

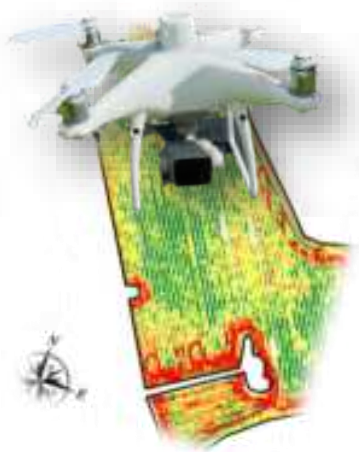
## APPLICAZIONI DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE NELLA GESTIONE AGRONOMICA DEL NOCCIOLETO

***Gessica ALTIERI***

Dipartimento di Farmacia  
***(DIFARMA)***

***Università degli Studi di Salerno***





## **COS' E' L' AGRICOLTURA DI PRECISIONE**

**«Fare la cosa giusta, al momento giusto, al posto giusto»**

Tenere conto della variabilità nel tempo e nello spazio dei fattori che influiscono nel processo agricolo produttivo, con il fine di migliorare l'efficienza degli input nella gestione

Usare meno risorse per ottenere lo stesso risultato - ottenere un risultato migliore a parità di risorse

# STRUMENTI

- GPS e GIS: sistemi di posizionamento globale e sistemi informativi geografici per la mappatura
- Strumenti mappatura sottosuolo
- Droni e immagini satellitari (mappatura soprassuolo)
- Sensori metereologici, irrigazione
- Macchine agricole intelligenti per semina, trattamenti
- Software per i relativi strumenti e software di gestione agricola (programmi e applicazioni)

# Stato dell'arte Nocciolo



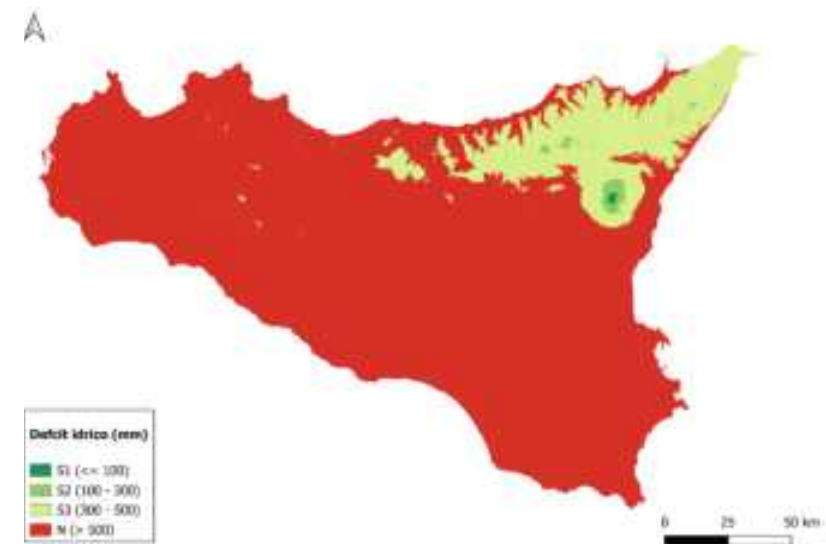
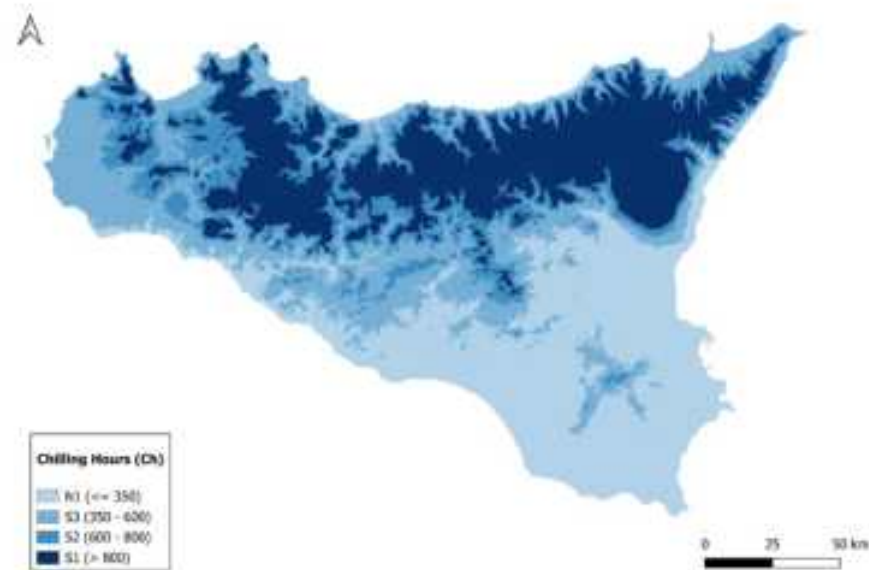
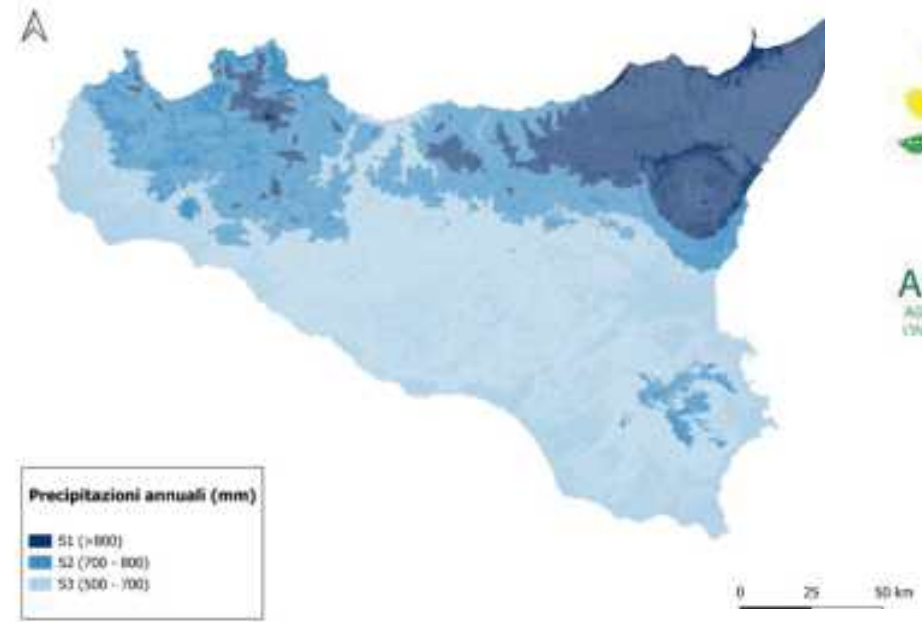
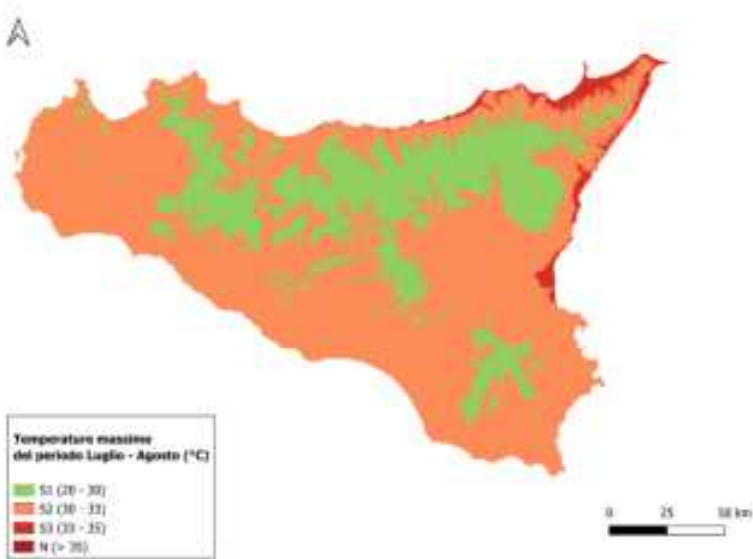
|                                                         |                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Idoneità territorio/areale<br/>alla coltivazione</b> | - Realizzazione carte di attitudine                                                                                                                                                               |
| <b>Variabilità spaziale</b>                             | - Mappatura sottosuolo (ECa)<br>- Mappatura soprassuolo (indici di vegetazione)                                                                                                                   |
| <b>Struttura pianta/chioma</b>                          | - Misura della proiezione della canopy al suolo (PGA)<br>- Stima del volume della chioma<br>- Valutazione della biomassa con laser scanner terrestre (TLS)<br>- Rilevamento e trattamento polloni |
| <b>Infestazioni acaro e oidio</b>                       | - Rilevamento precoce di gemme infestate da acaro (galle)<br>- Rilevamento di oidio su foglie di nocciolo                                                                                         |
| <b>Monitoraggio termico-<br/>idrico</b>                 | Monitoraggio stato termico per pilotare irrigazione mediante:<br>- termometri a infrarossi a basso costo<br>- drone con sensore termico                                                           |
| <b>Erbe infestanti</b>                                  | - Esplorazione della corrente elettrica                                                                                                                                                           |

## Idoneità territorio/areale alla coltivazione: Carte di attitudine

**Valutazione dell'attitudine** consiste in un processo di confronto tra le risorse offerte dal territorio e i fabbisogni richiesti dai tipi di utilizzazione che si vogliono praticare. Il confronto dei due permetterà di valutare e classificare il grado di «capacità di sostenere» specifici usi **ovvero la misura in cui le risorse disponibili soddisfano i fabbisogni richiesti da un determinato uso.**

**Carta di attitudine pedologica, fisica e climatica**

| Classe | Chilling Hours | Temp. max<br>Luglio- Agosto (°C) | Precipitazioni<br>annuali (mm) | Deficit<br>idrico (mm) |
|--------|----------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| S1     | > 800          | 20 - 30                          | > 800                          | < 100                  |
| S2     | 600 - 800      | 30 - 33                          | 700 - 800                      | 100 - 300              |
| S3     | 350 - 600      | 33 - 35                          | 500 - 700                      | 300 - 500              |
| N      | 0 - 350        | > 35                             | 0 - 500                        | > 500                  |



(Grobler et al., 2024)



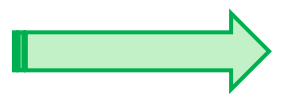
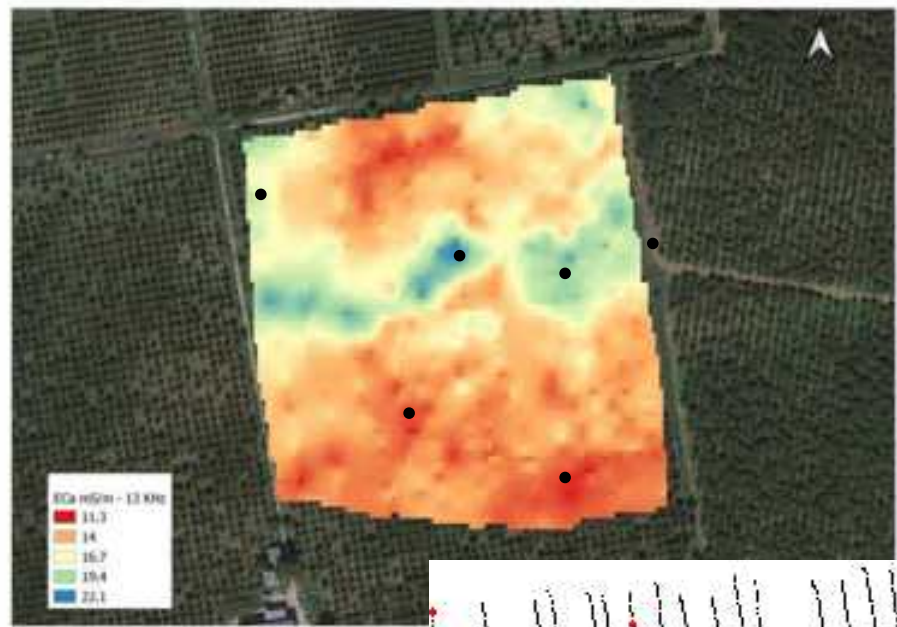


# Variabilità spazio-temporale: Mappatura sottosuolo

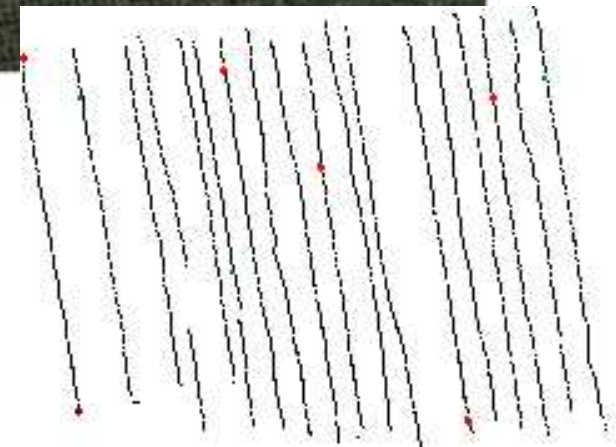
sensori ad induzione elettromagnetica (EMI) che misurano la conducibilità elettrica apparente del suolo (ECa) = zone omogenee



sistema con cui si individuano le zone dell'apppezzamento con caratteristiche simili = zone omogenee



Estrazione dei punti di campionamento software ESAP-RSSD



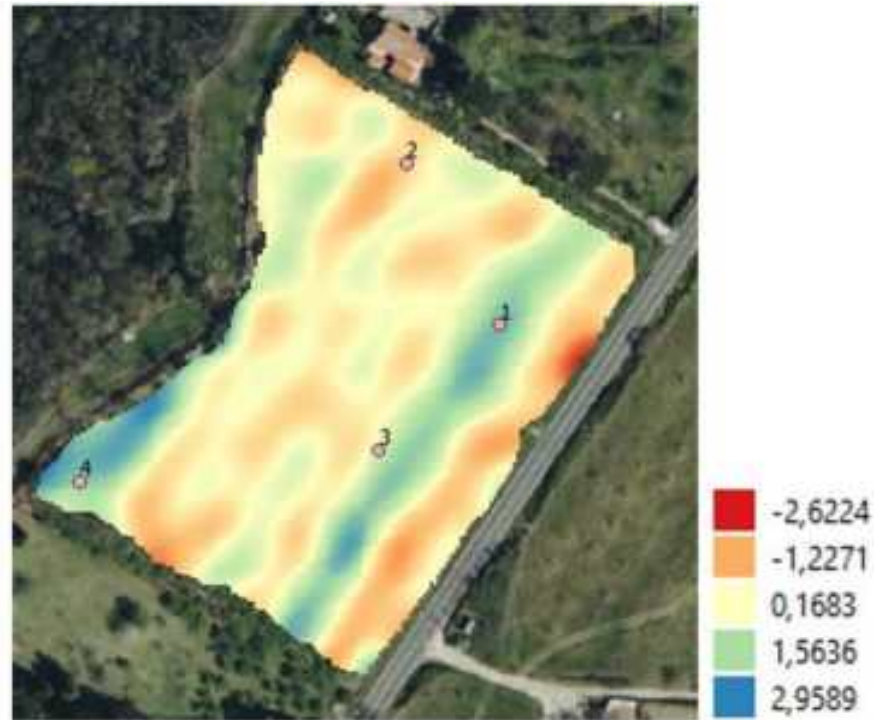
(Altieri et al., 2021)



# Variabilità spazio-temporale: Mappatura sottosuolo

(Pacchiarelli, 2023)

Uso di sensori del suolo prossimali (EMI) in nocchieto per monitorare la distribuzione dell'acqua di irrigazione e la possibilità di rilevare anomalie lungo un sistema di sub-irrigazione (50-100 cm)



## Distribuzione ECa

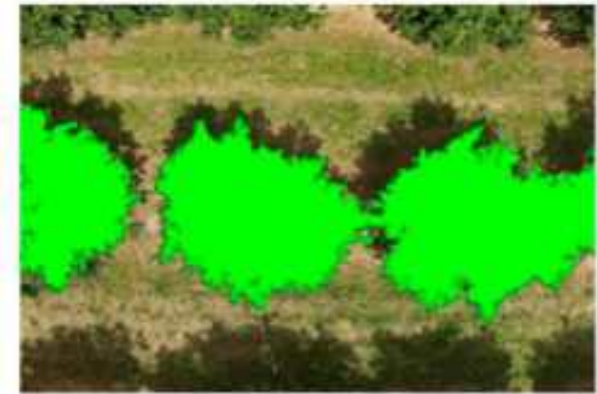
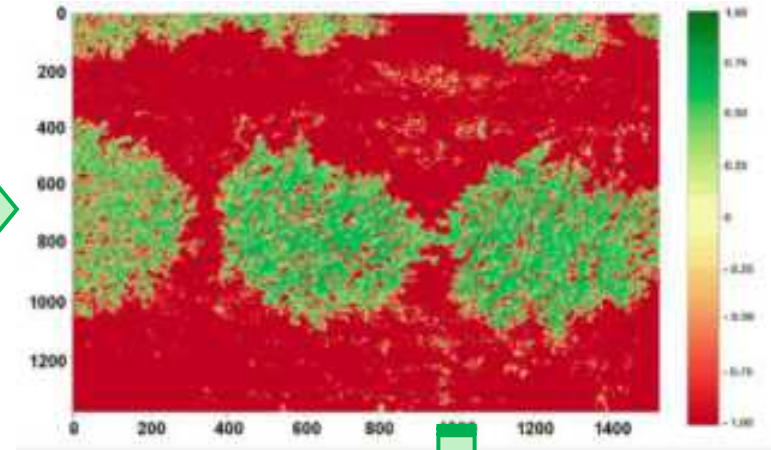
- Mappatura pre- e post-irrigazione ha mostrato variazioni lineari nell' ECa, soprattutto nel range **50–100 cm**, dove si trovano i tubi interrati.
- Le variazioni massime di ECa post-irrigazione erano contenute (~4 mS/m), **non compatibili con rotture o perdite evidenti** nel sistema.

Le analisi hanno evidenziato **eterogeneità nella tessitura** del suolo nel nocchieto confermando la correlazione tra tessitura e conducibilità.



# Variabilità spazio-temporale: Mappatura soprassuolo

## Caratterizzazione mediante indici di vegetazione usando immagini UAV ad alta risoluzione (Morisio et al., 2025)



Indici testati come predittori stato sanitario pianta:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$$

$$GCI = \frac{NIR}{GREEN} - 1$$

$$NDREI = \frac{NIR - RED\ EDGE}{NIR + REDEGE}$$

$$RECI = \frac{NIR}{RED\ EDGE} - 1$$

$$NRI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED}$$

$$GI = \frac{GREEN}{RED}$$

$$TCARI = 3 * (RED\ EDGE - RED) / (0.2 * (RED - GREEN) / (RED\ EDGE - RED))$$

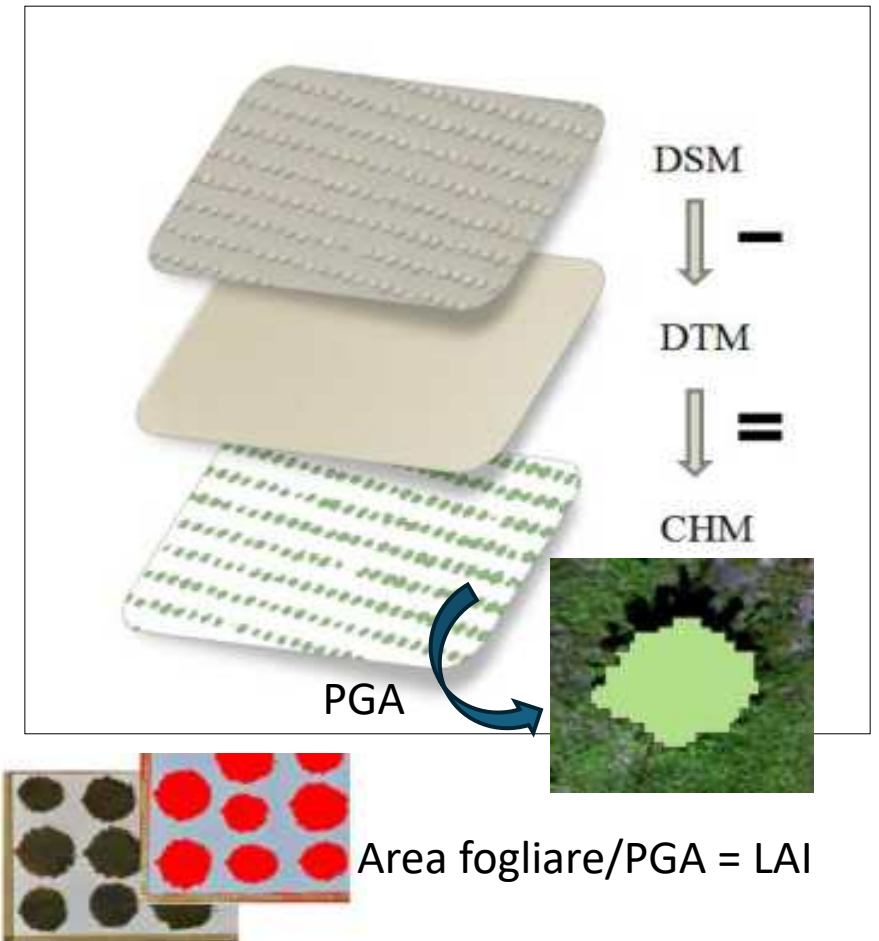
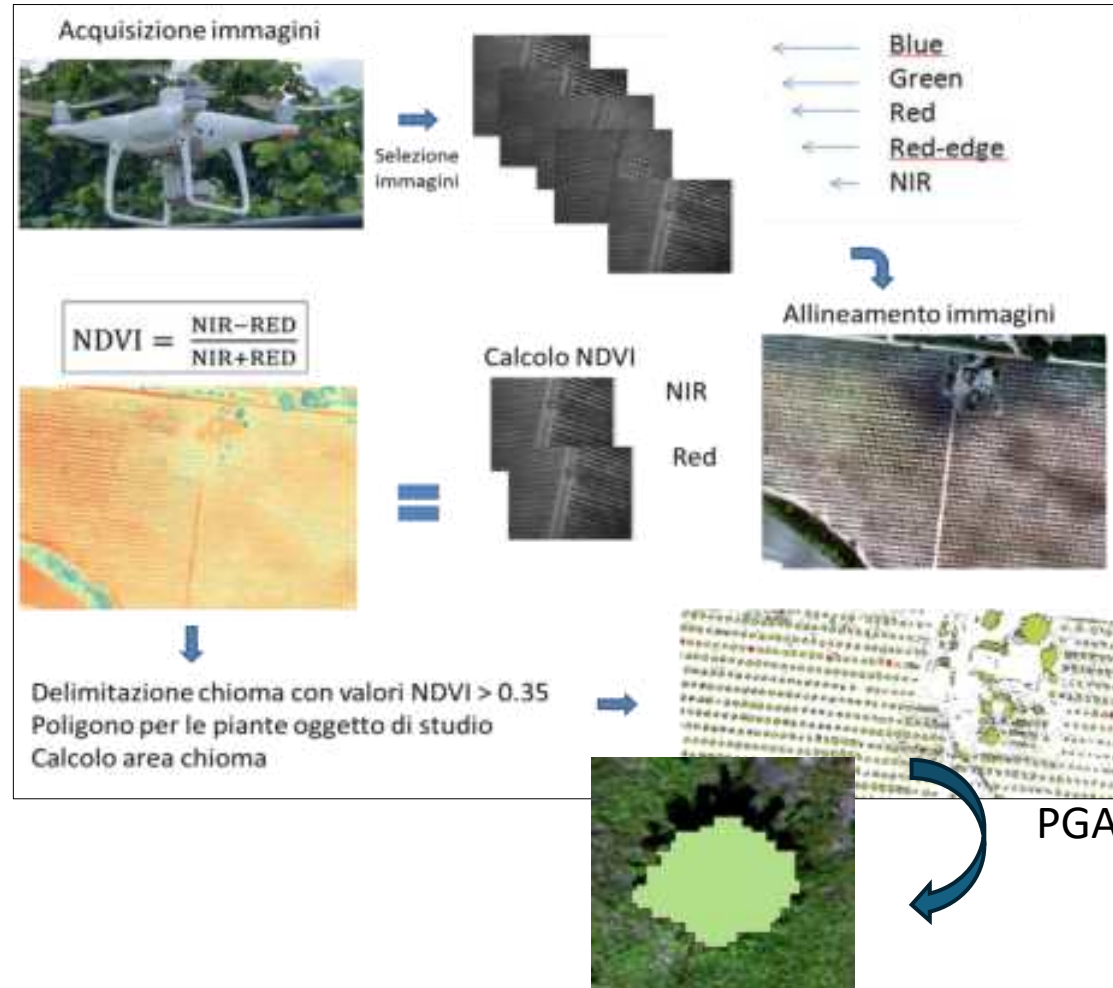
$$SAVI = \frac{1 + L}{2} * \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}$$

Accuratezza del modello di circa il 65%, dimostrando che tali **(5) indici possono essere utilizzati per dedurre le condizioni fisio-patologiche** con il 13% di falsi negativi

# Struttura pianta/chioma

## Proiezione della canopy al suolo (Altieri et al., 2022)

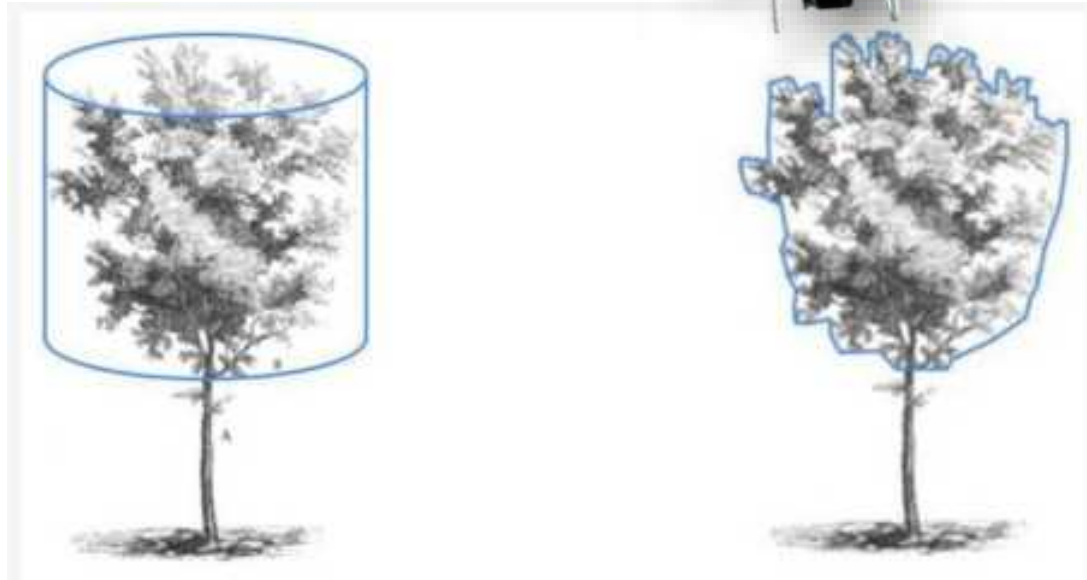
Procedura di misura della proiezione della canopy al suolo in ambiente GIS





# Struttura pianta/chioma

## Stima del volume della chioma (Vinci et al., 2023)

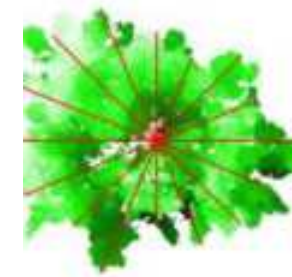
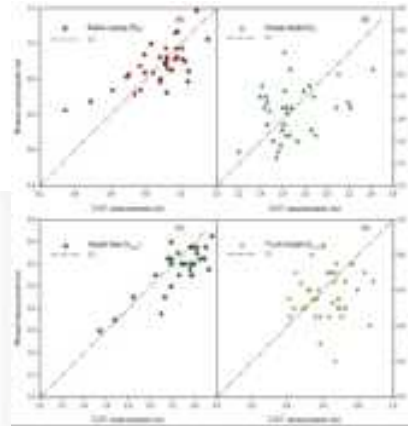


Volume chioma stimato simulando la misura manuale al volume di un cilindro:

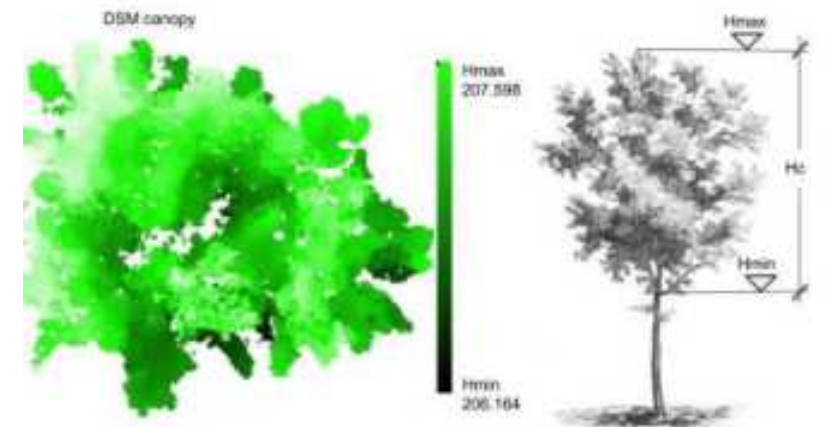
$$V = \pi * R_{\text{canopy}}^2 * H_{\text{canopy}}$$

vs

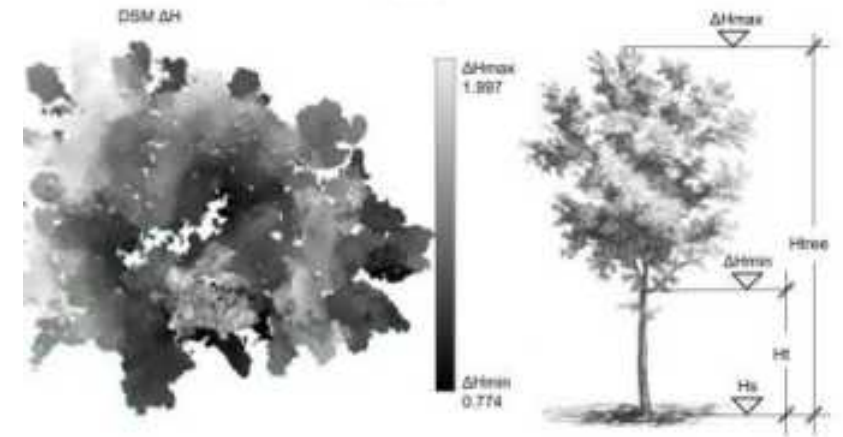
Volume chioma stimato mediante misure sulla chioma da DSM in ambiente GIS



(a)



(b)

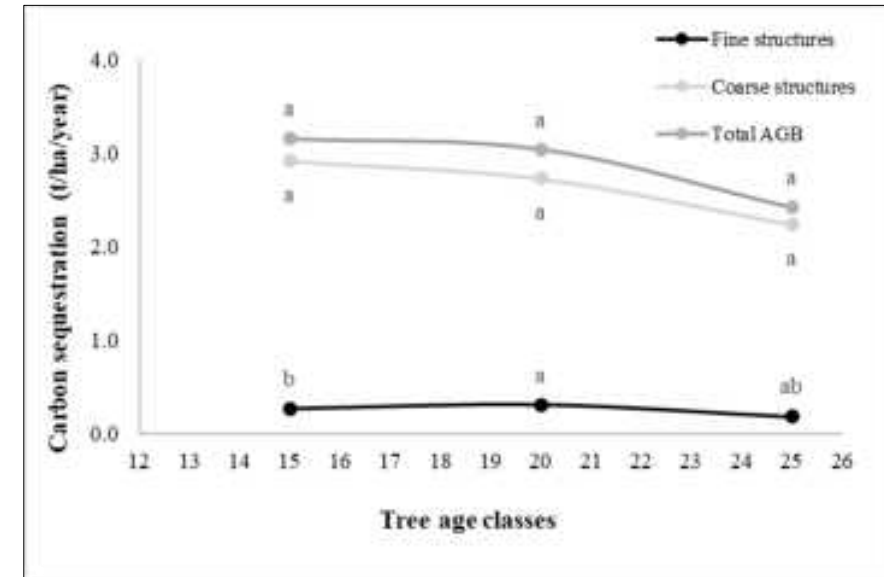
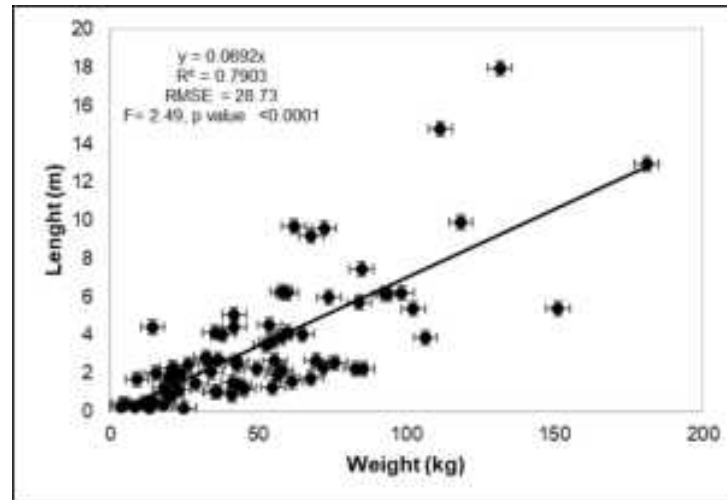
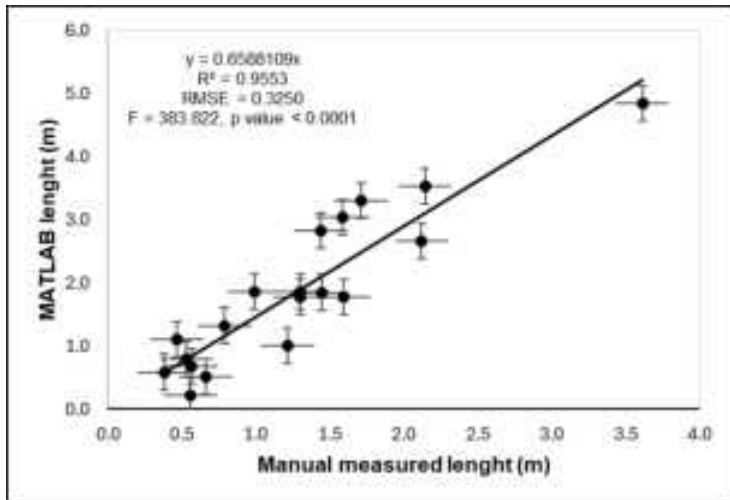
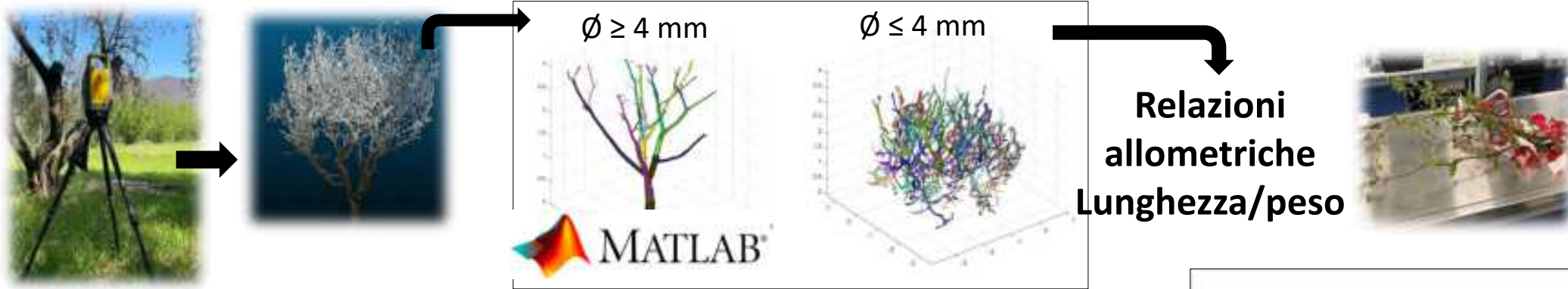


# Struttura pianta/chioma

## Stima della biomassa di piante di nocciolo mediante laser scanner terrestre (TLS)

(Grobler et al., 2025 – in sottomissione) Sviluppo e applicazione di una metodologia innovativa per la stima non distruttiva della biomassa epigea di piante di nocciolo di diversa età

Trimble X7 3D-scanner

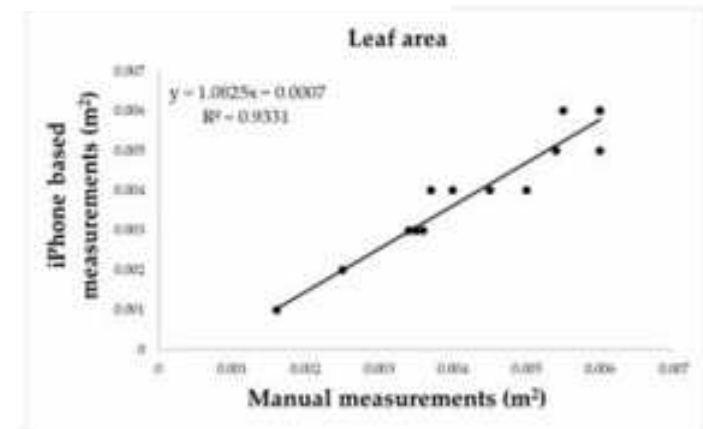
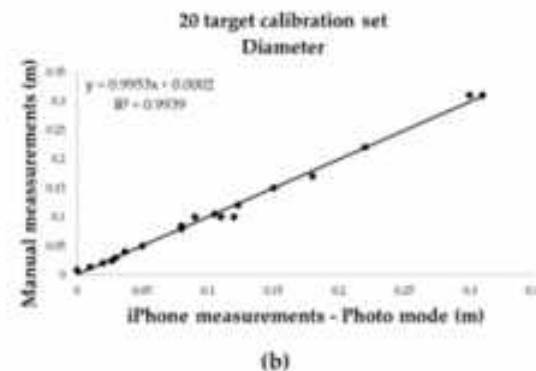
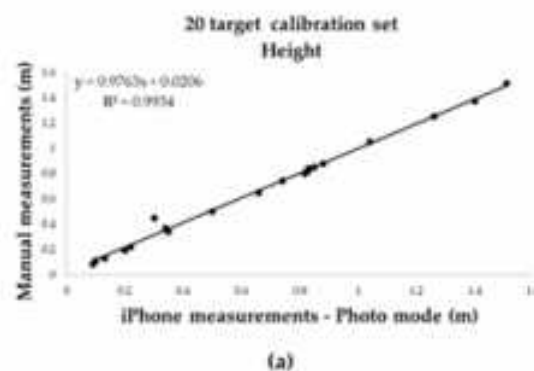
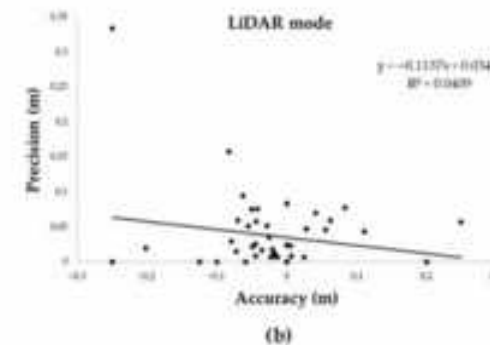
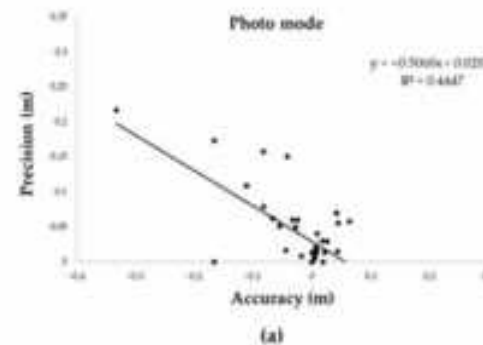


# Struttura pianta/chioma

## Fotogrammetria e scansione LiDAR con iPhone 13Pro: applicazione in nocciolo

(Elèna Grobler and Giuseppe Celano, 2025)

iPhone 13 Pro dotato di un sensore LiDAR integrato e di una fotocamera RGB, per la scansione 3D di altezza, diametro del fusto e superficie fogliare



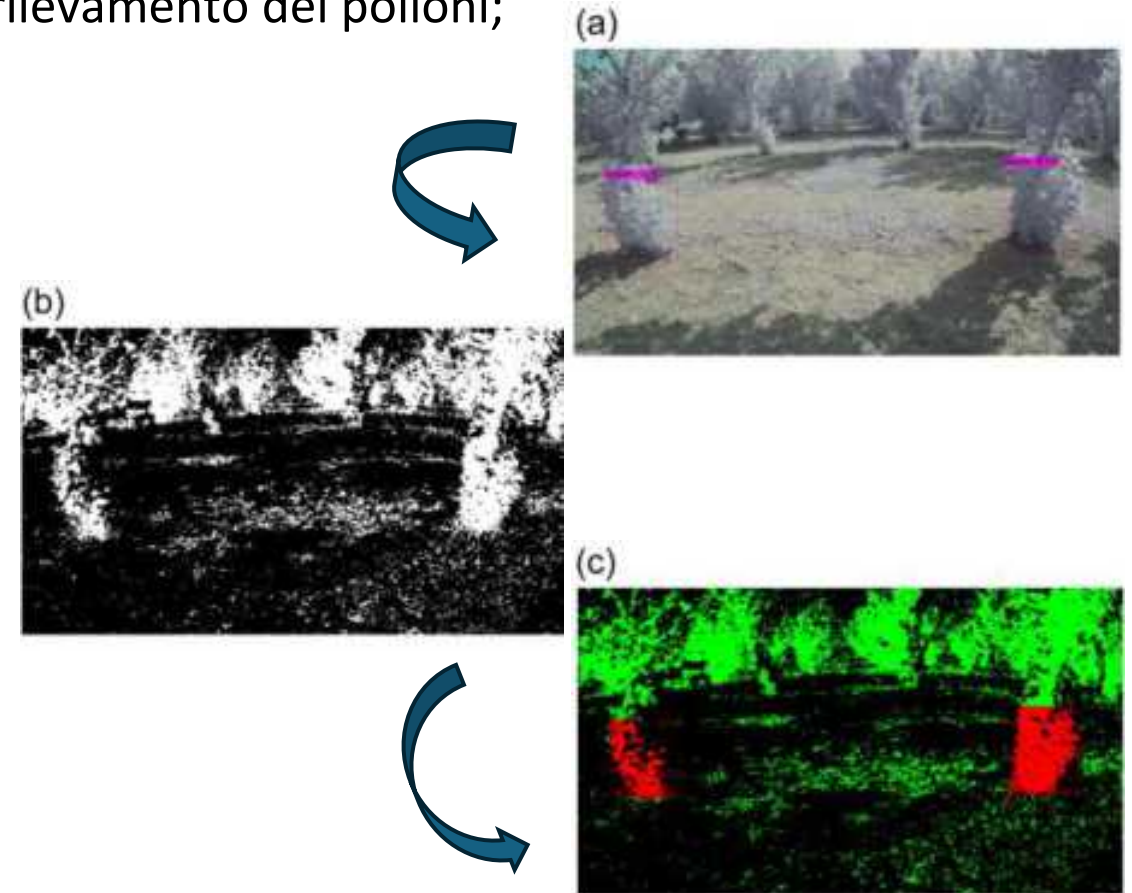


# Controllo polloni

## Rilevamento di polloni (Lippi et al., 2024)



Algoritmo di rilievo e ricostruzione dei polloni e loro superficie, in base a questa, viene stimata la quantità di erbicida necessaria (err. medio del 9%). Precisione media del 79,4% del sistema di rilevamento dei polloni;





# Rilevamento di polloni (Lippi et al., 2024)

Robot che ispeziona gli alberi rileva i polloni, segmentazione e ricostruzione (a).

(a)



(b)



Polloni prima del trattamento (a), dopo due settimane (b) e dopo 1 mese (c).

(a)



(b)



(c)



Dettaglio del pollone ricostruito e della superficie della chioma nonché la quantità di soluzione erbicida da applicare (b).



# Rilevamento precoce di gemme infestate da acaro (galle) (Lippi et al., 2022)

Il sistema si basa su un sistema di monitoraggio guidato (algoritmo YOLO)

**Il sistema è in grado di rilevare le infestazioni di parassiti con una precisione media dell'86,7%.**



a) Spring dataset  $\mathcal{D}_s$



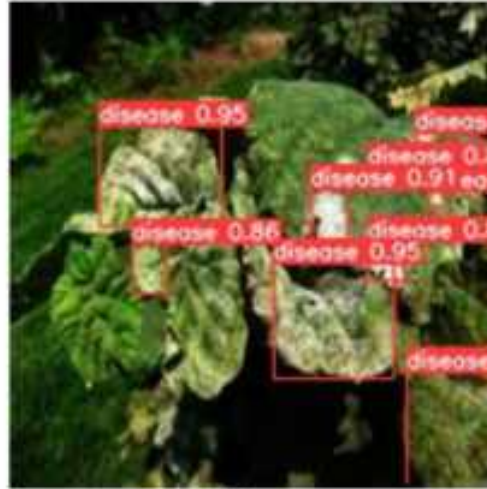
b) Winter dataset  $\mathcal{D}_w$

➡ approccio efficace di gestione integrata dei parassiti, promuovendo un cambiamento verso una gestione del frutteto più sostenibile e rispettoso dell'ambiente.

# Rilevamento di oidio su foglie di nocciolo (Boyar and Yildiz, 2022)



(a)



(b)



(c)



(d)

Riconoscimento foglie sane e superficie di foglie con manifestazione di oidio modello di deep learning YOLOv5

Il dataset composto da 424 immagini, di cui 224 di foglie malate e 200 di foglie sane

Il modello YOLOv5 ha raggiunto un tasso di **accuratezza del 90% nel rilevamento delle foglie malate** e ha mantenuto un'accuratezza dell'**85%** per le immagini con sfondi complessi



# Monitoraggio termico-idrico

## Monitoraggio stato termico utilizzando termometri a infrarossi a basso costo

(McCauley et al., 2024)



9 stazioni meteorologiche a basso costo e open-source (LOCOS) con termometro a infrarossi, microcontrollore Arduino per la registrazione dei dati



**CWSI** (Crop Water Stress Index)

**Vs**

potenziale idrico dello stelo e misure di scambi gassosi

Quando il potenziale idrico del fusto è inferiore a -6 bar, il **CWSI rimane inferiore a 0,2** indicando un basso stress della pianta, con **tassi di conduttanza fogliare** corrispondenti compresi **tra 0,1 e 0,4 mol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>**

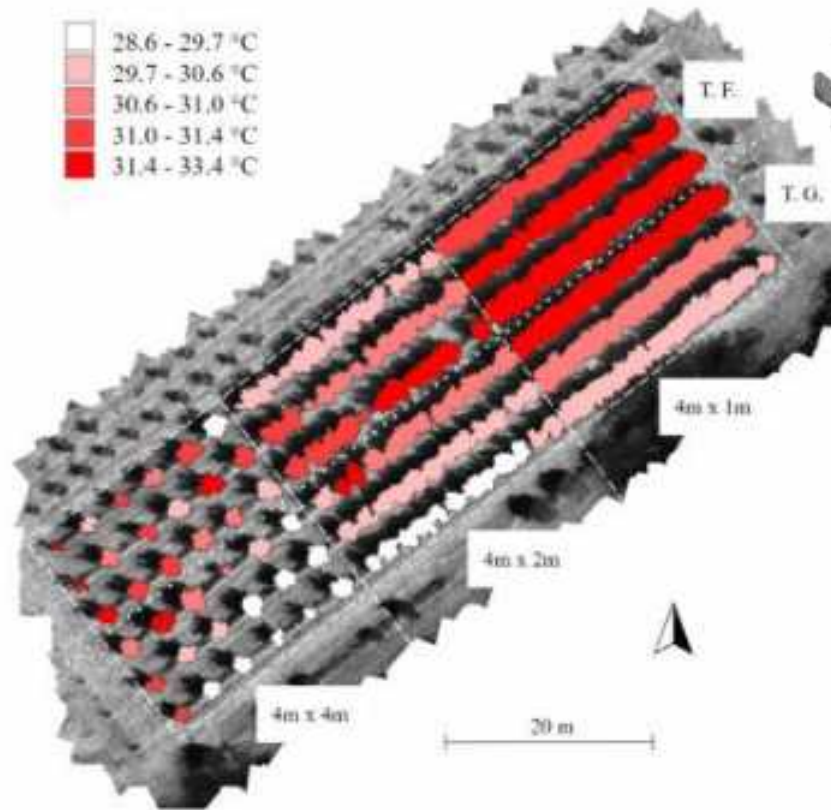
Indicazione per gli agricoltori per il monitoraggio in azienda e il supporto alle decisioni



# Monitoraggio termico-idrico

Monitoraggio stato termico per pilotare l'irrigazione mediante UAV con sensore termico integrato (Vinci et al., 2024)

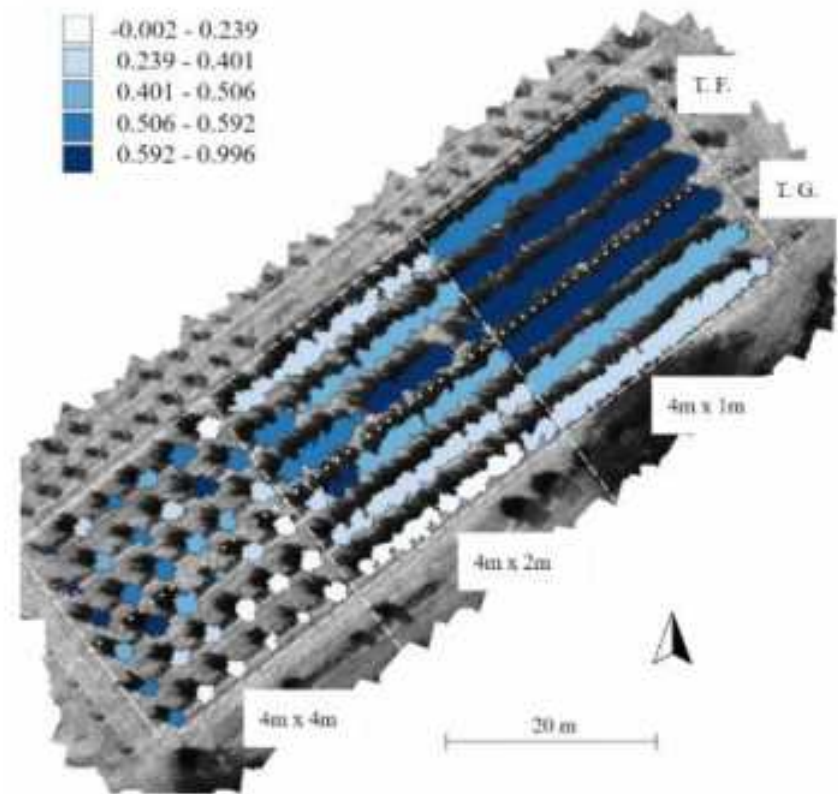
## Mappa termica



DJI Mavic3T



## Mappa CSWI



Due cultivar e  
tre densità di  
impianto  
Mese: luglio

# Erbe infestanti

## Esplorazione dell'uso della corrente elettrica per il controllo delle infestanti nelle nocciole (Moretti et al., 2023)

l'utilizzo della **corrente elettrica ad alta tensione** come metodo non-chimico per il controllo delle infestanti all'interno di noccioleti (*Corylus avellana* L.) negli Stati Uniti, con l'obiettivo di fornire un'alternativa contro le infestanti resistenti agli erbicidi e ridurre l'uso di prodotti chimici

### Risultati:

- **Biomassa infestante:** riduzione fino al **93%**
- **Produzione infiorescenze infestanti:** -93% dopo 56 giorni
- **Miglior efficacia con:**
  - Alta tensione (9 kV)
  - Velocità lenta (< 3,2 km/h)
- **Ricrescita presente** → necessarie **applicazioni ripetute**
- **Nessun danno alle piante di nocciolo**
-  **Rischio incendio** con vegetazione secca



# LIMITI DI APPLICAZIONE

- Dimensioni ridotte dell'azienda agricola
- Eterogeneità dei sistemi colturali
- Costi elevati per ottenere dati altamente specifici
- Complessità della tecnologia che richiede specifiche ed elevate competenze
- Capacità limitata di integrare informazioni provenienti da fonti diverse con varie risoluzioni e intensità
- Poca inclinazione verso il cambiamento/innovazione = abbiamo sempre fatto così = rinnovo generazionale

## Bibliografia

- Altieri, G., Maffia, A., Pastore, V., Amato, M., & Celano, G. (2022). Use of high-resolution multispectral UAVs to calculate projected ground area in *Corylus avellana* L. tree orchard. *Sensors*, 22(19), 7103;
- Boyar, T., & Yıldız, K. (2022). Powdery mildew detection in hazelnut with deep learning. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 9(3), 159-166;
- Di Lena, B., Curci, G., Vergni, L., & Farinelli, D. (2022). Climatic suitability of different areas in Abruzzo, Central Italy, for the cultivation of hazelnut. *Horticulturae*, 8(7), 580.
- Grobler, E., Altieri, G., De Nigris, C., Curcio, D., Maffia, A., Gioia, D., Minervino Amodio, A., & Celano, G. (2025). Assessment of above-ground biomass of individual hazelnut trees by Terrestrial Laser Scanning and MATLAB® analysis – In Submission
- Grobler Elèna, and Giuseppe Celano. "Photogrammetric and LiDAR Scanning with iPhone 13 Pro: Accuracy, Precision and Field Application on Hazelnut Trees." *Sensors* 25.18 (2025): 5629.
- Lippi, M., Carpio, R. F., Contarini, M., Speranza, S., & Gasparri, A. (2022). A data-driven monitoring system for the early pest detection in the precision agriculture of hazelnut orchards. *IFAC-PapersOnLine*, 55(32), 42-47;
- Lippi, M., Santilli, M., Carpio, R. F., Maiolini, J., Garone, E., Cristofori, V., & Gasparri, A. (2024). An autonomous spraying robot architecture for sucker management in large-scale hazelnut

## Bibliografia

- Morisio, M., Noris, E., Pagliarani, C., Pavone, S., Moine, A., Doumet, J., & Ardito, L. (2025). Characterization of Hazelnut Trees in Open Field Through High-Resolution UAV-Based Imagery and Vegetation Indices. *Sensors*, 25(1), 288.
- McCauley, D., Keller, S., Transue, K., Wiman, N., & Nackley, L. (2024). A Crop Water Stress Index for Hazelnuts Using Low-Cost Infrared Thermometers. *Sensors*, 24(23), 7764;
- Moretti, M. L., Wirth, J., & Pedroso, R. M. (2022, September). Exploring electric current for weed control in hazelnuts. In *X International Congress on Hazelnut 1379* (pp. 491-494).
- Pacchiarelli A., 2023. Validation of new sustainable intensification models of hazelnut orchard. PhD thesis, University of Tuscia, 2023.
- Vinci, A., Brigante, R., Traini, C., & Farinelli, D. (2023). Geometrical characterization of hazelnut trees in an intensive orchard by an unmanned aerial vehicle (UAV) for precision agriculture applications. *Remote Sensing*, 15(2), 541;
- Vinci, A., Brigante, R., Traini, C., Facchin, S. L., Portarena, S., Sánchez-Piñero, M., & Farinelli, D. (2024). Monitoring of Water Requirement Using Thermal Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on Intensive Hazelnut Orchard. *Sensors and Electronic Instrumentation Advances*, 70.



## Sitografia

- Relazione progetto MODELLI CIRCOLARI:

<https://sites.google.com/unisa.it/progetto-modelli-circolari/home?authuser=0>

- Mappe di attitudine Regione Sicilia (Progetto AGROSTART):

[https://www.researchgate.net/publication/393630860 Mappe di attitudine per la coltivazione del nocciolo nella Regione Sicilia#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/393630860_Mappe_di_attitudine_per_la_coltivazione_del_nocciolo_nella_Region_Sicilia#fullTextFileContent)



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI SALERNO



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE