



Classe 83  
Caprarola



Associazione Proloco  
di Caprarola



Comune di  
Caprarola



DEPARTAMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E FORESTALI



Ministero della Giustizia



Digital, Innovation, Value, Sustainability

# XVIII ASSISE CAPRAROLA VT SCUDERIE PALAZZO FARNESE

26 AGOSTO\_SABATO ore 9:30  
CONVEGNO

*"I territori della nocciola pronti ad accogliere la sfida dell'agricoltura 4.0:  
un'opportunità di crescita e sviluppo sostenibile"*

**Corilicoltura 4.0: Descrizione del progetto H2020 PANTHEON  
'Precision Farming of Hazelnut Orchards'**

**Valerio Cristofori**

**Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE) – Università della Tuscia**

# Applicazioni di Agricoltura di Precisione (3.0) e/o di Agricoltura Digitale (4.0) alla filiera primaria del comparto corilicolo

- **Agricoltura di Precisione:** valido anche l'approccio di applicazione di strategie di gestione del sistema arboreo tradizionali, non digitalizzate, MA PIU' PRECISE
- **Agricoltura Digitale:** 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 agrirobot sia per predizione/monitoraggio sia per attuazione; personale altamente qualificato (agronomo, ingegnere, data scientist)

**Granularità aziendale (singolo appezzamento; azienda in toto) e/o di comprensorio (sistemi IoT territoriali per aree omogenee)**



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E FORESTALI



D.I.Ver.Sa.  
Digitali, Innovativi, Verdi, Sostenibili

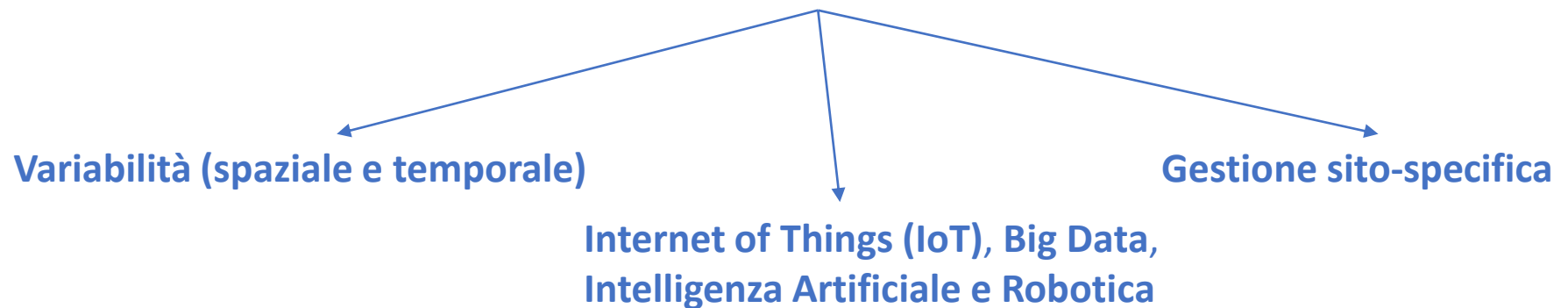
L'**Agricoltura 4.0 (smart agriculture)** è l'ulteriore evoluzione dell'agricoltura di precisione e indica tutti gli interventi che vengono attivati in agricoltura grazie ad **un'analisi precisa e puntuale di dati e informazioni**, raccolti e trasmessi tramite strumenti e tecnologie avanzate.

Si intende tutto il complesso di strumenti e strategie che permettono di utilizzare in maniera sinergica una serie di **tecnologie digitali 4.0** le quali, a loro volta, permettono la **raccolta automatica, l'integrazione e l'analisi di dati** provenienti dal campo, da sensori o da altra fonte terza.

L'obiettivo di queste tecnologie è di offrire **il massimo e più preciso supporto possibile all'agricoltore nel processo decisionale relativo alla propria attività (SSD)** e al rapporto con altri soggetti della filiera.

Lo scopo finale è quello di **aumentare la profittabilità e la sostenibilità economica, ambientale e sociale dei processi agricoli.**

## PAROLE CHIAVE



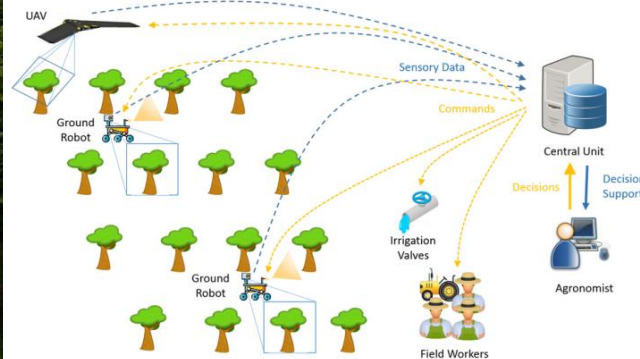
**PANTHEON** sviluppa un nuovo sistema di Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) per la coltivazione di precisione dei nocioleti.

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 nocciuolo. 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 nocciuolo. Il team definisce i requisiti per la gestione robotizzata del nocciuolo. 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.



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E FORESTALI



D.I.Ver.Sa.  
Digitali, Innovativi, Verdi, Sostenibili

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

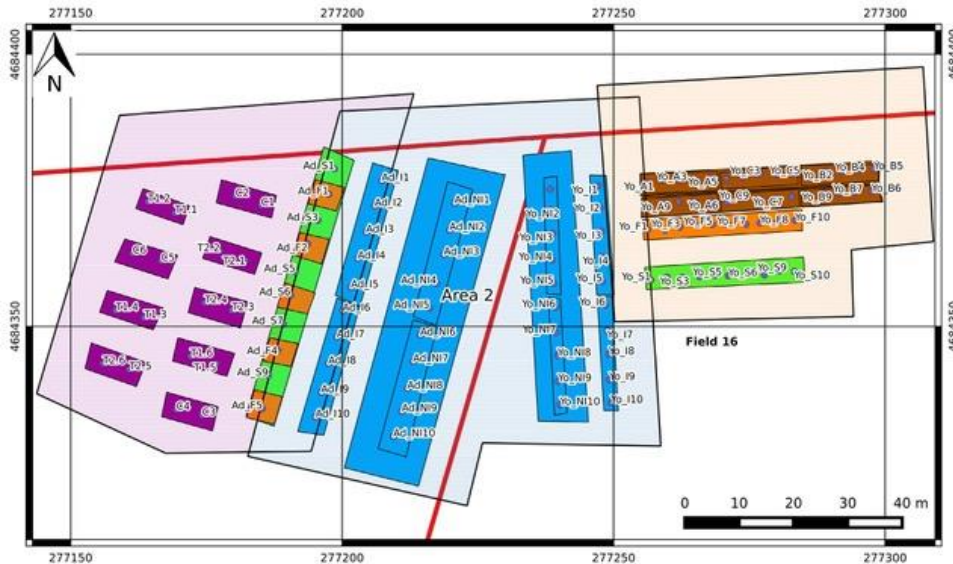
(longitude 12°17'55.17" E, latitude 42°16'47.27" N, altitude 260 m asl)



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



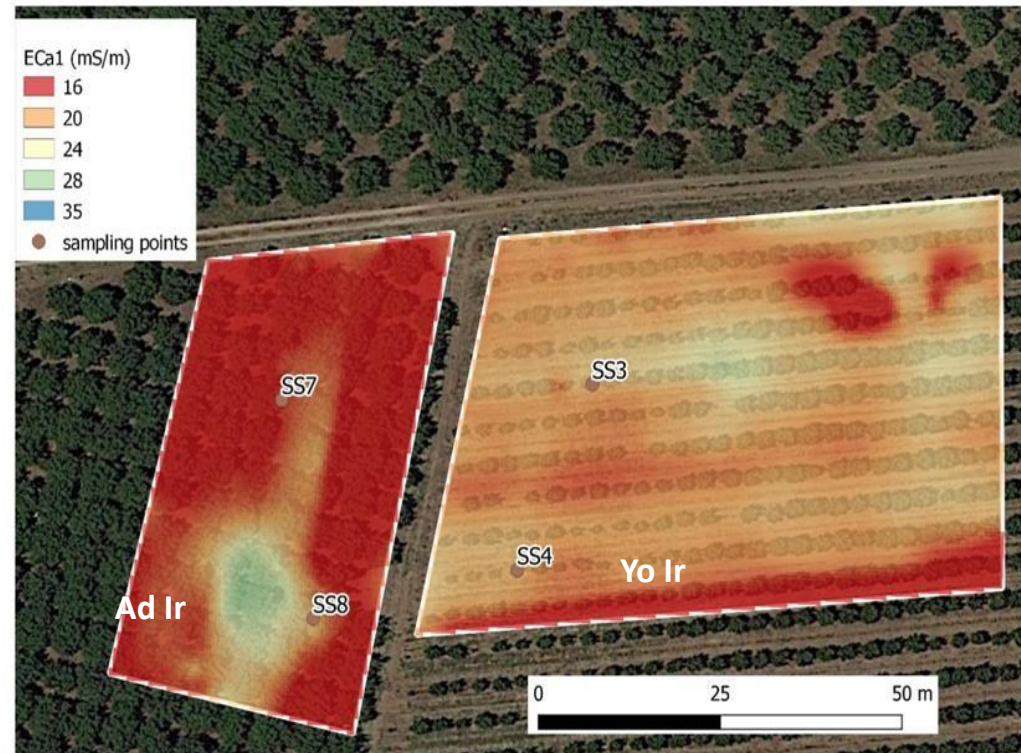
Plot surface (ha)	cultivar	Layout	Plant age (2018)
9.1	Nocchione	4,5 x 3 (744 p/ha)	4



# Soil mapping - Conduttività elettrica apparente

Sensore EMI

Profondità = 0-75 cm

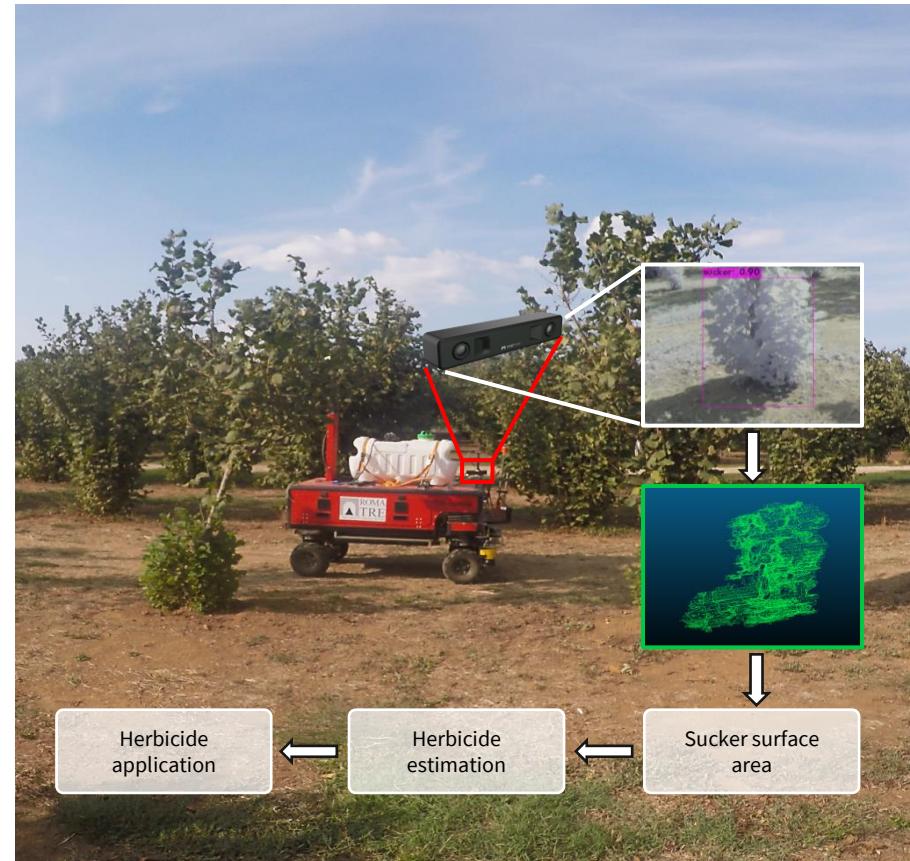


	Topsoil (A horizon) 0-20 cm						Subsoil (B horizon) 20-70 cm						AWC mm/m
	Sand %	Silt %	Clay %	BD g/cm <sup>3</sup>	TOC %	TN g/kg	Sand %	Silt %	Clay %	BD g/cm <sup>3</sup>	TOC %	TN g/kg	
SS3	30.5	39.9	29.6	1.38	1.03	0.15	53.7	30.5	15.9	1.42	0.78	0.13	125
SS4	31.0	41.5	27.5	1.43	1.10	0.16	54.4	28.9	16.7	n.d.	0.80	0.14	123
SS7	26.8	49.5	23.7	1.65	2.11	0.21	27.0	48.9	24.2	n.d.	0.84	0.13	144
SS8	22.1	45.9	32.0	1.40	1.30	0.16	22.0	44.1	33.9	n.d.	0.93	0.14	153

# Panoramica sulla gestione automatizzata dei polloni

## Steps

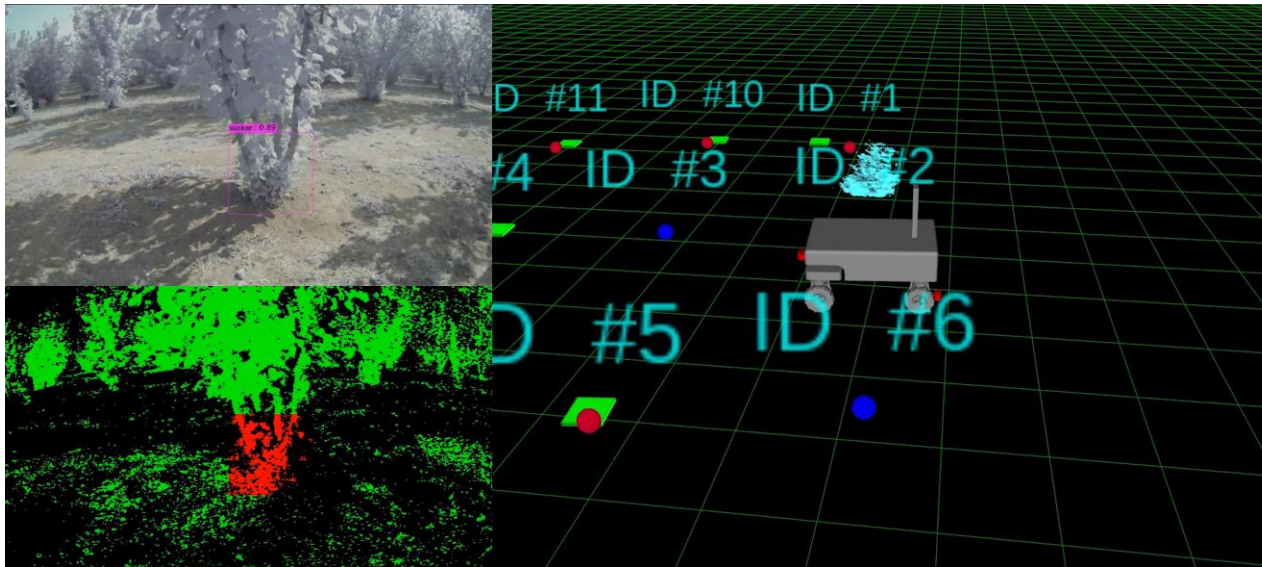
- Rilevamento e segmentazione dei polloni
- Ricostruzione della superficie 3D dei polloni
- Implementazione del protocollo di irrorazione automatica
- Convalida sperimentale





# 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:

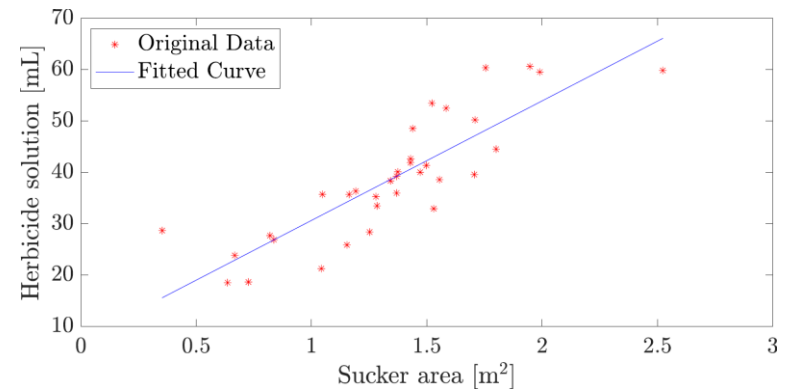
- $h_i$ : Amount of Herbicide
- $A_i$ : Sucker Surface Area
- $h_i^{\max}$ : Maximum Recommended Amount
- $k$ : Proportional Gain
- $c$ : Constant Amount

**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.



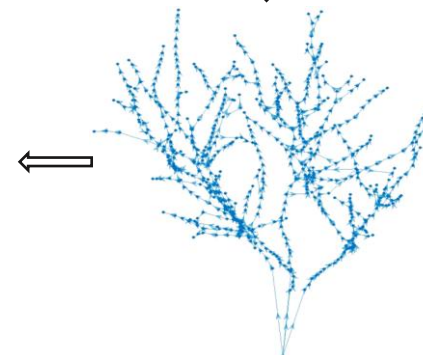
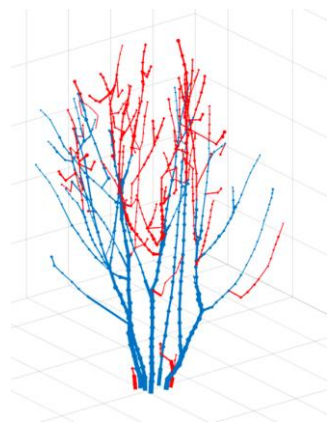
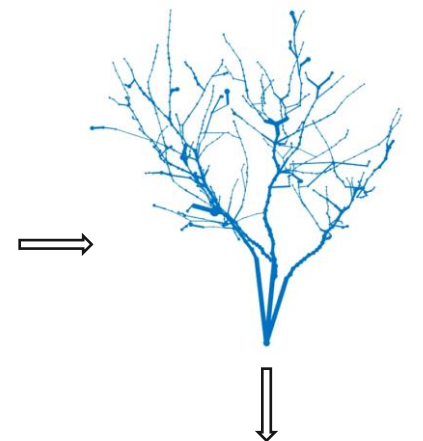
# Pubblicazioni finalizzate

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.

# Protocollo per la potatura automatizzata del nocciolo

## Steps

- Calcolo e ricostruzione della geometria dell'albero di nocciolo in 3D
- Modellazione matematica dell'albero tramite struttura del grafico
- Implementazione del protocollo dei suggerimenti di potatura
- Validazione sperimentale ed agronomica



Piante prima della potatura per implementazione forme allevamento (January 2019)



Piante dopo la potatura per implementazione forme allevamento (February 2019)



Cespuglio policaule



Cespuglio simmetrico  
a 4 branche



Alberello



## Piante prima della potatura annuale (January 2020)



## Piante dopo la potatura annuale (February 2020)



Cespuglio policaule

Cespuglio simmetrico  
a 4 branche

Alberello

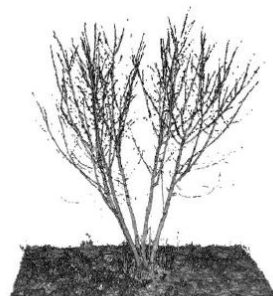
# Scannerizzazione 3D con impiego di UGV scans prima e dopo la potatura (2020)



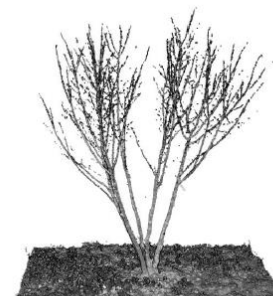
# 3D point-cloud acquisition: February 2020

Cespuglio policaule  
(thesis C)

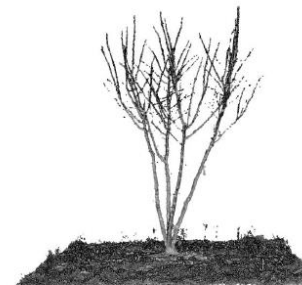
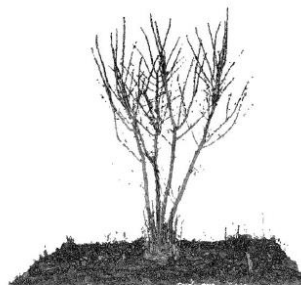
Ante potatura



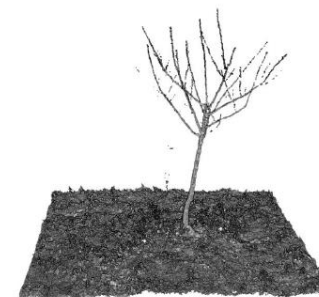
Post potatura



Cespuglio simmetrico a 4 branche  
(thesis A)

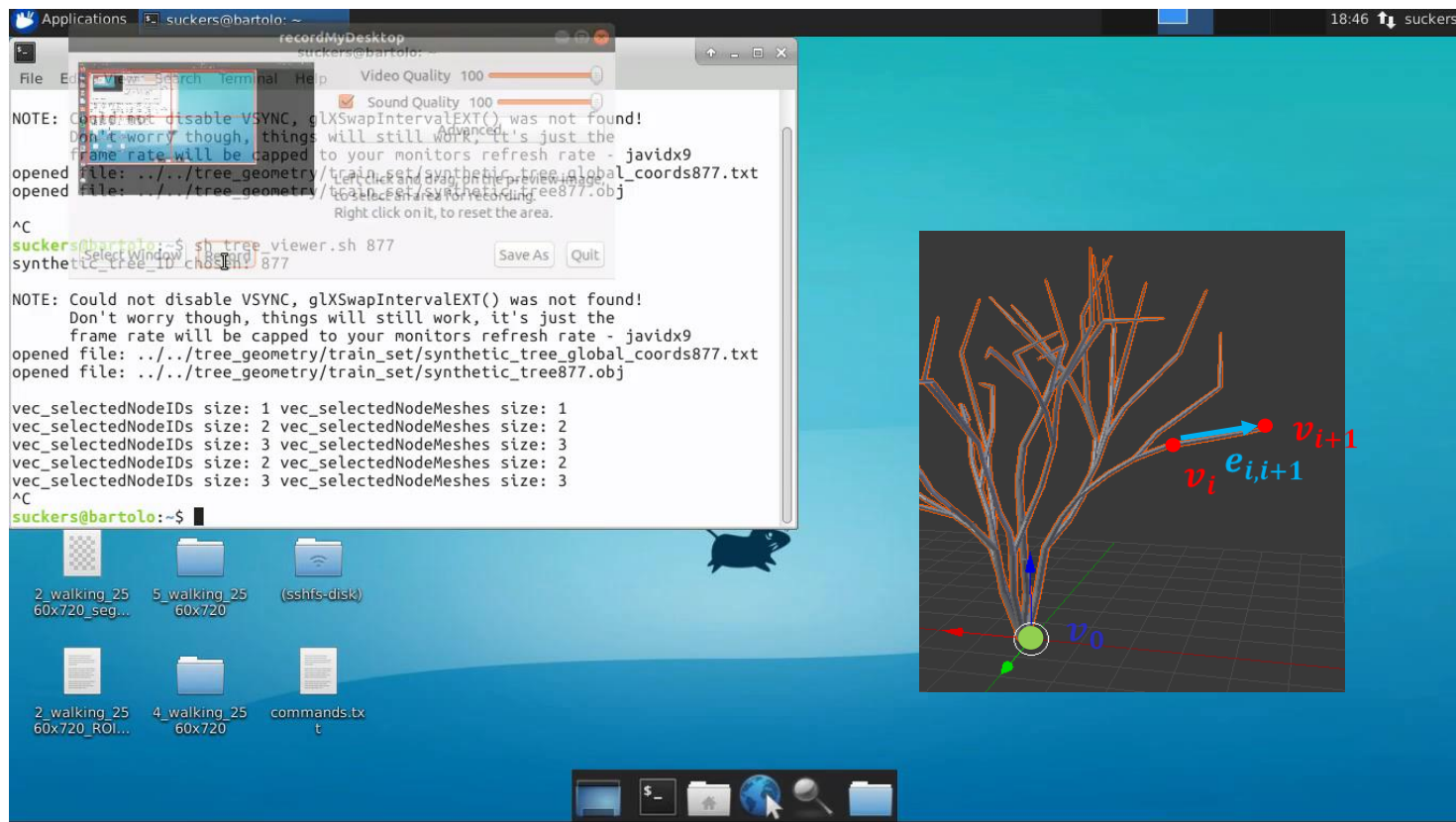


Alberello  
(thesis B)



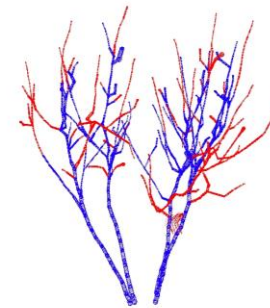
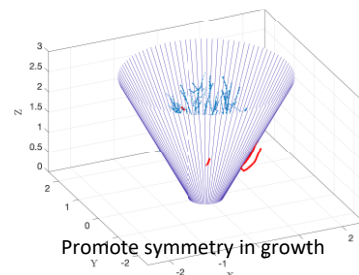
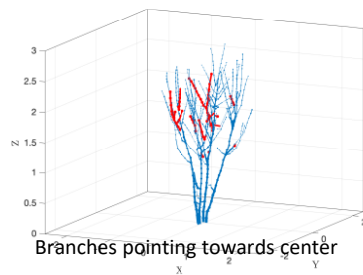
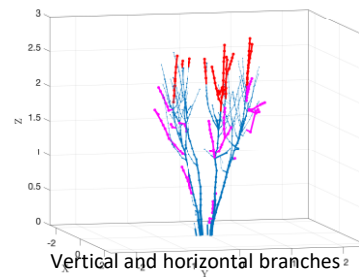
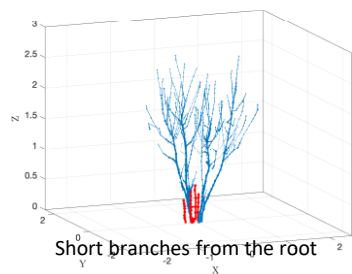
# Attività di Machine Learning

Migliaia di alberi sintetici sono stati generati dall' algoritmo sviluppato e potati virtualmente in rami principali e secondari dal team di agronomi UNITUS utilizzando un software appositamente sviluppato dal team di ingegneri UNIROMA3.

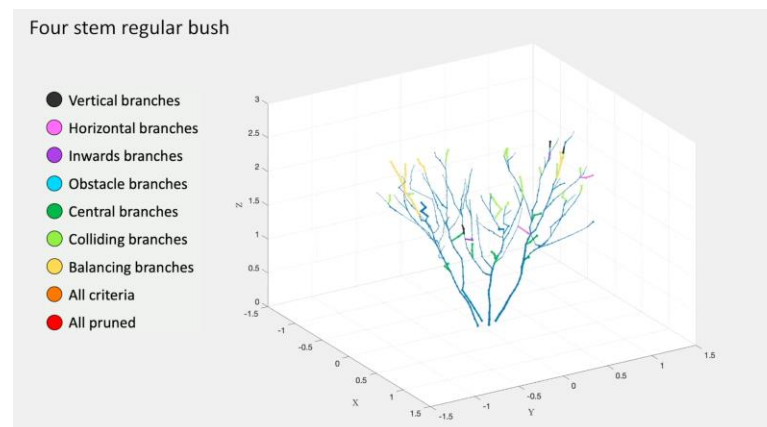
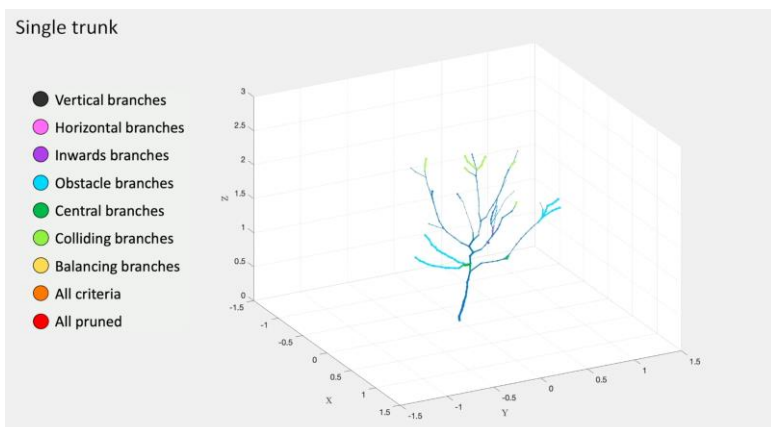
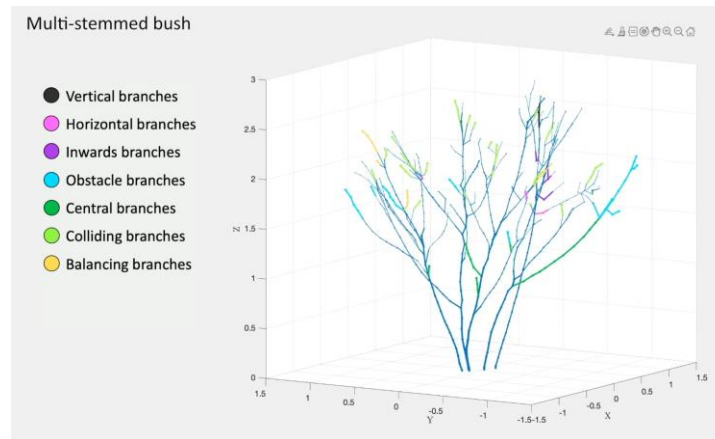


# Selezione delle branche da tagliare

Il protocollo si basa sui principi fondamentali delle pratiche di potatura all'avanguardia secondo le esigenze ecofisiologiche della pianta



# Potatura manuale basata su suggerimenti dell' algoritmo per interventi automatizzati



**Etichettatura dei rami  
(seguendo le linee guida  
dell' algoritmo  
sviluppato)**



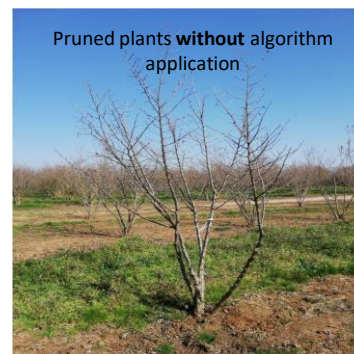
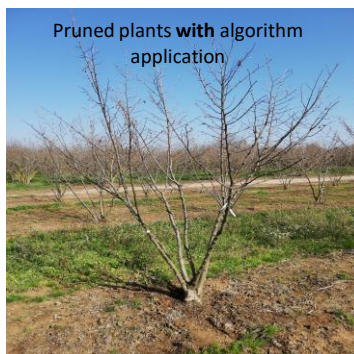
**Potatura dei rami  
(seguendo le linee guida  
dell' algoritmo  
sviluppato)**



# Validazione agronomica

**La validazione agronomica è stata effettuata durante la stagione di crescita 2021**

- Le forme della pianta
- Tempo di potatura
- Biomassa potata per le piante trattate con e senza l'algorithm proposto



Cespuglio policaule



Cespuglio simmetrico a 4  
branche

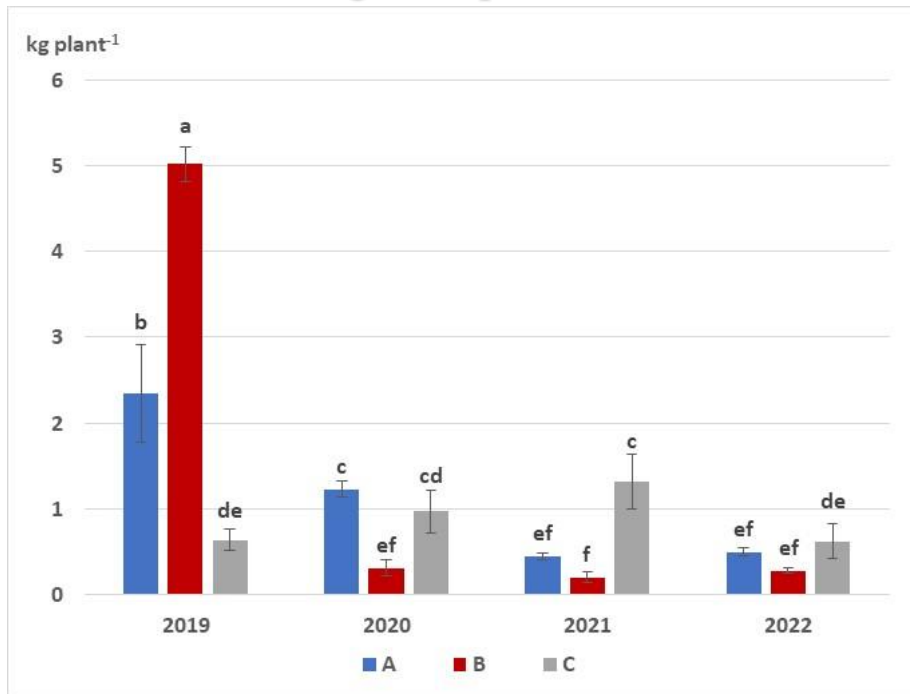


Alberello



# Valutazioni agronomiche

## Legno di potatura

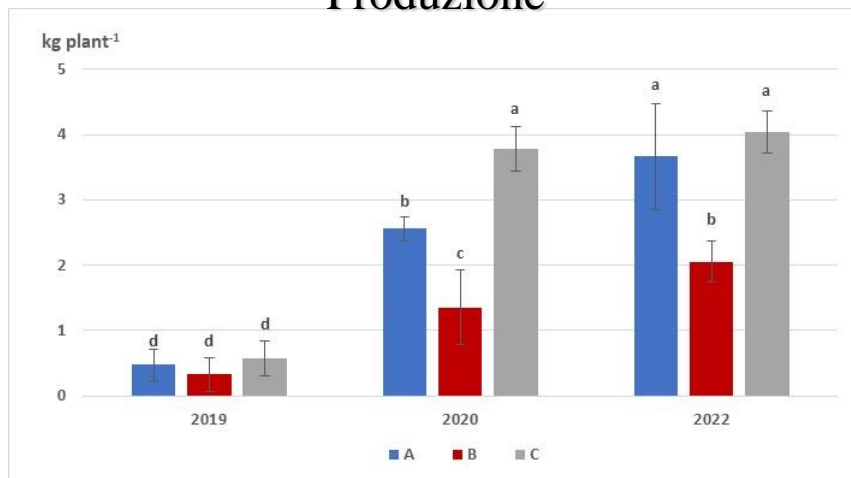


A = Cespuglio simmetrico a 4 branche

B = Alberello

C = Cespuglio policaule a 4 branche

## Produzione



# Pubblicazioni finalizzate

1. **Cristofori V.**, Silvestri C., Pacchiarelli A., Santilli M., Carpio R.F., Gasparri A., 2022. Pruning practices in European hazelnut: from plant shape and planting layout to mechanical pruning and precision agriculture. X International Congress on Hazelnut, 5-9 September 2022, Corvallis (OR), USA. *Acta Horticulturae 2023*, in press.
2. M. Santilli et al., “An Automatic Pruning Suggestion Protocol for Large-scale Hazelnut Orchards”, In preparation for *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE)*



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DELLA  
**TUSCIA**

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E FORESTALI



**PANTHEON**  
SCADA for Agriculture



**D.I.Ver.Sa.**  
Digitali, Innovativi, Verdi, Sostenibili