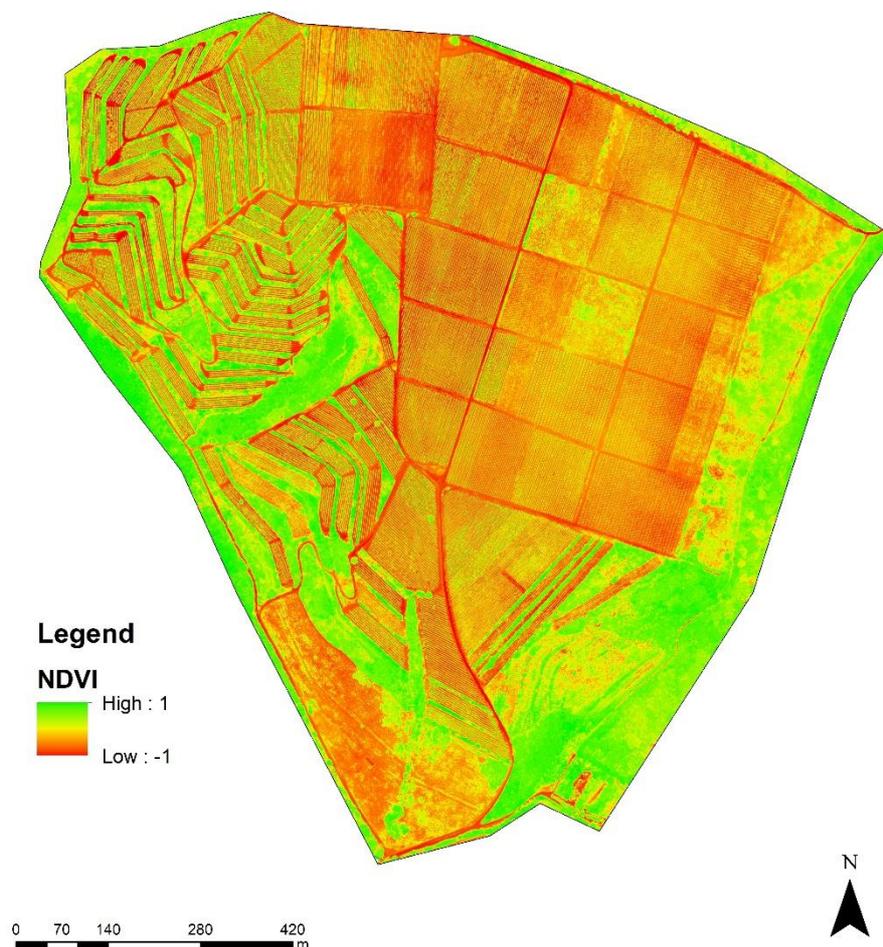


Figura 16. Immagine NDVI colorata calcolata dall'immagine multispettrale. I pixel verdi rappresentano i valori NDVI più alti e quelli rossi i valori NDVI più bassi. Si noti che i pixel verdi corrispondono a superfici vegetative vigorose come viti e alberi.

**Link di collegamento al portale di formazione <https://grapeprodigi-bakosmrtn.b4a.run/>**

L'indice NDVI rileva e quantifica la presenza di vegetazione verde viva utilizzando la luce riflessa nelle bande del visibile e del vicino infrarosso. In parole povere, l'NDVI è un indicatore del grado di verde della vegetazione - la densità e la salute - di ciascun pixel di un'immagine satellitare o aerea.

## Modulo 4 - Monitoraggio climatico e computer vision in agricoltura

### Lezione 1: Sensori sul campo

L'applicazione di sensori in campo permette di monitorare variabili di interesse in agricoltura come la temperatura, l'umidità, le precipitazioni, la bagnatura delle foglie e altre, con misure fornite costantemente nel tempo.

Attraverso sensori localizzati l'agricoltore può percepire in ogni momento lo stato del vigneto/frutteto e rilevare le condizioni critiche per lo sviluppo di patologie o altri problemi. Si possono così pianificare attività tempestive e mirate, in base alle reali esigenze della coltivazione.



*Figura 17. Stazione meteorologica con più sensori sul campo*

Diversi sensori possono essere assemblati in una stazione meteorologica e posizionati in uno o più punti del campo. Tutti i sensori sono alimentati da un pannello solare e devono essere sviluppati per resistere alle intemperie e ai trattamenti chimici.

I dati raccolti dai sensori possono essere trasmessi via Internet o via radio e possono essere visualizzati dagli utenti su un portale Web. L'elaborazione automatica dei dati viene eseguita da algoritmi che forniscono notifiche di supporto alle decisioni, come ad esempio avvisi in caso di rischio di infezione o di raggiungimento di soglie critiche.

### **SENSORE DI PIOGGIA:**

Il pluviometro elettronico misura la quantità di pioggia (mm/giorno, o pioggia persistente accumulata) e l'intensità della pioggia (mm/h) con un sensore inclinabile che ha una risoluzione tipica di 0,2 mm.

Il design aerodinamico del cono è stato concepito per garantire una maggiore precisione anche in condizioni di forte vento, consentendo al vento di circolare intorno al cono, diminuendo la turbolenza e l'attrito all'apertura del pluviometro, che potrebbe deviare parte della pioggia in ingresso.



*Figura 18. Misuratore di pioggia*

### **ANEMOMETRO:**

L'anemometro misura la direzione del vento, la velocità istantanea del vento (km/h o m/s) e può anche fornire la velocità media o la velocità di raffica nell'ora.

Il modello bidimensionale abituale è dotato di tre tazze poste attorno a un asse verticale rotante: la rotazione è proporzionale alla velocità del vento; la velocità media è calcolata dal numero di rotazioni in ogni periodo di tempo.

La banderuola segue la direzione del vento ed è dotata di una punta in ottone per una precisione ottimizzata.

Conoscere la velocità del vento è fondamentale per programmare l'irrorazione delle colture, per garantire una copertura uniforme e per ridurre al minimo la deriva. Il vento entra anche nel calcolo empirico dell'evapotraspirazione dell'acqua.



*Figura 19. Anemometro*

### **SENSORE DI TEMPERATURA, UMIDITÀ E PRESSIONE DELL'ARIA**

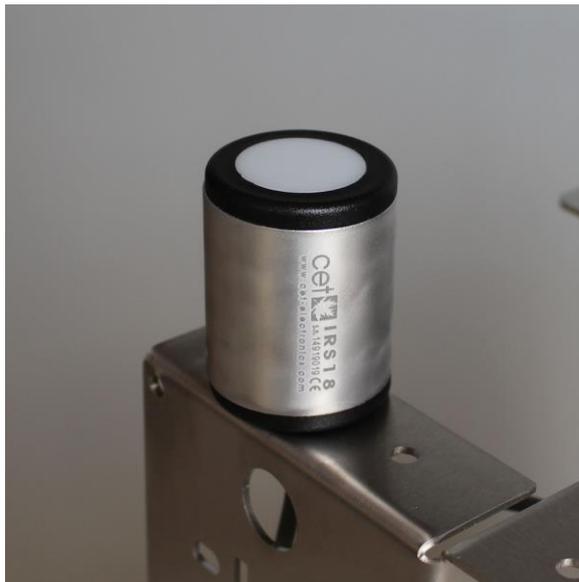
Le sonde digitali per la misura della temperatura dell'aria, dell'umidità e della pressione atmosferica sono adatte a molte applicazioni. Nelle stazioni meteorologiche la sonda è solitamente incorporata in una protezione solare fissata sotto il pluviometro (schermo), per evitare perturbazioni nelle misurazioni da parte della radiazione solare diretta e infrarossa emessa dal suolo. Viene utilizzata nel calcolo empirico dell'evapotraspirazione.



*Figura 20. Temperatura, umidità e pressione dell'aria*

## **RADIAZIONE SOLARE:**

Un sensore per la radiazione solare di solito misura l'energia della radiazione incidente per unità di superficie ( $W/m^2$ ) in determinate bande di spettro. Deve avere un'elevata sensibilità e una risposta rapida, essendo sensibile almeno allo spettro visibile e al vicino infrarosso, coprendo la regione di interesse per la fotosintesi. Il sensore può essere utilizzato per stimare l'attività fotosintetica, oppure può essere collegato a un sistema di automazione per l'illuminazione artificiale, se la coltivazione lo richiede (ad esempio, le serre). Anche questa sonda viene utilizzata per il calcolo empirico dell'evapotraspirazione.



*Figura 21. Radiazione solare*

## **TEMPERATURA E UMIDITÀ DELL'ARIA ALL'INTERNO DELLA CHIOMA**

La sonda per la temperatura dell'aria e l'umidità relativa per monitorare il microclima all'interno della chioma è un sensore aggiuntivo che può essere legato in una posizione centrale della chioma, e di solito non è completamente schermato. La meccanica deve essere resistente all'esposizione all'irrorazione di pesticidi. Il microclima interno alla chioma è molto più rappresentativo delle condizioni della pianta, rispetto al microclima esterno: la sua misurazione consente una maggiore precisione nel monitoraggio delle condizioni di sviluppo delle infezioni.



*Figura 22. Sensore di temperatura e umidità dell'aria all'interno della chioma*

## **BAGNATURA FOGLIARE E GOCCIOLAMENTO DELL'ACQUA**

Il sensore capacitivo è in grado di misurare il grado di bagnatura presente sulla foglia in termini di percentuale di superficie coperta da un sottile strato d'acqua. Una nuova versione brevettata di questo sensore consente anche di misurare la temperatura della foglia e il gocciolamento della rugiada. La bagnatura fogliare è un fattore critico per lo sviluppo di infezioni fungine ed è estremamente importante monitorarne la durata. La rugiada consiste nella caduta di acqua da una foglia all'altra, anche in assenza di pioggia, che può essere responsabile della trasmissione delle infezioni, favorendo una possibile esplosione epidemica.

Il sensore può essere fornito insieme alla stazione meteorologica per misurare la bagnatura esterna della chioma; tuttavia, si raccomanda l'uso di un sensore aggiuntivo all'interno della chioma, per misurare il microclima specifico. Il sensore deve essere resistente alle irrorazioni di pesticidi.



*Figura 23. Sensore di bagnatura delle foglie e di gocciolamento dell'acqua*

## **UMIDITÀ DEL SUOLO**

Un sensore di umidità volumetrico affidabile misura la % di acqua nell'unità di volume del suolo, deve funzionare ad alta frequenza ed essere adatto a tutti i tipi di terreni e substrati di coltivazione. Questo tipo di sensori misura le caratteristiche dielettriche del mezzo in cui sono inseriti gli elettrodi inossidabili, per ottenere l'umidità e la conducibilità del materiale. Alcuni particolari sistemi di misura "FFVA" - Fixed Frequency Vector Analysis (Analisi Vettoriale a Frequenza Fissa), si basano su un generatore ad alta frequenza e su un algoritmo di calcolo basato su una rete neurale, che consente di ottenere un'elevata precisione su ogni substrato. A

differenza dei comuni sensori resistivi o a bassa frequenza, questo tipo di sensori fornisce una misurazione dell'umidità che non è influenzata dalla salinità del terreno.

Il sensore può essere collegato a una stazione meteorologica completa o a microstazioni secondarie per misurare più punti del campo. Il sensore deve essere completamente interrato nel terreno alla profondità di interesse ed è necessario inserire interamente le punte nel terreno senza produrre spazi d'aria. Un tubo di prolunga che sporge dal terreno è collegato al sensore per proteggere il filo di collegamento da eventuali danni meccanici.

Il sensore serve a monitorare il contenuto idrico nel terreno e può essere collegato a un sistema di automazione che controlla l'impianto di irrigazione. L'installazione di più sensori a diverse profondità può essere molto utile. Il sensore può anche misurare la temperatura del suolo e la conducibilità dell'acqua, che è correlata ai componenti salini forniti ad esempio con i fertilizzanti.

## Lezione 2: Visione artificiale applicata alla canopy vegetale



*Figura 24. Visione artificiale applicata alla chioma*

WCAM2 è un innovativo dispositivo di visione stereoscopica per il monitoraggio dello sviluppo vegetativo delle colture attraverso una ricostruzione tridimensionale, che consente misure specifiche e innovative sul fogliame.

Questa telecamera viene installata in modo permanente davanti alla coltura, acquisendo quotidianamente immagini di piante campione in campo. L'hardware è specificamente progettato per l'uso all'aperto, per resistere alle condizioni atmosferiche avverse e all'esposizione ai prodotti fitosanitari: un meccanismo brevettato di protezione automatica delle lenti garantisce sempre l'acquisizione di immagini "pulite" e di alta qualità, nonostante l'ambiente sporco.

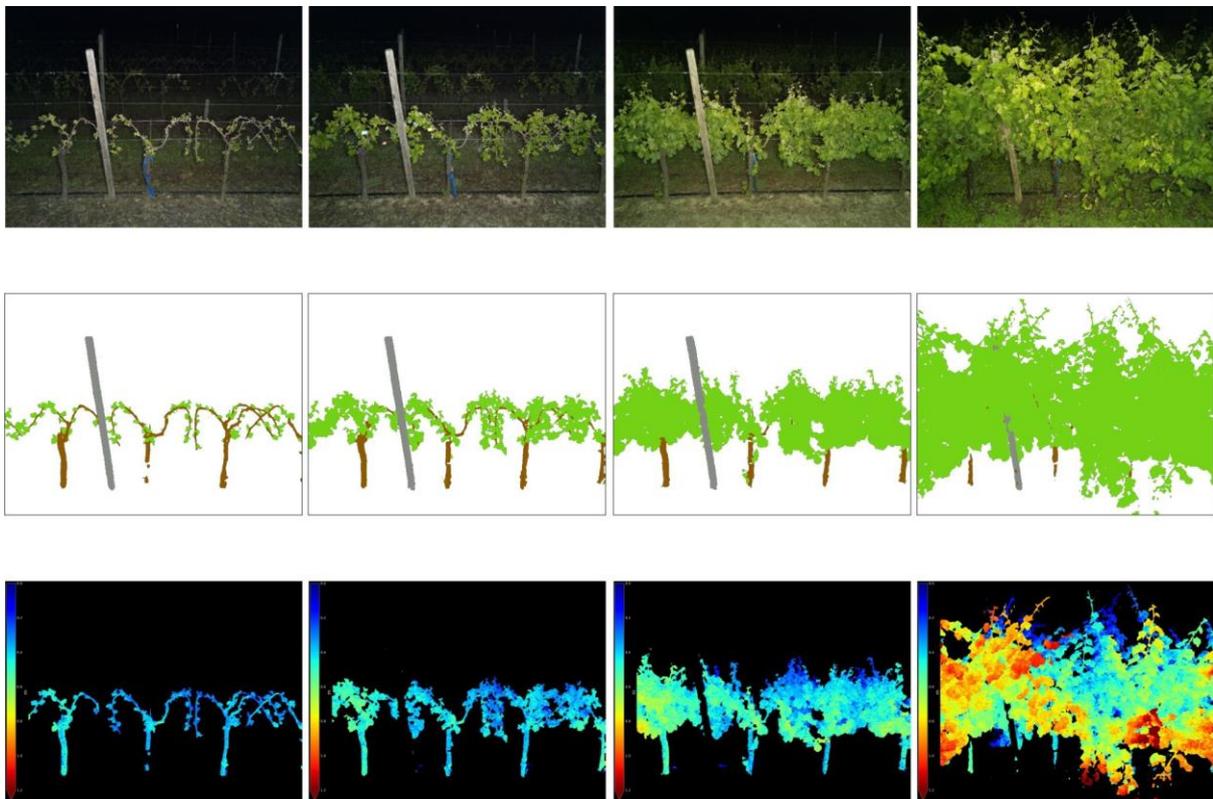
WCAM-2 è alimentato da un pannello solare e può essere installato in modo indipendente oppure può essere combinato con altri sensori meteorologici, diventando una stazione meteorologica completa.

La telecamera è integrata con un sensore termico IR per misurare a bassa risoluzione la temperatura della chioma.

Le immagini giornaliere sono inviate via internet (SIM o Wi-Fi) e vengono poi elaborate automaticamente da un software di analisi delle immagini, estraendo varie caratteristiche dello stato della chioma che sono altrimenti molto difficili da fornire con osservazioni manuali sulla vegetazione.

Il software fornisce automaticamente:

- rilevamento della chioma completa nell'immagine (con distinzione dallo sfondo e da altri elementi);
- misurazione del volume della chioma e stima della superficie fogliare totale all'interno del volume (crescita giornaliera della pianta);
- misurazione dell'altezza e della larghezza della chioma (media, percentili);
- rilevamento di campioni di foglie singole e calcolo del loro angolo fogliare (media, percentili);
- individuazione dei grappoli (se visibili e se di interesse)
- rilevamento dello stadio fenologico (in fase di sviluppo sperimentale);
- rilevamento di occlusioni e di altre condizioni rilevanti che influenzano le misurazioni (pioggia intensa o nebbia, ecc.).
- calcolo della temperatura media delle foglie dalla banda centrale dei pixel del sensore termico IR;



*Figura 25. Immagini fornite dal softver*

L'analisi delle immagini è oggi ben sviluppata per i vigneti con struttura a spalliera, mentre altre strutture di vigneto e altre colture arboree sono attualmente in fase di sperimentazione. Il sistema può essere adattato a qualsiasi tipo di coltura mediante un'adeguata calibrazione del software.

I dati estratti sono estremamente utili per:

- gestione agronomica

- gestione fitosanitaria: il nuovo tessuto verde è associato al rischio di infezione (se scoperto con i prodotti fitosanitari) e la superficie fogliare totale permette di calcolare dosi precise di prodotti fitosanitari.
- gestione dell'acqua: la chioma totale, l'inclinazione delle foglie e la temperatura sono associate allo stato idrico della vite e possono essere analizzate insieme ad altri dati provenienti dal terreno.
- gestione della chioma: decidere quando sono necessarie le operazioni di taglio/potatura in base allo sviluppo e alla fenologia della pianta.



*Figura 26. Stazione meteorologica dotata di telecamera stereo*

### Lezione 3: Visione artificiale applicata agli insetti

WTrap è un'innovativa trappola per insetti dotata di una telecamera ad alta risoluzione da 8 Megapixel, che consente il monitoraggio a distanza delle catture. La trappola attira gli insetti su una piastra spalmata di colla entomologica con feromoni selettivi. La telecamera punta la piastra dall'alto, scattando immagini giornaliere che vengono inviate attraverso una connessione internet e possono essere visualizzate sul portale di monitoraggio "Aurora WEB". La qualità delle immagini è tale da consentire l'identificazione della maggior parte degli insetti di interesse, che possono essere integrati da un software di riconoscimento automatico.

WTrap è dotato di un sistema di comunicazione dati integrato tramite scheda SIM. Grazie all'alimentazione con pannelli solari, può essere posizionato ovunque come stazione di monitoraggio indipendente.

WTrap porta grandi vantaggi quando è necessario monitorare gli insetti in appezzamenti di grandi dimensioni o distanti tra loro: il rilevamento delle catture di insetti diventa più frequente senza la necessità di un operatore e i dati possono essere archiviati automaticamente insieme alle condizioni meteorologiche.

Il software per il rilevamento automatico degli insetti catturati con WTrap è in grado di riconoscere alcuni insetti di interesse dannosi per il vigneto o il frutteto (ad esempio, tignola della vite, tignola della vite europea, tortrice del castagno), mentre il rilevamento di altri insetti di interesse è in fase di sviluppo sperimentale e sarà rilasciato nel prossimo futuro. Il sistema memorizza le catture rilevate in precedenza, fornendo il numero di catture giornaliere o le catture cumulative di un determinato insetto. Il rilevamento automatico del livello di sporco della piastra suggerisce quando è necessario cambiarla.

Il software consente un tracciamento completo e istantaneo delle catture, semplificando e velocizzando enormemente il lavoro dell'operatore agricolo. I trattamenti insetticidi possono quindi essere applicati nel momento più opportuno, in base al reale andamento delle popolazioni dell'insetto.



Figura 27. WTrap, un'innovativa trappola per insetti sul campo



*Figura 28. Rilevamento automatico degli insetti*

## Lezione 4: Modelli di previsione delle malattie

PVsensing è un sistema composto da elementi hardware e software che rappresenta un modello innovativo di previsione delle infezioni di peronospora della vite. Nuove variabili vengono misurate in campo e considerate come input, con l'obiettivo di effettuare simulazioni più accurate del ciclo vitale del patogeno e quindi della previsione delle infezioni. Tali variabili sono misurate da una nuova serie di sensori, elencati di seguito.



La misurazione precisa del volume della chioma e della superficie fogliare viene effettuata dal dispositivo "WCAM", una particolare telecamera adatta all'installazione permanente in campo, che utilizza tecniche di analisi automatica delle immagini per il riconoscimento della chioma e la sua ricostruzione tridimensionale. *P. viticola* è un parassita obbligato dei tessuti vegetali della vite, che è più o meno suscettibile all'infezione a seconda della quantità di stomi aperti presenti sulla superficie fogliare e non protetti. La misurazione di questo aspetto è quindi di fondamentale importanza per una maggiore precisione nella previsione delle infezioni, adattando il modello previsionale alle specifiche condizioni vegetative del vigneto, che dipendono da diverse variabili locali e dalla specifica gestione della vite. Le misure fornite dal sistema sono utili anche per ottimizzare i dosaggi dei prodotti fitosanitari, adattandoli alla crescita della vegetazione.

L'umidità superficiale del suolo e la temperatura sono variabili fondamentali per valutare in un buon modello la maturazione e la germinazione delle oospore di *P. viticola*, che svernano sulla superficie del suolo. Normalmente in altri modelli tali variabili non sono misurate ma simulate da dati di temperatura e UR raccolti a 2 m di altezza dal suolo da una stazione meteorologica, con l'inconveniente che tali dati possono non essere rappresentativi del clima reale a livello del suolo (a seconda di fattori come la composizione del suolo, la struttura, la copertura). Le misurazioni dirette dell'umidità e della temperatura superficiali del suolo sono ottenute grazie a una serie di sensori di nuova concezione, caratterizzati da un meccanismo elettronico (brevettato) che coinvolge solo i primi millimetri della superficie del suolo, cioè dove le oospore effettivamente svernano e germinano. La correlazione delle infezioni primarie con l'umidità diretta della superficie del suolo viene studiata per la prima volta in questo progetto.

Per determinare il rischio di infezione da *P. viticola*, è molto importante conoscere la temperatura, l'umidità dell'aria e lo stato di bagnatura delle foglie posizionando dei sensori all'interno della chioma. Il "dripping" è una misura innovativa effettuata dal sensore "LWS-PLUS", in grado di rilevare quando l'accumulo notturno di rugiada sulle foglie è tale da far gocciolare l'acqua da una foglia all'altra. In presenza di infezione, l'acqua che gocciola trattiene le spore del patogeno e le trascina da una foglia all'altra e sui grappoli, causando possibili nuove infezioni. Il gocciolamento influisce anche sul dilavamento dei prodotti fitosanitari, anche in

assenza di pioggia. Il monitoraggio di questo fenomeno consente una definizione più precisa e affidabile del rischio di infezione.



Un modello di previsione è uno strumento importante per il viticoltore come supporto alle decisioni sulla gestione del vigneto. L'utente può infatti sapere, da dati oggettivi, quando ci sono le condizioni favorevoli per un'infezione e l'effettiva necessità di effettuare un trattamento fitosanitario. Un sistema di questo tipo dovrebbe consentire una razionalizzazione dell'uso dei pesticidi, evitando lo spreco di risorse in trattamenti non necessari, che a volte vengono eseguiti sulla base di una conoscenza incerta del rischio di infezione.



## Modulo 5 - Migliori pratiche

### Lezione 5.1: Vigneti digitali

La "Viticoltura 4.0" sottolinea che la digitalizzazione è più di un'innovazione tecnica per quanto riguarda i processi in vigna, in cantina e nel marketing. Richiede un modo completamente nuovo di pensare e di operare quando si tratta di gestione operativa e aziendale nell'organizzazione, nel controllo e infine nel modo in cui ci rivolgiamo ai clienti.

Un **vigneto digitale** considera la tutela dell'ambiente, le conseguenze del cambiamento climatico, l'obiettivo di produrre vini di alta qualità e la pressione dei costi i fattori chiave alla base della digitalizzazione della produzione vinicola, soprattutto nelle aree con forti pendenze. Le esigenze di gestione del suolo, dell'acqua e della protezione delle piante sono sempre più stringenti e la quantità di documentazione richiesta è sempre più onerosa. Il vigneto digitale vede nelle tecniche di applicazione innovative, nelle procedure efficienti dal punto di vista delle risorse, nei sistemi operativi elettronici, nei droni e nella robotica un'opportunità per soddisfare questi requisiti crescenti.

Il vigneto digitale è un concetto agronomico che definisce la gestione dei campi agricoli basata sull'**osservazione, la misurazione e l'azione** in situazioni di variabilità ambientale "naturale". Questa metodologia richiede un insieme di tecnologie che includono sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS), droni, sensori, immagini satellitari e aeree integrate con sistemi informativi geografici (GIS) e tecniche di apprendimento automatico per stimare o valutare e comprendere queste variazioni. Le informazioni raccolte possono essere ulteriormente utilizzate per stimare la giusta quantità di fertilizzanti, acqua o altri input necessari e prevedere con maggiore precisione la resa e la produzione delle colture. Queste informazioni possono essere utilizzate anche dalle tecnologie a rateo variabile (VRT) per ottimizzare la distribuzione dei fertilizzanti, gli interventi irrigui, la distribuzione di prodotti per la protezione delle colture e la segmentazione della raccolta.

Il vigneto intelligente è un tipo di strategia di gestione delle colture in cui le decisioni possono essere prese in modo dinamico grazie alla grande quantità di informazioni ottenute direttamente dal campo attraverso tecnologie come la sensoristica o le immagini aeree. Gli agricoltori possono migliorare il loro processo decisionale e agire in modo proattivo sulle colture ricevendo informazioni di prima mano direttamente e in tempo reale. Questi sistemi forniscono una conoscenza estremamente accurata delle esigenze e dello stato delle colture per una gestione più efficiente delle risorse e della produzione che, se applicata correttamente, può far risparmiare sui costi operativi e favorire la redditività dei produttori.

Conoscendo la quantità d'acqua di cui la pianta ha bisogno e che riceve, è possibile pianificare un'irrigazione ottimale, risparmiando non solo acqua, ma anche massimizzando la produttività di ogni pianta per ottenere una resa maggiore o, più comunemente, una migliore qualità.

I vigneti intelligenti apportano molti benefici, quali:

- supporto al processo decisionale;
- istituire sistemi di allarme/rilevazione precoce;
- fornire strumenti per l'adozione di strategie di gestione dell'adattamento ai cambiamenti climatici;
- migliorare la produzione sostenibile e redditizia delle colture.

Tabella. Applicazione attuale e futura delle tecnologie digitali in viticoltura, comprese le principali opportunità e limitazioni.

<b>Applicazione viticola</b>	<b>Opportunità</b>	<b>Limitazioni</b>
<i>Proprietà del suolo e valutazione della qualità del suolo</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservazione della qualità del suolo e limitazione della sua contaminazione</li> <li>- Identificazione e mappatura precisa della variabilità del suolo</li> <li>- Monitoraggio delle variazioni del contenuto di carbonio organico del suolo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risoluzione spaziale</li> <li>- Frequenza temporale delle osservazioni</li> <li>- Previsione accurata della distribuzione spaziale</li> <li>- Costo medio elevato delle tecnologie di mappatura digitale del suolo</li> </ul>
<i>Crescita vegetativa, stato nutrizionale e architettura della chioma</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riduzione dei costi dei fattori produttivi (ad esempio, fertilizzanti, fungicidi, acqua).</li> <li>- Miglioramento del microclima della chioma</li> <li>- Sviluppo di strumenti diagnostici fisiologici</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevata variabilità nello sviluppo del vigneto</li> <li>- Chiome dense</li> <li>- Segmentazione della chioma</li> <li>- Limiti dell'intelligenza artificiale</li> </ul>
<i>Individuazione e gestione di parassiti e malattie</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Miglioramento della gestione di parassiti e malattie</li> <li>- Individuazione precoce di parassiti e malattie</li> <li>- Riduzione dell'uso di fungicidi e pesticidi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sintomi simili tra diversi agenti patogeni e disturbi</li> </ul>
<i>Stato idrico della vite</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificazione accurata dei sintomi di stress idrico</li> <li>- Miglioramento dell'efficienza nell'uso dell'acqua</li> <li>- Conservazione delle risorse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definizione delle soglie per i vari livelli di stress</li> <li>- Frequenza temporale delle osservazioni</li> </ul>
<i>Componenti della resa e previsione delle colture</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Miglioramento della logistica di cantina e riduzione dei rischi e dei costi di produzione del vino</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta variabilità</li> <li>- Problemi di occlusione per un rilevamento accurato dei grappoli</li> </ul>
<i>Composizione dei frutti e attributi qualitativi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stima più accurata della composizione dei frutti prima della raccolta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informazioni ricavate principalmente dalla buccia dell'acino e non dalla polpa</li> <li>- I grappoli devono essere visibili</li> </ul>

		- Fattibile per pochi parametri di composizione delle uve
<i>Campionamento dei vigneti</i>	- Miglioramento delle attività di campionamento dei vigneti (ad es. maturità, resa, nutrizione)	- Richiede ancora un campionamento sul campo e grandi banche dati.
<i>Gestione mirata</i>	- Utilizzo più efficiente delle risorse attraverso le applicazioni a rateo variabile (VRT) - Raccolta dati per il monitoraggio degli indicatori di sostenibilità	- Contabilizzazione degli impatti ambientali delle singole attività
<i>Raccolta selettiva</i>	- Miglioramento della qualità del vino e dei prodotti di consumo finale della cantina - Produzione verso profili di vino mirati	- Costi medi elevati - Nessun macchinario disponibile per la raccolta selettiva

## **Lezione 5.2: Cantine digitali e consumatori**

### **Cantina digitale**

Il concetto di digitalizzazione si basa sul fatto che la concorrenza internazionale e i cambiamenti nelle preferenze dei clienti modifichino costantemente i requisiti della produzione vinicola. La digitalizzazione della tecnologia di raccolta, lavorazione, analisi e cantina, nonché della tecnologia di riempimento e confezionamento, offre nuove opportunità in termini di controllo e monitoraggio dei processi produttivi.

I metodi digitali di misurazione e valutazione della qualità e l'uso di applicazioni analitiche possono aiutare a produrre vini di qualità superiore. La tecnologia intelligente della cantina è un'opportunità per utilizzare meno risorse e risparmiare sui costi.

### **Aziende e consumatori digitali**

La digitalizzazione offre nuove opportunità in termini di marketing. Ciò include nuovi modi di parlare ai clienti attraverso i social media. La digitalizzazione offre nuove opportunità di marketing proiettando le informazioni dal vigneto e dalla cantina alla sala vendita, creando così un nuovo strumento di vendita, oltre a creare valore aggiunto e verificare l'autenticità.

### Riferimenti bibliografici:

- A. Hall et al. (2003): Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images, *Computers & Geosciences* 29 pp. 813-822
- Berry, J. K., Delgado, J. A., Khosla, R. e Pierce, F. J. (2003). Conservazione di precisione per la sostenibilità ambientale. *J. Soil Water Conserv.* 58, 332-339.
- Ehsan Pazouki (2022): Generating digital elevation model from farm fields using smartphone, *Earth Science Informatics* 15:915-928
- F. Nex, C. Armenakis, M. Cramer, D.A. Cucci, M. Gerke, E. Honkavaara, A. Kukko, C. Persello, J. Skaloud (2022): UAV nell'avvento dei vent'anni: Where we stand and what is next, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol 184.: pp. 215-242.
- Huang Yao, Rongjun Qin e Xiaoyu Chen (2019): Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications-A Review *Remote Sensing* 11,
- Lillesand, T., Kiefer, R. W. e Chipman, J. (2015). *Telerilevamento e interpretazione delle immagini*. John Wiley & Sons.
- Mike J. Smith (2011): *Geomorphological Mapping, Developments in Earth Surface Processes* Volume 15, 2011, pagg. 225-251.
- OCSE (2022), *La digitalizzazione dell'agricoltura: A Literature Review and Emerging Policy Issues*, FOOD, AGRICULTURE AND FISHERIES PAPER N°176 © OCSE
- OCSE (2019), *Digital Opportunities for Better Agricultural Policies*, OECD Publishing, Parigi,
- Robert A. Schowengerdt (2007), *Telerilevamento: Modelli e metodi per l'elaborazione delle immagini*, Elsevier, ISBN 978-0-12-369407-2
- Thompson, N. M., DeLay, N. D. e Mintert, J. R. (2021). Comprendere il ciclo di vita dei dati agricoli: raccolta, uso e impatto dei dati agricoli nelle aziende agricole statunitensi di mais e soia. *Agricoltura di precisione*, 22(6), 1685-1710.

### Fonti web:

- <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/digital-terrain-model>
- <https://www.aidash.com/a-technical-deep-dive-into-satellite-imaging-multispectral-sar-and-gan/>
- <https://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>
- <https://sites.google.com/a/coe.edu/principles-of-structural-chemistry/relationship-between-light-and-matter/electromagnetic-spectrum>
- <https://up42.com/blog/5-things-to-know-about-ndvi>
- <https://gisgeography.com/aspect-map/>