

Venerdi culturali



agriCulture



## Ruolo del digitale in agricoltura

**“Applicazioni digitali agli agroecosistemi arborei nell’ottica della transizione ecologica”**

**Valerio Cristofori**

Professore Associato Dipartimento  
DAFNE, Università della Toscana

Phone: 0761-357559  
(email: [valerio75@unitus.it](mailto:valerio75@unitus.it))

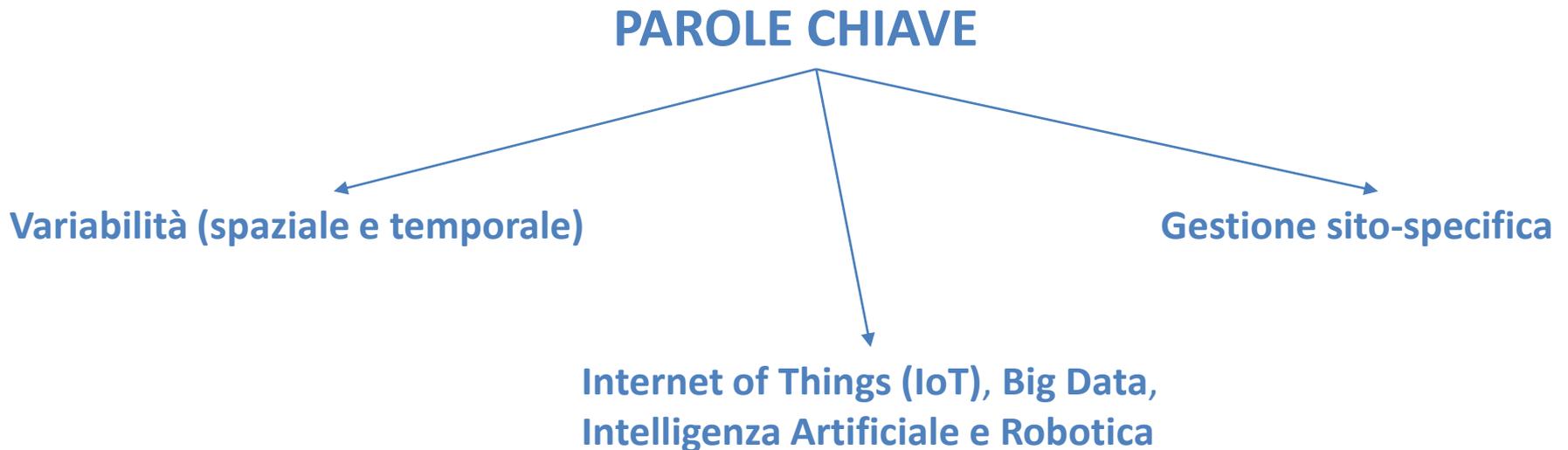


- Idoneità dell'azienda ad ordinamento frutticolo e del frutteto ad applicazioni di "Precision Agriculture" e "Agriculture 4.0"
- Ruolo del "soil mapping" nella digitalizzazione del frutteto e nella gestione di sistemi di supporto alle decisioni (SSD)
- Caso studio: Progetto H2020 PANTHEON "Precision Farming of Hazelnut Orchards"

- **Idoneità dell'azienda ad ordinamento frutticolo e del frutteto ad applicazioni di "Precision Agriculture" e "Agriculture 4.0"**
- Ruolo del "soil mapping" nella digitalizzazione del frutteto e nella gestione di sistemi di supporto alle decisioni (SSD)
- Caso studio: Progetto H2020 PANTHEON "Precision Farming of Hazelnut Orchards"

# Applicazioni digitali in arboricoltura da frutto

- Idoneità aziendale e del frutteto



# QUALI SONO LE VALUTAZIONI PRELIMINARI CHE UN IMPRENDITORE AGRICOLO DEVE FARE PER INQUADRARE LE APPLICAZIONI DI PA NELLA SUA AZIENDA?

- 1. Conoscenza dei limiti applicativi delle tecnologie di PA correlate alla natura dell'azienda:** ordinamento produttivo, dimensioni aziendali e dotazione strutturale, frazionamento degli appezzamenti, impiantistica a supporto dei frutteti (impianti irrigui, reti antigrandine, tutoraggio dei filari ecc.).
- 2. Imprenditore orientato a quali applicazioni digitali?**
  - Agricoltura di Precisione (3.0): valido anche l'approccio di applicazione di strategie di gestione del sistema arboreo tradizionali, non digitalizzate, MA PIU' PRECISE
  - Agricoltura Digitale (4.0): necessario un approccio di digitalizzazione dell'azienda con impiego di sensori a vari livelli, di una piattaforma centralizzata di controllo (acquisizione, elaborazione, prescrizione, attuazione), impiego di droni e robot sia per predizione sia per attuazione; personale altamente qualificato (agronomo, ingegnere, data scientists)

### 3. Quali sono le aziende ed i sistemi arborei che si prestano ad applicazioni di PA a vari livelli?

- Sistemi arborei a sesto regolare o irregolare
- Sistemi arborei a giacitura pianeggiante o acclive
- Sistemi arborei a differente esposizione
- Sistemi arborei realizzati su suoli omogenei o altamente disomogenei
- Sistemi arborei a distribuzione eterogenea (dall'alta collina – ambiente pedemontano ai fondovalle)
- Sistemi arborei con differenti sestì di impianto e forme di allevamento
- Sistemi arborei a sesto dinamico
- Sistemi arborei consociati (consociazione arborea – arborea)
- Sistemi arborei a differente assortimento varietale (cultivar principali e impollinatori distribuiti nel filare in specie autoincompatibili; impiego del portinnesto su piante innestate; impiego di piante autoradicate)
- Sistemi arborei strutturalmente analoghi ma introdotti in ambienti significativamente diversi

## Caratteristiche limitanti del settore agricolo per applicazioni di agricoltura di precisione:

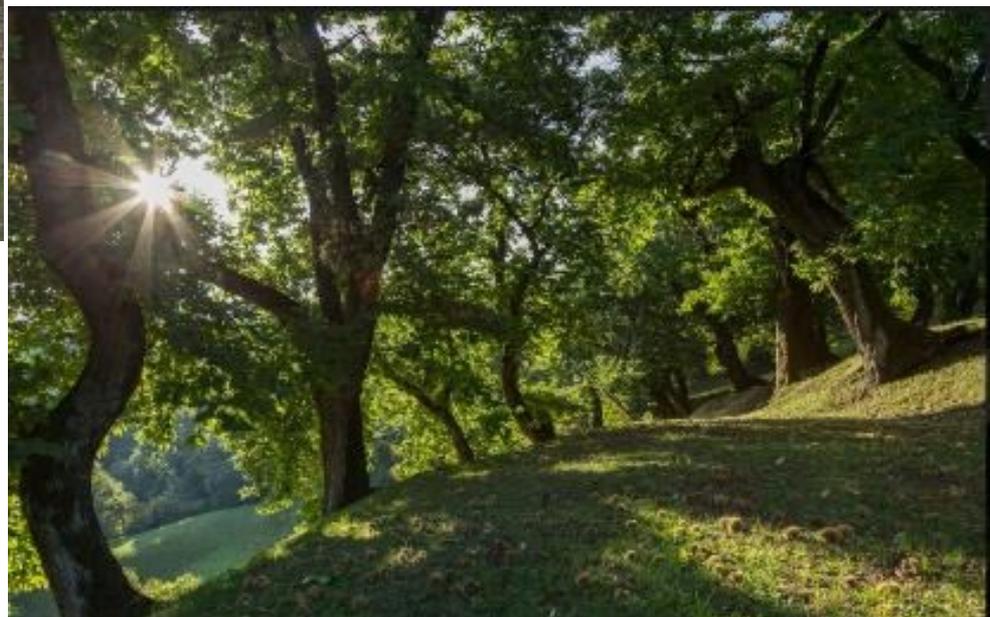
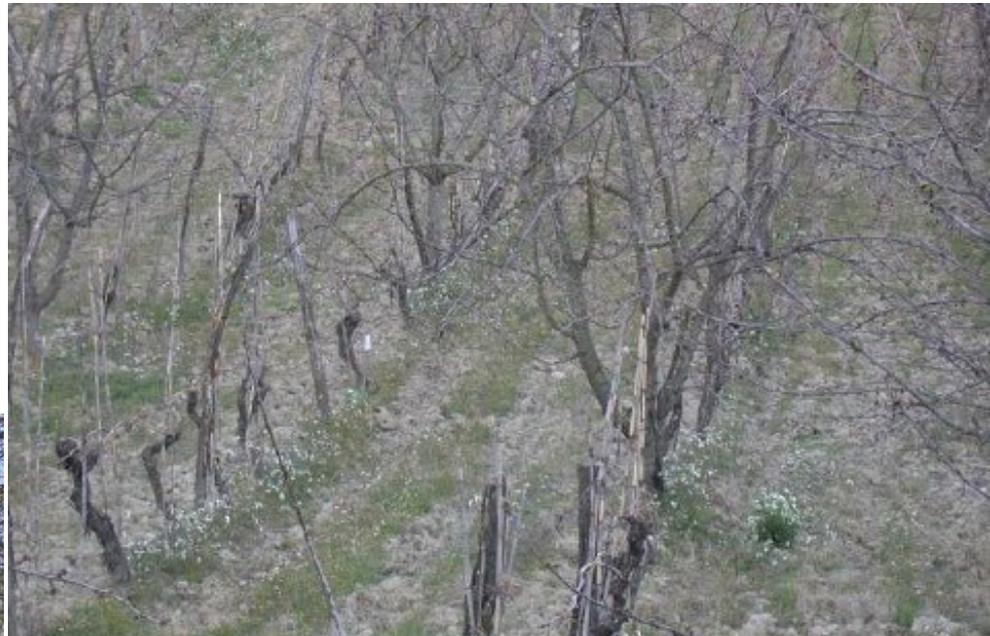
- Disponibilità economiche limitate;
- Ambienti estesi ad alta variabilità strutturale non controllabili e soggetti all'aleatorietà metereologica;
  - Difficoltà nel reperire personale tecnico specializzato;
- Mancanza di cultura informatica d'impresa (visione spesso limitata al singolo processo di campo da svolgere nel minor tempo possibile e con costi contenuti).

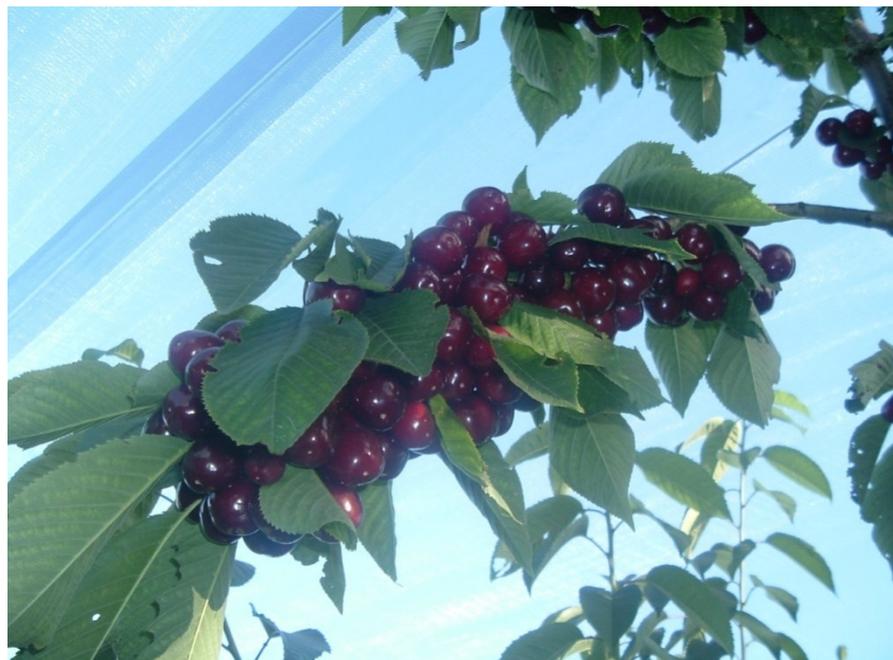
# Principali limitazioni applicative per una frutticoltura di precisione

Anche se le tecniche e le tecnologie di precisione risultano analoghe a quelle utilizzate per la viticoltura di precisione (progettazione, pianificazione, irrigazione di precisione, VRT, ecc.), bisogna tenere presente che in frutticoltura vi sono limitazioni dovute a diversi fattori.

- Presenza di reti antigrandine che ostacolano la diagnostica di parametri colturali e fisiologici durante la stagione, tramite acquisizione da remoto;
- Scalarità nella maturazione dei frutti che implicano una raccolta programmata in più interventi (2-3);
- Operazioni poco meccanizzabili e svolte spesso manualmente;
- Tridimensionalità della maggior parte delle colture arboree (da non poter assumere come parete continua orizzontale o verticale tipica del vigneto);
- Il monitoraggio (mappatura della variabilità spaziale e temporale) di tipo digitale, risulta troppo dispendioso e quindi non sempre economicamente sostenibile.

## IDONEITA' DEL FRUTTETO AD APPLICAZIONI DIGITALI E DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE



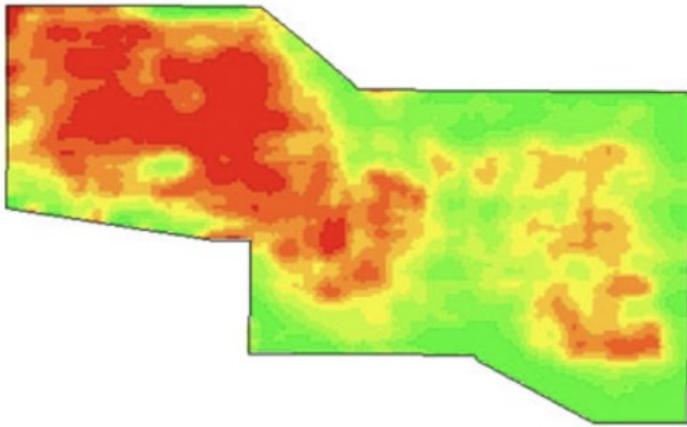


# Sesto dinamico

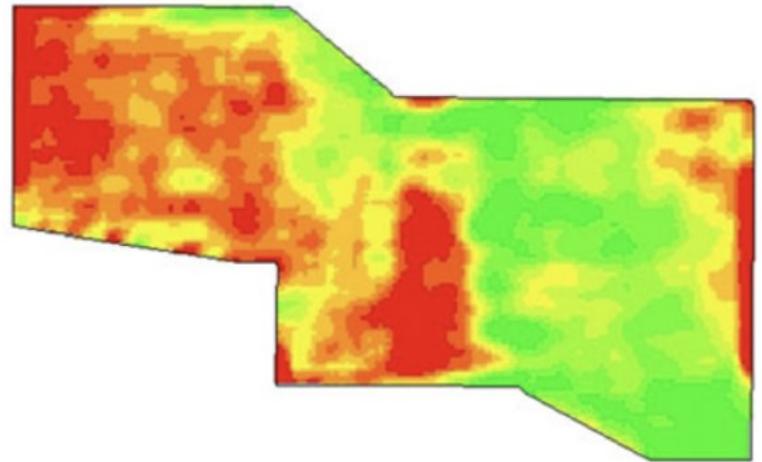
(12° anno eliminazione della metà degli alberi: densità finale 400 piante/ha)



Impianto Tonda Gentile Romana (ambiente viterbese)



(2005/2006)



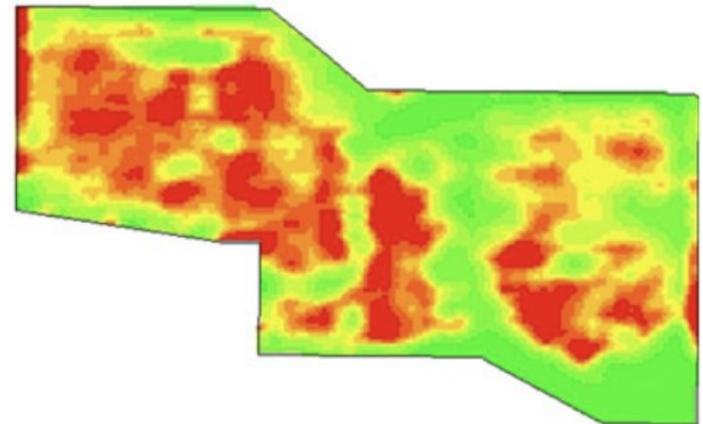
(2006/2007)

### ORIGINAL ARTICLE

McClymont L. et al. (2014). Effect of site-specific irrigation management on grapevine yield and fruit quality attributes. [Irrigation Science](#) 30(6). DOI:[10.1007/s00271-012-0376-7](#)

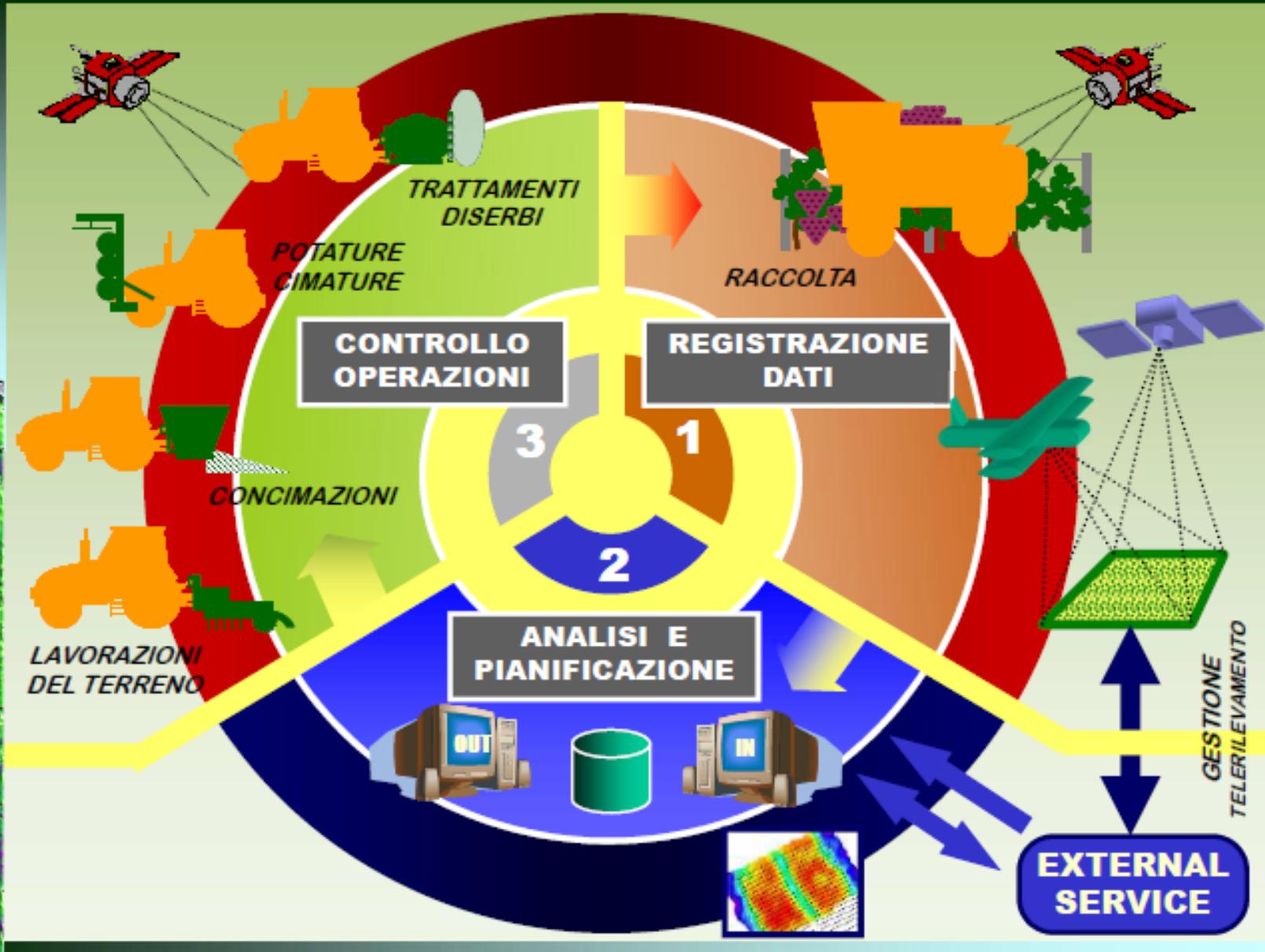
### ORIGINAL ARTICLE

Lima-Cueto F.J. et al. (2019). Using Vegetation Indices and a UAV Imaging Platform to Quantify the Density of Vegetation Ground Cover in Olive Groves (*Olea Europaea* L.) in Southern Spain. [Remote Sensing](#) 11, 2564. DOI:[10.3390/rs11212564](#)



(2007/2008)

# L' AP COME SISTEMA INTEGRATO



- Idoneità dell'azienda ad ordinamento frutticolo e del frutteto ad applicazioni di “Precision Agriculture” e “Agriculture 4.0”
- **Ruolo del “soil mapping” nella digitalizzazione del frutteto e nella gestione di sistemi di supporto alle decisioni (SSD)**
- Caso studio: Progetto H2020 PANTHEON “Precision Farming of Hazelnut Orchards”

# Sensori e metodi per rilievi prossimali delle caratteristiche del suolo

La misura e l'interpretazione della variabilità spazio-temporale dei suoli può avvenire attraverso l'acquisizione di dati tramite impiego **sensori prossimali** (intesi come tecnologie di misura, il cui sensore è a diretto contatto con l'oggetto da misurare o ad una distanza inferiore ai 2 metri).

**Principali vantaggi:** non invasivi, permettono di ottenere un elevato numero di dati (georiferiti) in tempi brevi e costi ridotti.

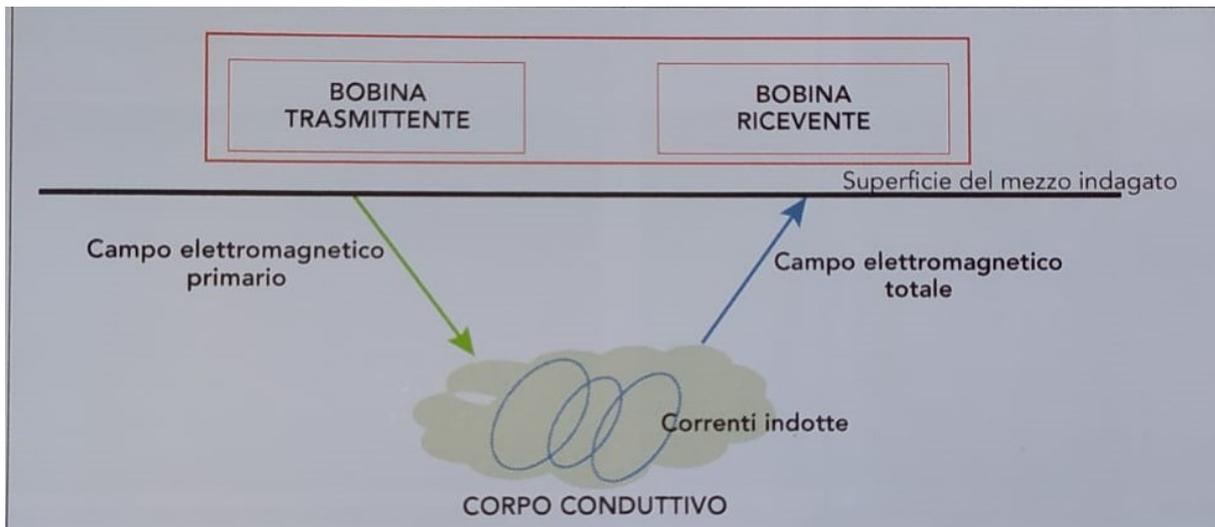
## Digital Soil Mapping

L'utilizzo di **sensori ad induzione elettromagnetica (EMI)**, ha il grande pregio di fornire una grande quantità di dati spaziali in breve tempo. Tramite tecniche di geostatistica è possibile interpolare questi dati con buona accuratezza e ottenere mappe di elevato dettaglio della variabilità di una o più caratteristiche del suolo.

Ad esempio, una cartografia di dettaglio della capacità di ritenzione idrica del suolo (AWC) permette di programmare correttamente un'irrigazione di precisione.

# Sensori prossimali geofisici

**Sensori ad induzione elettromagnetica (EMI)** - Rientrano nella categoria di sensori prossimali non invasivi. Misurano la **conducibilità elettrica apparente ( $EC_a$ )** del suolo. Questa tecnica di indagine permette di ottenere informazioni indirette su diverse proprietà fisiche del suolo, quali porosità, presenza scheletro, salinità, tessitura, profondità e contenuto idrico.



Schematizzazione del principio di funzionamento di un sensore ad induzione elettromagnetica (EMI)

I sensori EMI non necessitano del contatto diretto con il terreno, e vengono portati tramite slitte, a mano, da trattori e quad. Sono molto sensibili alla presenza di metalli nelle vicinanze.

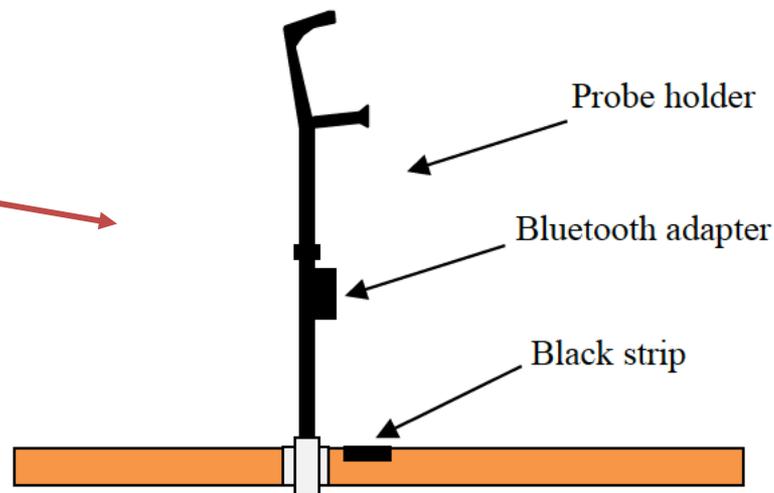
Type of soil	Electr. Cond. (mS/m)
Rock	2-3
Sand	1-10
Clay	25-100



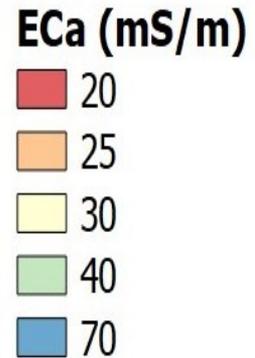
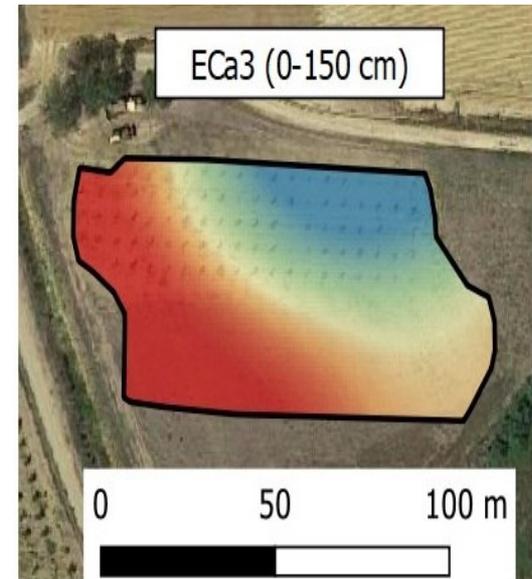
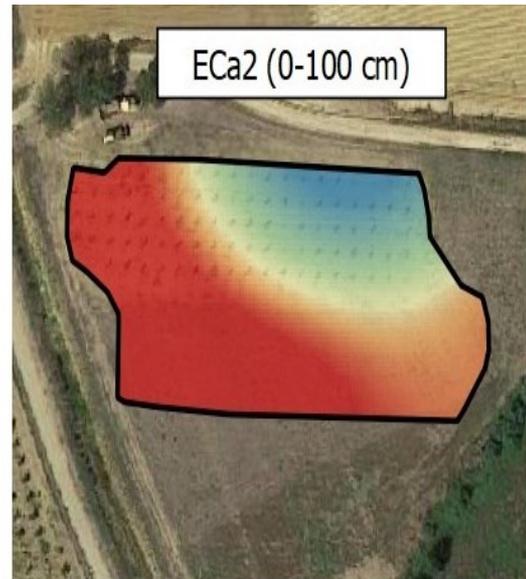
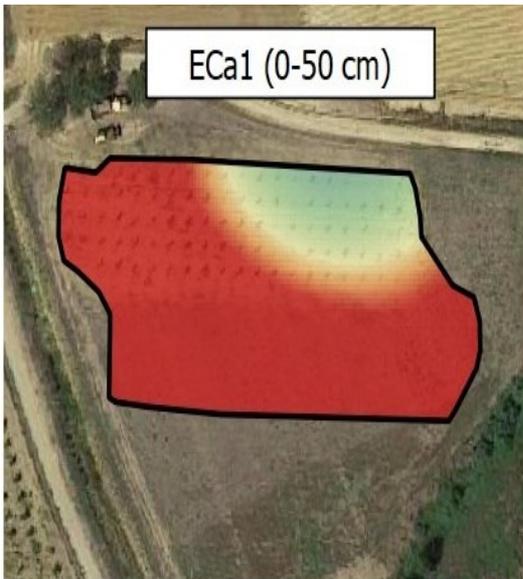
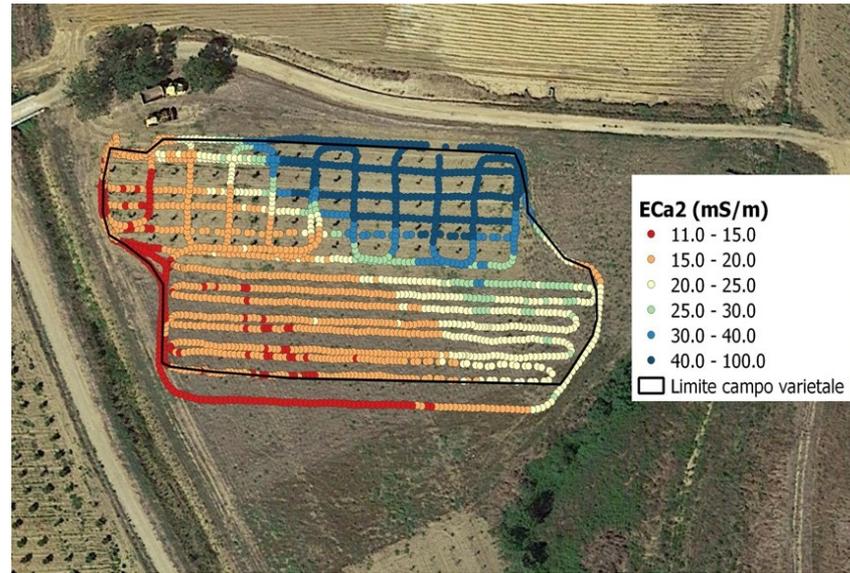
**Mini-Explorer (GF-Instruments)**  
 Profondità investigata: 0-50, 0-100, 0-150 cm

### Control Unit

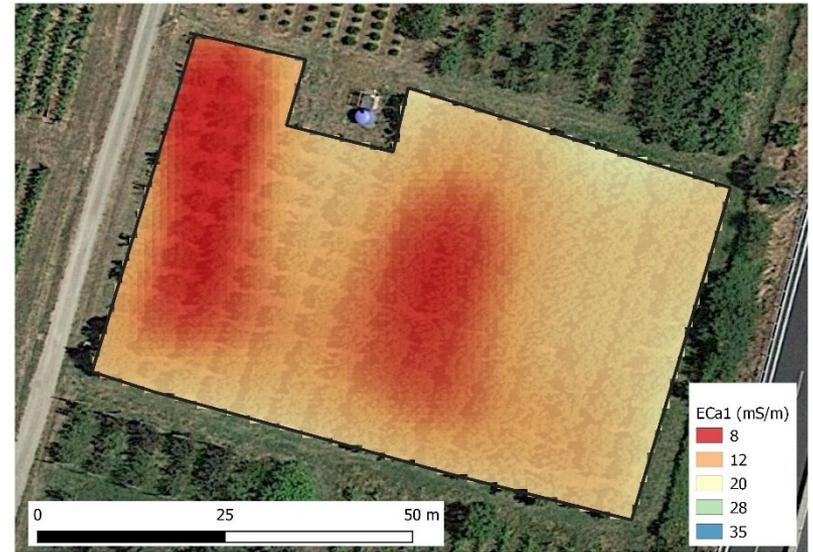
The control unit can be assembled and used with any CMD probe.



# Mappe di conducibilità elettrica apparente a diverse profondità



# Mappe di conducibilità elettrica apparente a diverse profondità

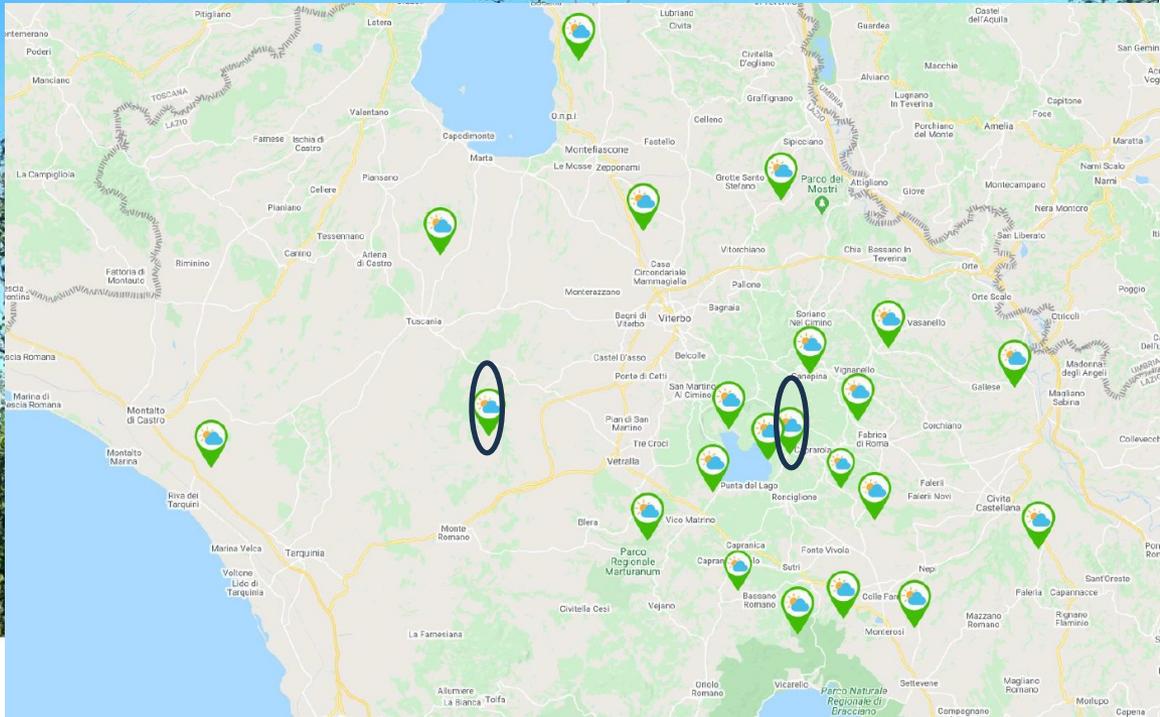


# Piattaforma IoT di comprensorio: sistema di monitoraggio smart

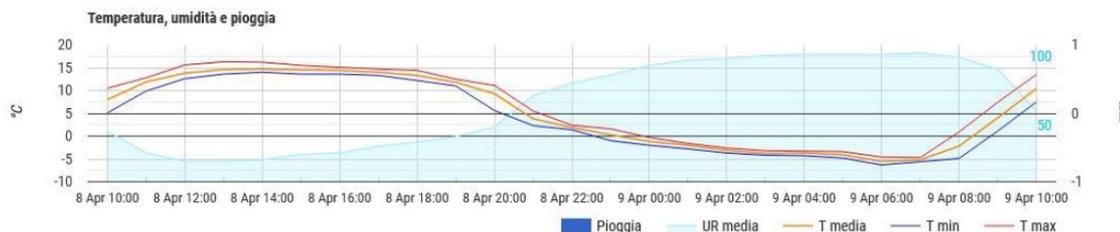
(Modello di riferimento: comparto corilicolo della provincia di Viterbo)



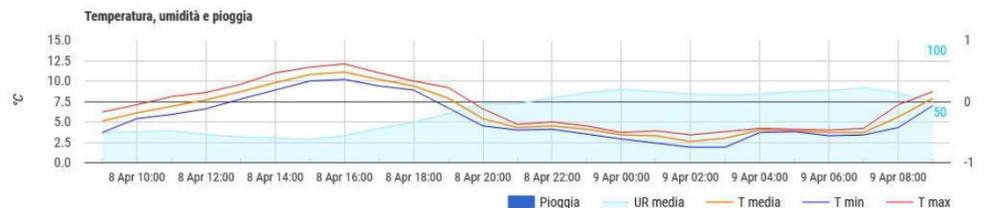
**ASSOFRUTTI**  
Organizzazione Produttori Frutta in Guscio



# VITERBO (loc. Norchia)



# CAPRAROLA (loc. San Rocco)



- Idoneità dell'azienda ad ordinamento frutticolo e del frutteto ad applicazioni di "Precision Agriculture" e "Agriculture 4.0"
- Ruolo del "soil mapping" nella digitalizzazione del frutteto e nella gestione di sistemi di supporto alle decisioni (SSD)
- **Caso studio: Progetto H2020 PANTHEON "Precision Farming of Hazelnut Orchards"**

# Progetto H2020 PANTHEON

## PRECISION FARMING OF HAZELNUT ORCHARDS

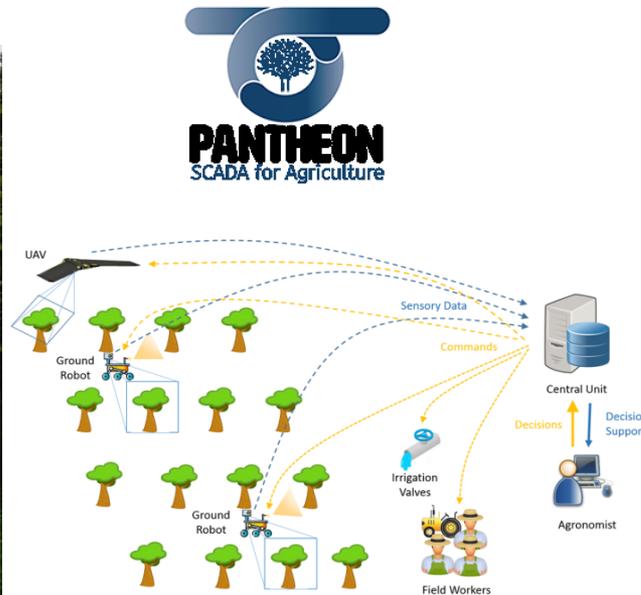
**PANTHEON** sviluppa un nuovo sistema di Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) per la coltivazione di precisione dei nocioleti.

Il sistema è composto da agribot terrestri e aerei (droni) senza pilota che raccolgono dati ed eseguono operazioni agricole. Tutte le informazioni vengono raccolte in un'unità centrale che esegue azioni di feedback automatico e supporta le decisioni degli agronomi e degli agricoltori.

1) gestione dei polloni; 2) potatura e forme di allevamento; 3) irrigazione; 4) fitopatie; 5) stima della produzione

Project PANTHEON is funded by the European Community Horizon 2020 programme under grant agreement 774571

Web site: <https://pantheon.inf.uniroma3.it/>





**UNIROMA3** - L'unità è specializzata in teoria del controllo, robotica e big data. L'unità sviluppa la navigazione, il rilevamento e l'attuazione dei robot terrestri. L'unità si concentra inoltre sulla progettazione di algoritmi di allocazione e sequenziamento per la pianificazione delle operazioni agricole e sulla progettazione e implementazione di un ambiente per la gestione dei dati.



**UNITUS** - L'unità è specializzata in tutti gli aspetti agronomici relativi alla gestione del nocciolo. L'unità conduce tutte le attività relative al processo decisionale agronomico e fornisce un feedback costante ai partner ingegneristici del progetto sulla pertinenza dei dati raccolti e delle operazioni agricole eseguite.



**TRIER** - Questa unità si concentra sull'agricoltura e silvicoltura di precisione iper- e multispettrale e sulla ricerca sul degrado del territorio, utilizzando sensori remoti aerotrasportati e spaziali, LiDAR, spettroscopia e (geo)statistica. L'unità è responsabile di tutte le attività di telerilevamento del progetto e collabora con le altre unità per determinare la qualità delle informazioni raccolte.



**ULB** - Questa unità è specializzata nella teoria del controllo e nelle sue applicazioni alla robotica e agli UAV. L'unità sviluppa la piattaforma aerea e i relativi pianificatori di missione. Collabora alla pianificazione delle operazioni agricole e sviluppa il modulo di rilevamento dei guasti per il rilevamento precoce del malfunzionamento dei sensori. Questa unità guida la divulgazione del progetto.



**FERRERO** - L'unità è un gruppo di ricerca del gruppo FERRERO specializzato in agronomia e telerilevamento applicato alle piantagioni di nocciolo. Il team definisce i requisiti per la gestione robotizzata del nocciolo. Il gruppo contribuisce al progetto e fornisce un feedback costante sull'efficacia reale dei risultati del progetto.



**SIGMA** -Sigma consulting ha una lunga esperienza nella progettazione e nello sviluppo di sistemi elettronici e software ad alta affidabilità. SIGMA guida l'integrazione, i test e la convalida del sistema SCADA e supervisiona la progettazione e lo sviluppo dell'infrastruttura di comunicazione e dell'unità centrale del sistema SCADA PANTHEON.



# Sito Sperimentale: Azienda Agricola Vignola - Nepi (VT)

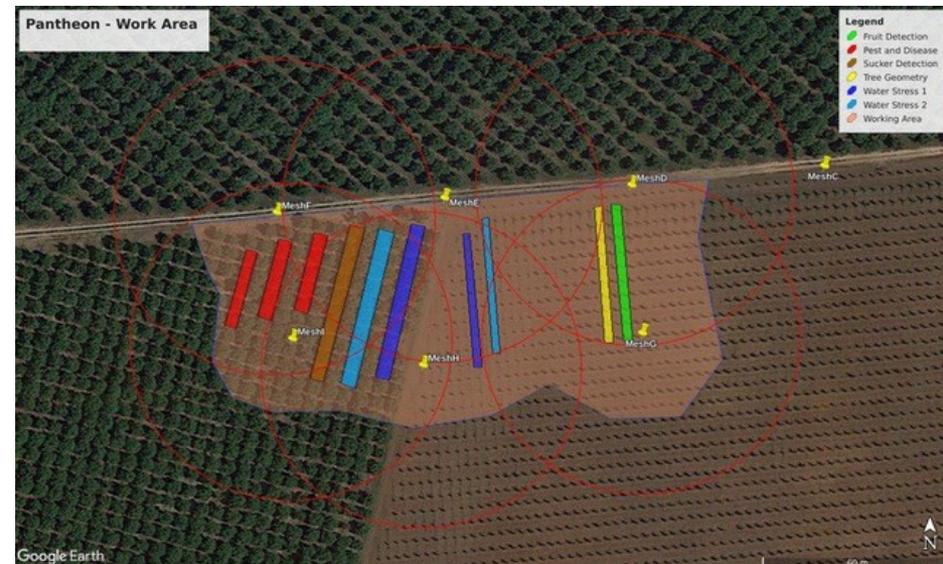
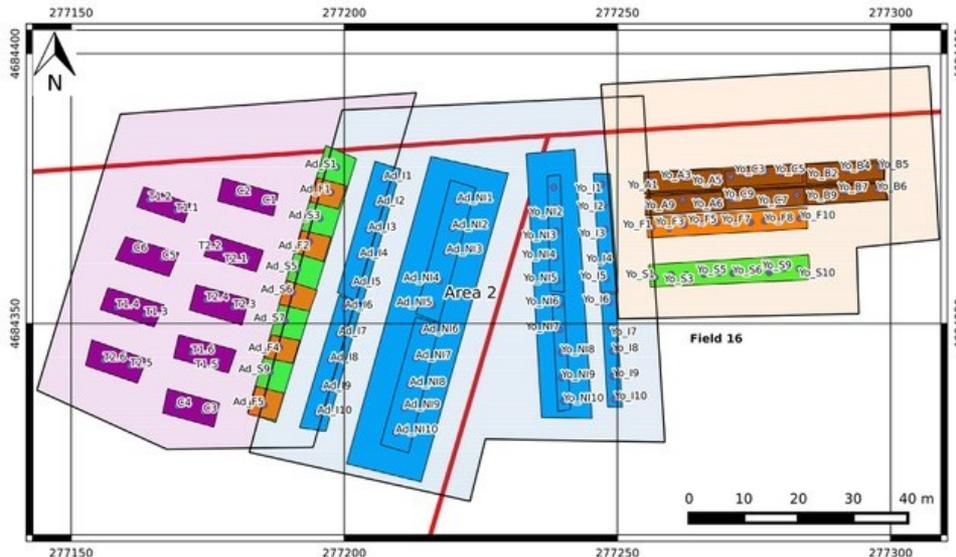
(longitude 12°17'55.17" E, latitude 42°16'47.27" N, altitude 260 m asl)



Plot surface (ha)	cultivar	Layout	Plant age (2018)
4	Tonda Romana	5 x 5 (400 p/ha)	35



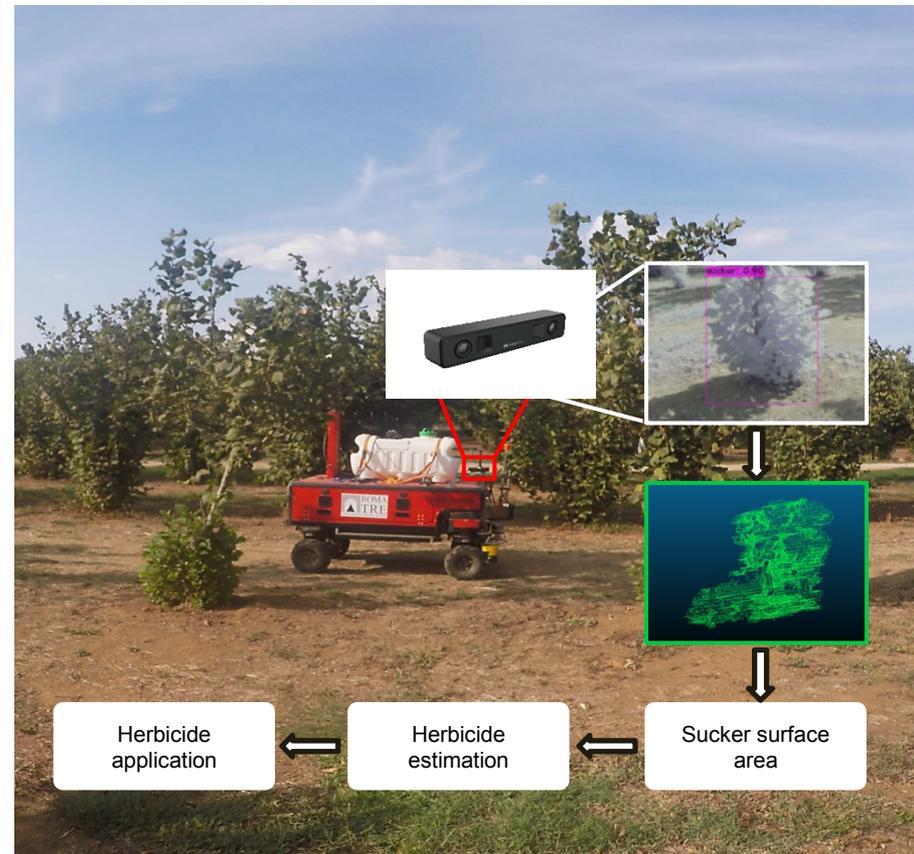
Plot surface (ha)	cultivar	Layout	Plant age (2018)
9.1	Nocchione	4,5 x 3 (744 p/ha)	4



# Panoramica sulla gestione automatizzata dei polloni

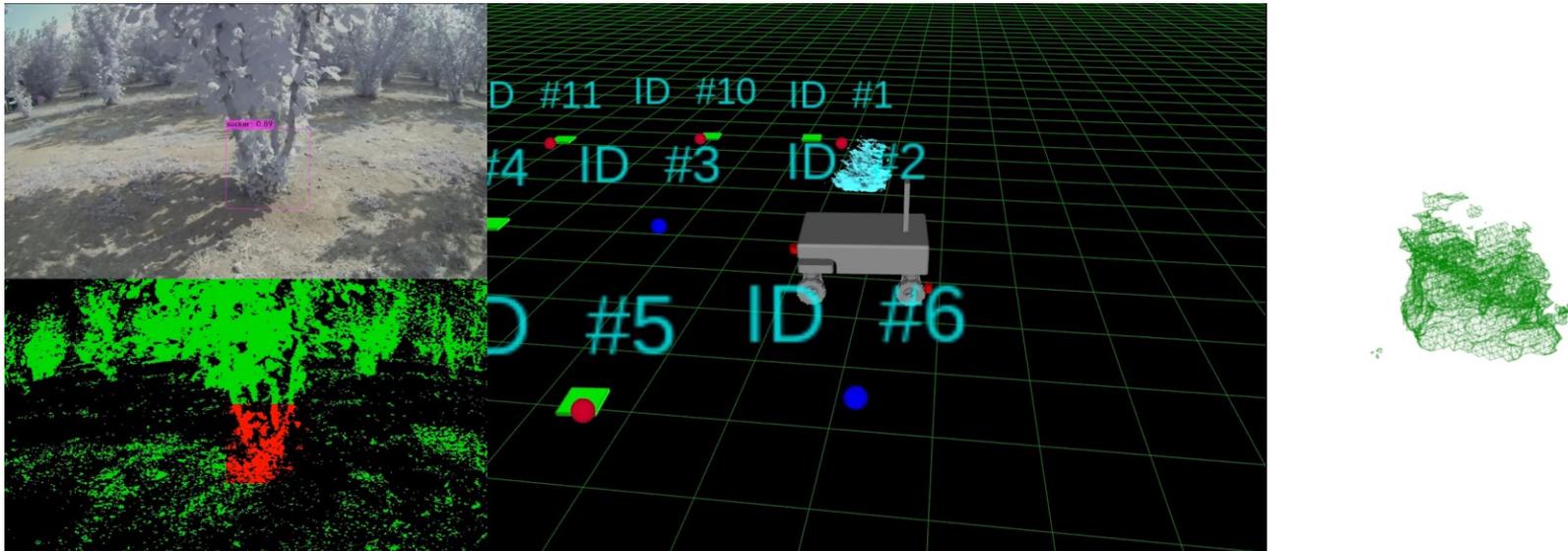
## Steps

- Rilevamento e segmentazione dei polloni
- Ricostruzione della superficie 3D dei polloni
- Implementazione del protocollo di irrorazione automatica
- Validazione sperimentale



# Ricostruzione della superficie dei polloni per singola pianta

La ricostruzione della superficie dei polloni si ottiene alimentando la libreria Kimera con i dati RGB-D elaborati per costruire una rappresentazione mesh 3D grezza della 'canopy' dei polloni per singola pianta



# Irrorazione automatizzata: calcolo e calibrazione della quantità di erbicida per pianta

$$h_i(A_i) = \min \{ h_i^{\max}, kA_i + c \}$$

Diagram illustrating the calculation of herbicide amount per plant. The equation is  $h_i(A_i) = \min \{ h_i^{\max}, kA_i + c \}$ . The variables are defined as follows:

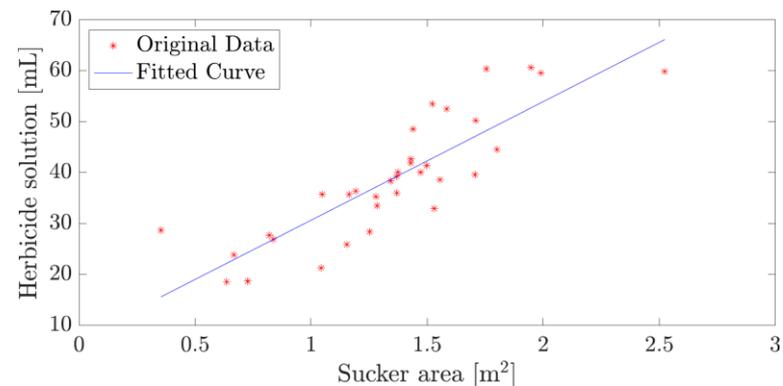
- $h_i$ : Amount of Herbicide
- $A_i$ : Sucker Surface Area
- $h_i^{\max}$ : Maximum Recommended Amount
- $k$ : Proportional Gain
- $c$ : Constant Amount

**Note:**  $k$  and  $c$  must be estimated

**I parametri  $K$  e  $c$  sono stimati utilizzando un approccio guidato dai dati:**

- 1 - Si misurano le quantità di erbicida raccomandate da un esperto testate su 35 piante
- 2 - Si applica una regressione ai minimi quadrati guidata dai dati

# Irrorazione automatizzata: calibrazione della quantità di erbicida per pianta



**Estimates:**  $k = 23.278$ ,  $c = 7.378$

# Validazione sperimentale



# Validazione agronomica

**La validazione agronomica è stata effettuata alla fine della stagione di crescita 2021**

- Alcune piante selezionate sono state trattate per il controllo dei polloni dopo la stima della loro chioma.
- I trattamenti sono stati eseguiti utilizzando l'UGV in dotazione e seguendo le linee guida rilasciate dall' algoritmo sviluppato.
- Le piante trattate con l'UGV sono state confrontate con altre trattate secondo la procedura tradizionale (senza la stima reale della chioma dei polloni e la quantificazione degli erbicidi).
- Dopo due settimane gli agronomi hanno confermato l'effettiva efficacia dei trattamenti modulati dall'algoritmo.



# Publicazioni finalizzate

1. Pacchiarelli, A., Silvestri, C., **Cristofori, V.**, 2022. Advances in Sucker Control for Sustainable European Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Cultivation. *Plants* 2022, 11, 3416. <https://doi.org/10.3390/plants11243416>.
2. Lippi, M., Santilli, M., Carpio, R.F., Maiolini, J., Garone, E., **Cristofori, V.**, Gasparri, A., 2023. An autonomous spraying robot architecture for sucker management in large-scale hazelnut orchards. *J. Field Robotics* 2023: 1–19. DOI: 10.1002/rob.22217.

a cura di Raffaele Casa

# Agricoltura di Precisione



Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza



e la sostenibilità dei sistemi colturali