

Le nuove sfide

dell'orticoltura di pieno campo italiana

Innovazione · Digitalizzazione · Sostenibilità

Elia Antonio, Università di Foggia



Sommario

01

Pressioni e sfide

Perché innovare oggi

02

Leggere la variabilità

Il problema agronomico centrale

03

Sensing remoto e prossimale

Dal satellite al campo

04

Acqua e DSS

Sistemi di supporto alle decisioni

05

IoT e automazione

Infrastruttura digitale

06

Robotica

Azioni mirate

07

Conclusioni

Take-home message



01

Pressioni e sfide

Le nuove tensioni sul sistema orticolo

Le nuove pressioni sul sistema orticolo



Cambiamento climatico

Temperature, siccità, eventi estremi più frequenti e intensi



Aumento costi

Energia, fertilizzanti e acqua: pressione su margini sempre più stretta



Carenza manodopera

Disponibilità in calo, costo crescente, turni difficili da coprire



Richiesta di sostenibilità

Mercato e normative chiedono tracciabilità e riduzione degli impatti



Competizione globale

Mercati aperti, concorrenza su costi e qualità da ogni latitudine

Digitalizzazione: perché innovare oggi

01 Produrre di più con meno

Ridurre input e sprechi su tutta la filiera produttiva

02 Resilienza e competitività

Adattarsi a condizioni variabili e mercati globali

03 Qualità e tracciabilità

Rispondere alle richieste di mercato e normative ESG (Environmental, Social and Governance)

04 Agricoltura predittiva

Anticipare problemi prima che diventino perdite

Digital Twin, Precision Farming e Agricoltura 4.0 / 5.0



Precision Farming (Agri 4.0)

Il Digital Twin è lo strumento chiave del Precision Farming: aggrega tutti i layer informativi (suolo, clima, coltura, macchine) in un unico modello coerente.

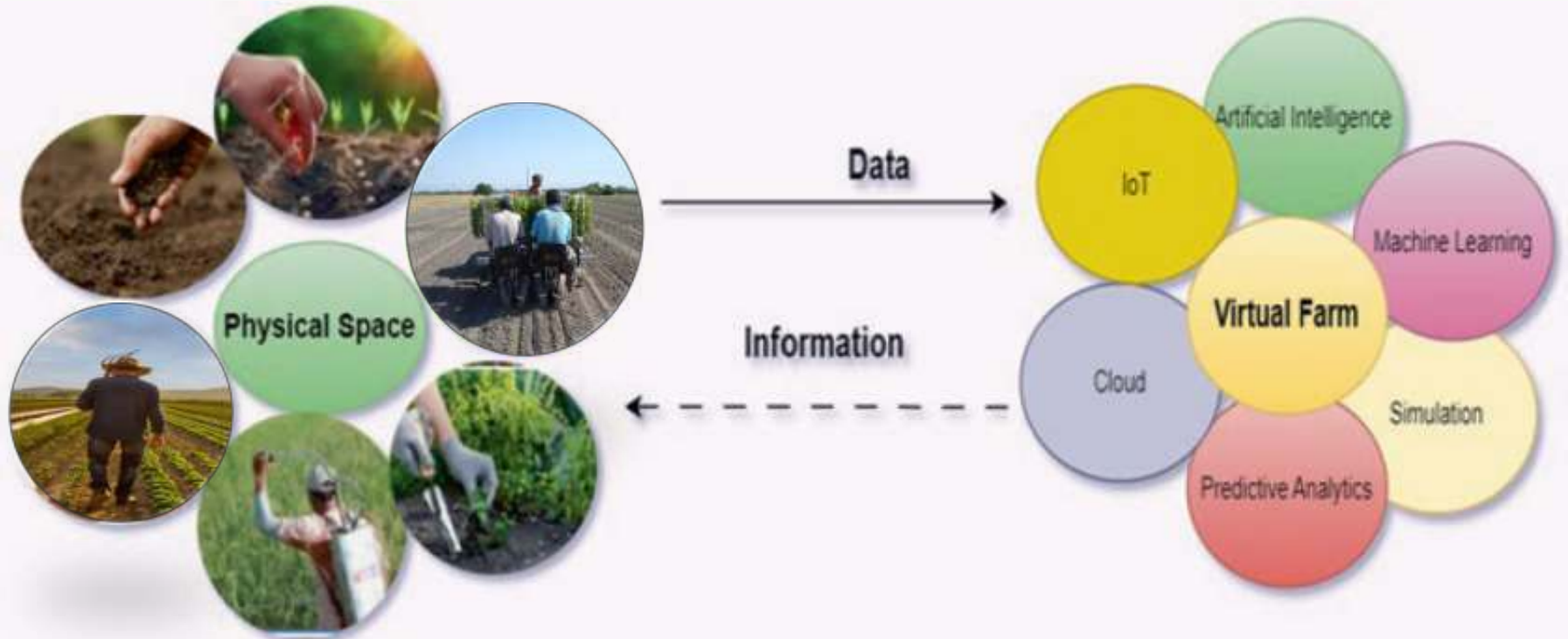
- Variabilità spaziale gestita parcella per parcella
- Prescrizioni automatiche (VRA — Variable Rate Application)
- Integrazione con macchine connesse e guida autonoma

Verso l'Agricoltura 5.0

L'Agri 5.0 aggiunge al 4.0 la centralità dell'agricoltore: il Digital Twin non decide al posto suo, ma simula scenari e lo supporta in decisioni complesse.

- Sostenibilità come obiettivo primario (non solo efficienza)
- Integrazione con Carbon Farming e bilancio emissioni
- Human-AI collaboration: il gemello spiega, non solo prescrive

Il digital twin



I driver

Driver istituzionali per i Digital Twin in Agricoltura

EU Unione Europea

PAC 2023–2027

digitalizzazione e innovazione: Obiettivo trasversale (SM possono finanziare tecnologie digitali con Piani Strategici)

Green Deal / Farm to Fork

I digital twin la riduzione di input chimici e il monitoraggio ambientale, in linea con gli obiettivi al 2030.

EU Data Act + CEADS

Condivisione equa dei dati agricoli (in vigore 2025). Il Common Eu. Agricultural Data Space è infrastruttura chiave per i DT.

Strategia Digitale UE 2024–2029

Lancio imminente di una EU Digital Strategy for Agriculture. Priorità agli investimenti lungo tutta la filiera agroalimentare.

IT Italia – PNRR

Centro Nazionale Agritech

~320 M€ (PNRR M4C2). Coord. UniNA. Include lo Spoke 6: sistemi agricoli sostenibili e tecnologie abilitanti.

Transizione 4.0

Crediti d'imposta su investimenti in digit. I sistemi DT connessi a IoT/sensori tra i beni Industry 4.0 agevolabili.

Obbligo registro digitale (2027)

Dal 1/1/2027 registro dei trattamenti in formato digitale obbligatorio: driver normativo verso la digital. aziendale.

S3 / Fondi di coesione

Le Smart Specialisation Strategy 2021–2027 delle Regioni includono l'agritech tra le aree prioritarie di investimento.



Mercato & Trend

+9% (2025)

Mercato italiano agritech a 2,5 Mld €. DSS +26%, software gestionali +17%. Segnale di trasformazione strutturale (Osservatorio Smart AgriFood, Politecnico di Milano e Università di Brescia, 2026).

Agriculture of Data (HE)

Partnership Horizon Eu. (ott. 2025) budget 300 M€ su 7 anni. Finanzia soluzioni data-driven scalabili, incluso il DT. (DG AGRI 2025)

Richieste dei tecnici

La sfida dei DT interoperatività, validazione, accessibilità e integrazione nei processi decisionali delle aziende agricole.

Digital Twin

in agricoltura

Una replica digitale dinamica di un sistema agricolo reale — campo, coltura, ambiente — che si aggiorna in tempo reale grazie a sensori e dati.



Mondo reale ↔ Modello digitale

COME FUNZIONA

I 3 pilastri del Digital Twin agricolo



Acquisizione dati

Sensori IoT, immagini satellitari, droni e stazioni meteo alimentano continuamente il modello con dati reali: umidità, temperatura, NDVI, irrigazione.



Modello predittivo

Algoritmi e AI simulano la crescita della coltura, lo stress idrico e l'insorgenza di malattie prima che si manifestino in campo.



Decisioni ottimali

L'agricoltore riceve indicazioni precise su quando e quanto irrigare, fertilizzare e intervenire, riducendo sprechi e aumentando la resa.



Obiettivo: ottimizzare ogni decisione agronomica con dati in tempo reale, non più a intuito.

Il Digital Twin in un'azienda orticola



Gestione idrica

Il gemello simula l'evapotraspirazione e il contenuto idrico del suolo per ogni parcella, attivando l'irrigazione solo quando necessario.



Monitoraggio coltura

Modelli di crescita fenotipica simulano lo sviluppo delle piante giorno per giorno, confrontando il reale con il previsto.



Allert fitosanitario

Integrando meteo e dati storici, il sistema prevede condizioni favorevoli a patogeni prima dell'infezione.



Pianificazione trapianti

Simula scenari di semina/trapianto in anticipo, ottimizzando la finestra di raccolta e la rotazione colturale.



Previsione raccolta

Stima la resa attesa per lotto e settimana, aiutando la logistica, la pianificazione dei mercati e la contrattazione.



Nutrizione di precisione

Integra analisi del suolo, fabbisogni della coltura e dati NDVI per modulare la fertirrigazione in modo sito-specifico.



Il Digital Twin non sostituisce l'agronomo: amplifica la sua capacità decisionale con dati strutturati e simulazioni predittive.

Perché vale l'investimento



-30%

consumo idrico

ottimizzazione irrigazione sito-specifica



-25%

uso fitofarmaci

trattamenti solo dove e quando necessario



+15%

produzione per ettaro

riduzione stress e ottimizzazione nutrizionale



-20%

perdite post-raccolta

migliore previsione e gestione logistica



Tracciabilità completa del ciclo culturale



Supporto alle certificazioni (GlobalG.A.P., Bio)



Resilienza ai cambiamenti climatici



Accesso a incentivi PSR / Agri 4.0

Da dove si inizia? Percorso di adozione per l'orticoltura

01



Infrastruttura dati

- Stazione meteo in campo
- Sensori umidità suolo
- Connettività IoT (LoRa/4G)
- Accesso a immagini satellitari

02



Piattaforma digitale

- Software di gestione aziendale
- Storico dati colturali
- Mappe di variabilità (suolo/resa)
- Integrazione macchinari

03



Modello predittivo

- Calibrazione modelli di crescita
- Integrazione dati meteo locali
- Algoritmi stress idrico e fitosanitario
- Validazione su parcelle pilota

04



Operatività e scaling

- Prescrizioni automatizzate VRA
- Dashboard decisionale integrata
- Estensione a tutta l'azienda
- Monitoraggio KPI e ROI

Fase iniziale (6-12 mesi)

Fase avanzata (12-24 mesi)

Cos'è davvero un Digital Twin — e cosa non lo è

✗ Solo monitoraggio



Sensore in campo

misura temperatura, umidità



App / Dashboard

mostra i dati su uno schermo



Leggo il dato

decido io, con la mia esperienza

Passivo: fotografa il presente.

Non simula, non prevede, non suggerisce.

VS

✓ Digital Twin



Dati multi-sorgente

sensori + meteo + satellite + storico

↕ *bidirezionale*



Modello vivo della coltura

calibrato sulla tua azienda, si aggiorna in continuo



Simula scenari futuri

"se non irriego domani, qual è lo stress idrico previsto?"



Prescrive l'azione

quando, dove, quanto — con spiegazione del perché

Attivo: capisce il presente, simula il futuro, indica l'azione ottimale e spiega il ragionamento.

Il Digital Twin non è un'app con un cruscotto: è un modello agronomico calibrato sulla tua azienda, che gira in continuo sui tuoi dati reali.



02

La sfida: comprendere la variabilità

Il problema agronomico centrale

La variabilità: il vero problema agronomico

Suolo e coltura non sono uniformi

La variabilità spaziale e temporale genera inefficienze quando si applica una gestione uniforme a tutto il campo.

La agricoltura di precisione nasce per gestire questa eterogeneità, agendo in modo sito-specifico.

Spaziale

Eterogeneità pedologica e colturale/gestionale nel campo

Temporale

Fluttuazioni stagionali e interannuali



Monitoraggio

Dati real-time per decisioni tempestive

Azioni sito-specifico

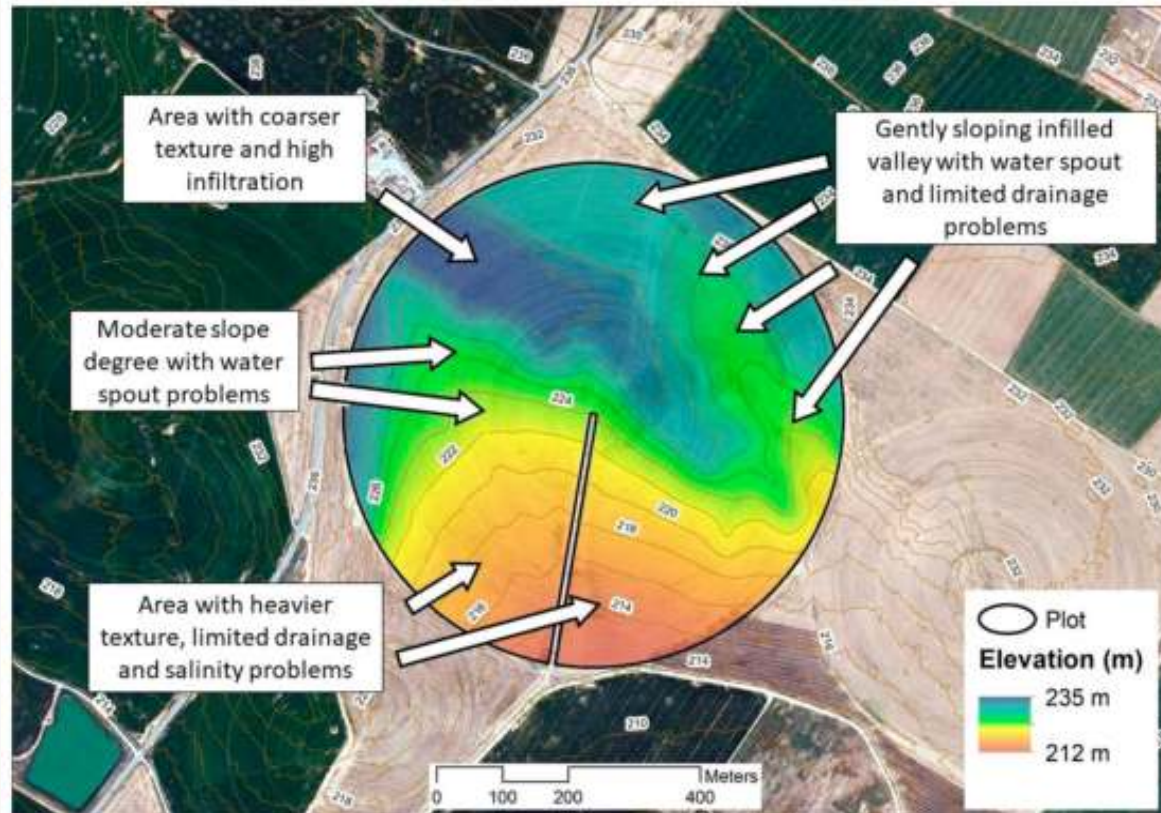
Variable Rate Application (VRA) e possibilità di gestione specifica per aree omogenee



La variabilità: il vero problema agronomico

- Suolo e coltura non sono uniformi
- Stress e fertilità cambiano nello spazio
- La gestione uniforme genera inefficienze
- L'agricoltura di precisione gestisce la variabilità

L'orografia: uno dei principali fattori a creare variabilità



From: Martínez-Casasnovas, et al. 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture8060084>

Conoscere la variabilità del terreno

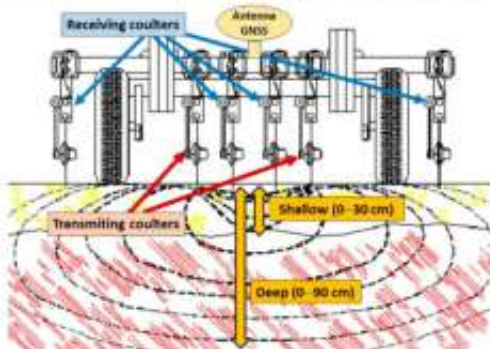


Fig. 6.12. EM-38 sensor, and electromagnetic sensor, courtesy of Geonics, Ltd., Mississauga, ON.



INTERRA®Scan

D.W. Franzen. 2018. Soil Variability and Fertility Management.
Book Editor(s):D. Kent Shannon, David E. Clay, Newell R. Kitchen
<https://doi.org/10.2134/precisionagbasics.2016.0091>Digital Object Identifier (DOI)

<https://www.syngenta.it/diagnostica-aziendale>

INTERRA® SCAN: L'OUTPUT!!!



Elementi Standard

- *pH*
- *Azoto*
- *Fosforo*
- *Potassio*
- *Magnesio*

Tessitura del Terreno

- *% Sabbia*
- *% Limo*
- *% Argilla*
- *Struttura*
- *Limo/Argilla*

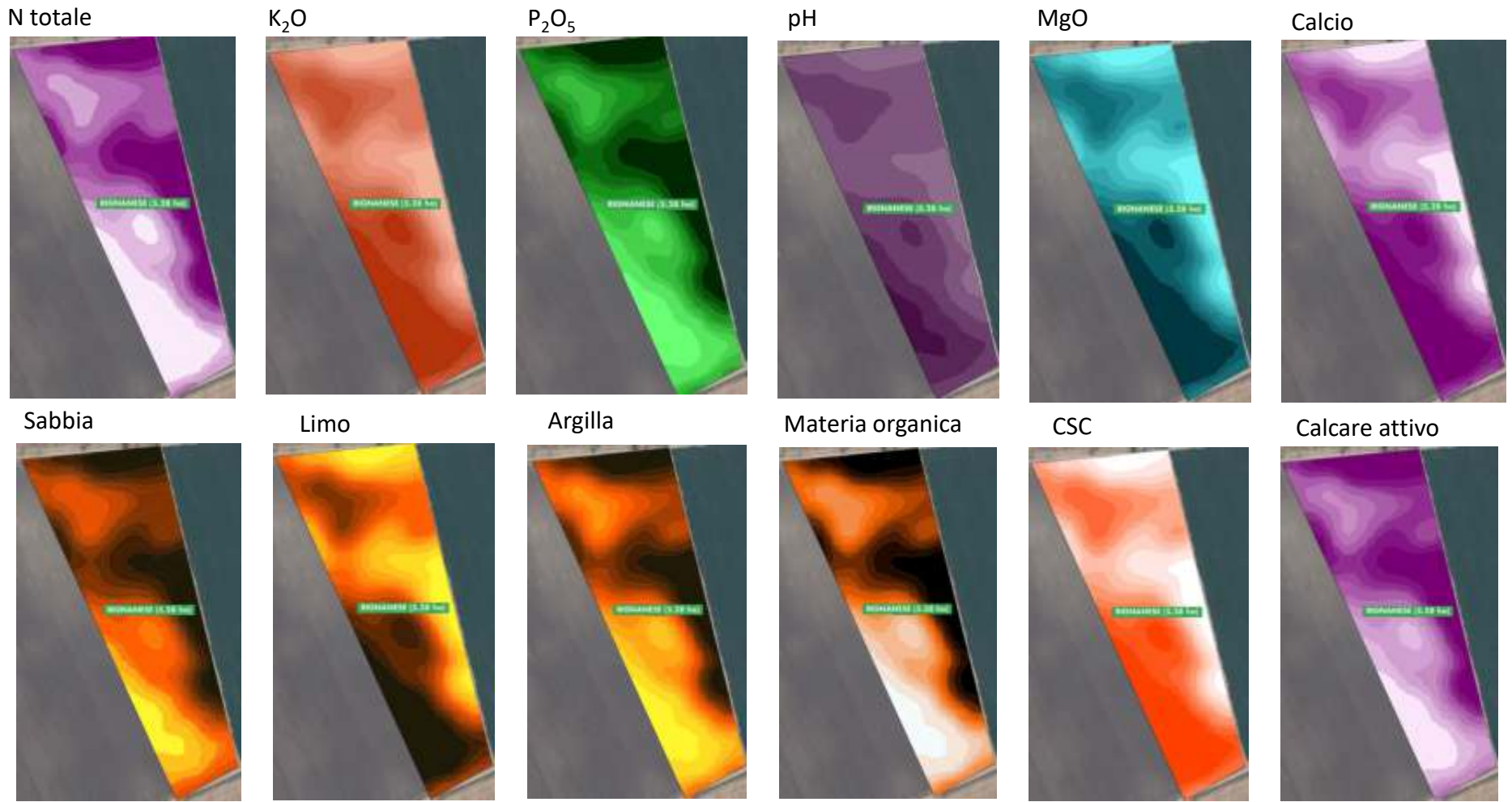
Altre Caratteristiche

- *Sostanza Organica*
- *Carbonio Organico*
- *CA/COT*
- *Indice Acqua disponibile*
- *CSC*
- *Topografia*

Elementi Aggiuntivi

- *Rame*
- *Molibdeno*
- *Manganese*
- *Sodio*
- *Zinco*
- *Boro*
- *Zolfo*
- *Calcio*
- *Ferro*

Un caso reale: un'azienda di oltre 5 ettari in Capitanata



Creazione delle “management zones” · dalla mappa alla decisione

1

Mappe di resa

Dati storici GPS da
raccoltrice

2

Orografia

Pendenze,
stratigrafia,
profondità falda

3

Sensori EC/EM/InterraScan

Elettroconduttività e
altre caratteristiche
chimico-fisiche suolo

4

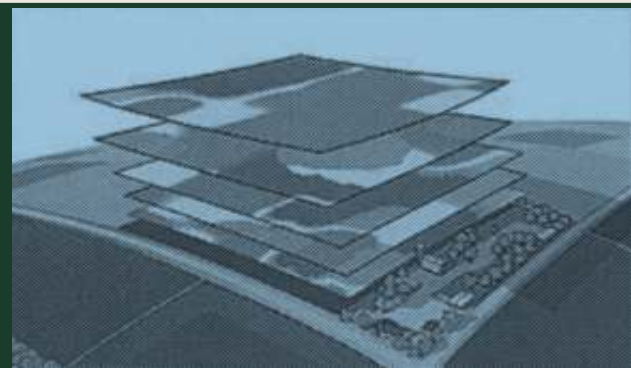
GIS + clustering

Zonazione
automatica
multivariata



Risultato: zone omogenee di gestione della fertilizzazione

- Differenze di resa e fertilità messe in mappa
- Base per applicazione a rateo variabile (VRA) per la concimazione
- Riduzione degli sprechi e ottimizzazione degli input





03

Leggere la variabilità con Sensing Remoto e Prossimale

Dal satellite al campo, dalla riflettanza allo stress fisiologico per decisioni data-driven

Indici Vegetazionali · leggere la coltura dall'alto (satellite, UAV)

NDVI

Biomassa e vigore vegetativo

Correlato alla copertura fogliare e alla fotosintesi attiva

NDRE

Azoto e contenuto di clorofilla

Sensibile allo stato nutrizionale, specie nelle orticole

NDWI

Stress idrico e contenuto d'acqua

Individua deficit idrici prima della comparsa di sintomi visibili



Stress detection ante-sintomatica → interventi tempestivi → riduzione perdite produttive → verso un'agricoltura predittiva

Proximal sensing · suolo e pianta a contatto diretto

Sensori vegetativi

Riflettanza (indici vegetazionali)

Biomassa e struttura vegetativa · analisi di vigore e uniformità

Fluorescenza

Stress fotosintetico precoce · rilevamento ante-sintomatico

Termico

Temperatura del chioma · proxy di stress idrico

Sensori del suolo

Tensiometri

Tensione idrica nel suolo · soglie operative per irrigazione

Capacitivi (FDR/TDR)

Contenuto volumetrico d'acqua · alta frequenza di misura

Implicazioni

Dato puntuale $\neq$ media del settore · calibrazione sito-specifica obbligatoria

Sensori di umidità del terreno: pro e contro



agronomy

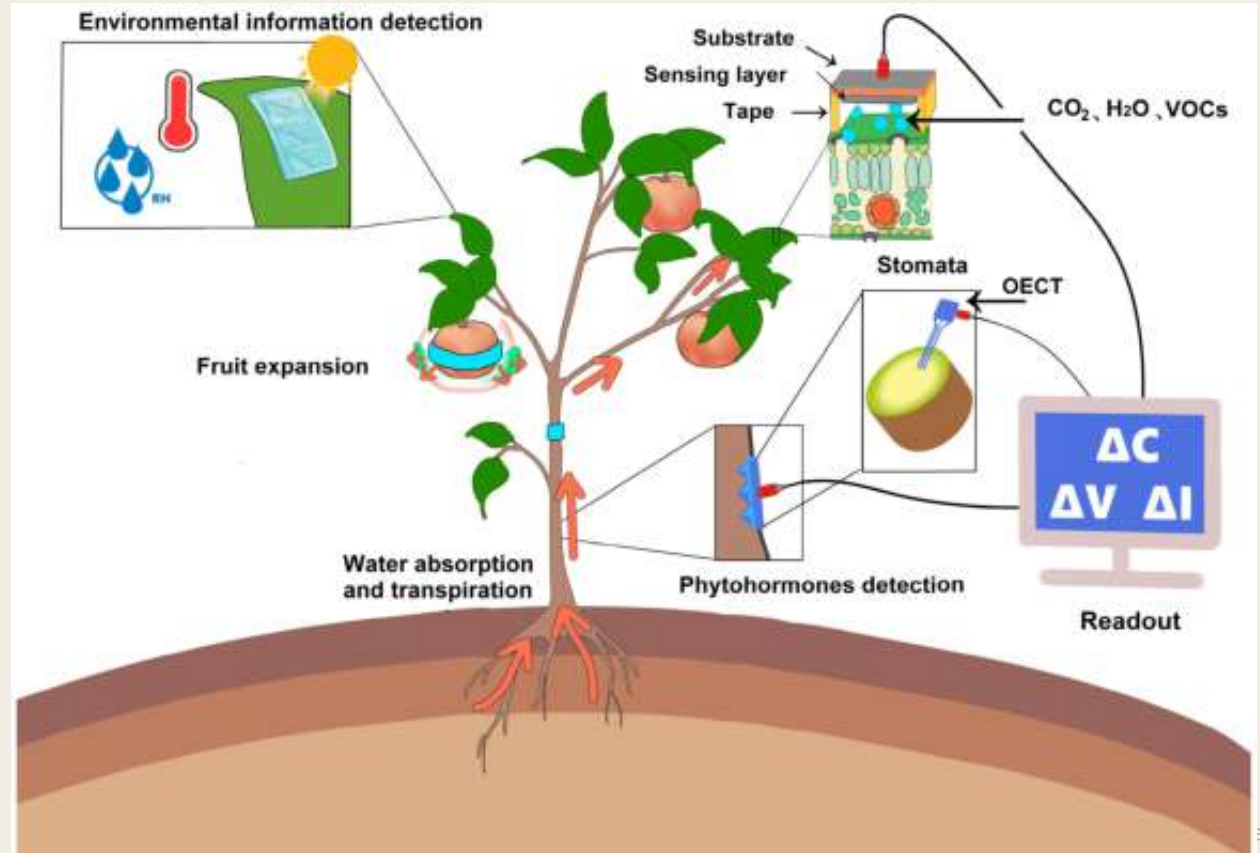


Review

Soil Moisture Sensing Technologies: Principles, Applications, and Challenges in Agriculture

Danilo Loconsole ¹, Michele Elia ^{2,*}, Giulia Conversa ^{1,*}, Barbara De Lucia ², Giuseppe Cristiano ²
and Antonio Elia ¹

Sensori “indossabili” dalla pianta





04

Acqua e Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS)

Dalla modellistica all'irrigazione intelligente

L'acqua diventa un dato

Irrigazione basata su evidenza

Non più a calendario o per esperienza, ma su misure oggettive di suolo e clima

Bilancio idrico FAO-56

ET_0 ed ET_c , K_c duali dinamici per fase fenologica, stima dell'evapotraspirazione reale



Ottimizzazione dell'uso

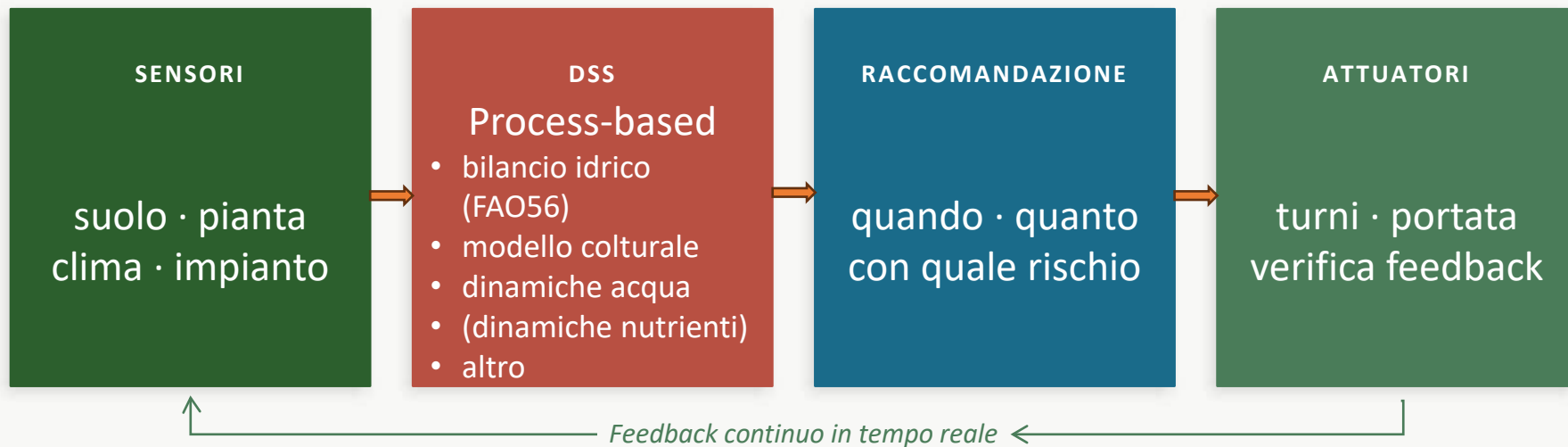
Riduzione sensibile degli sprechi idrici · efficienza per risorsa scarsa

Monitoraggio in tempo reale

Risposta immediata a variazioni climatiche e di stato del suolo



Il digital irrigation loop · come funziona un DSS



Model-based

**Calibrazione e validazione
indispensabile**

Sensor-based

Aderenza alla condizione
effettiva di campo in real-
time

Integrato

Sensori + modello +
feedback: decisione
contestualizzata

DSS: promessa forte, fiducia fragile



Black box

Parametri, Kc, soglie e assunzioni spesso poco trasparenti per l'operatore



Validazione debole

Dimostrazioni pilota non equivalgono a test multi-anno e multi-località



Diffidenza asimmetrica

Un consiglio errato è visibile subito; i benefici si vedono nel tempo

Condizioni per il successo dei DSS · cosa non può mancare



Dato di qualità prima di tutto

Nessun DSS o algoritmo compensa dati di campo limitati. Calibrazione, rappresentatività territoriale e continuità del dato sono prerequisiti non negoziabili.



Validazione agronomica rigorosa

Dimostrazioni pilota non bastano. Servono test multi-anno, multi-sito, su colture reali. Il campo è il giudice finale.



Human-in-the-loop

La tecnologia supporta la decisione, non la sostituisce. L'agronomo e l'agricoltore mantengono il controllo e la responsabilità operativa.



Integrazione, non somma di strumenti

Sensori, DSS, macchine e cloud creano valore solo se parlano tra loro e chiudono il ciclo: dato → consiglio → azione → verifica.



La tensione reale

Complessità vs adozione

Più parametri migliorano la simulazione ma scoraggiano l'uso. La complessità deve stare dietro le quinte.

Fiducia asimmetrica

Un errore del DSS è visibile subito e pesa più di mille consigli corretti. La fiducia si costruisce lentamente.

Costo totale vs costo unitario

Il prezzo del sensore è solo l'inizio. TCO, manutenzione e supporto tecnico determinano il vero ROI.



05

IoT, Automazione e Cloud

L'infrastruttura digitale per l'orticoltura connessa

Dalla sonda al telemetria intelligente · l'ecosistema digitale



IoT & Sensori

Reti di sensori wireless (LPWAN)
Copertura campi anche senza rete cellulare
Batterie pluriennali, trasmissione continua



Cloud & DSS

Piattaforme web-based accessibili ovunque
Real-time analytics e reportistica
Dati centralizzati, sicuri, multi-device



Macchine connesse

GPS/RTK centimetrico · ISOBUS · CAN Bus
Guida automatica, VRA nativa
As-applied maps per tracciabilità completa



Robotica & AI

Diserbo robotizzato e selettivo
Harvesting robots e micro-irrorazione
Digital twin · machine learning predittivo



06

Robotica e automazione

L'infrastruttura digitale per l'orticoltura connessa

Robotica agricola · perché ora, perché nelle orticole



Il contesto ideale

Le colture in fila

(orticole, ornamentali, come anche altre colture erbacee/arboree) offrono struttura ripetitiva e navigazione pre-programmabile: la condizione ideale per la robotica.



Costi manodopera in crescita

L'automazione di operazioni ripetitive (diserbo, raccolta) abbatte il costo per ettaro.



Over-application chimica

La precisione sub-centimetrica riduce l'impiego di fitofarmaci e fertilizzanti, solo se necessari.



Compattamento e salute del suolo

Macchine leggere e passaggi mirati migliorano struttura, fertilità.



Resilienza culturale

Gestione precisa rafforza la tenuta contro stress climatici, parassiti e carenze di risorse.

Azioni mirate, dati continui, benefici misurabili



Micro-irrigazione

Distribuzione di fitofarmaci solo sulla pianta target, con accuratezza sub-centimetrica.

● Riduzione chimica

fino al 90% rispetto alla distribuzione broadcast

● Efficienza idrica

targeting preciso riduce consumi e deriva

● Conformità ESG

minore impatto ambientale, meno residui



Diserbo meccanico

Asportazione fisica delle infestanti senza erbicidi, con sistemi a visione e attuatore tra file.

● Zero erbicidi

elimina residui chimici nel suolo

● Salute del suolo

minore compattazione, migliore struttura

● Copertura continua

operatività tra file e nella fila



Monitoraggio continuo

Dati ad alta risoluzione a livello pianta e suolo: salute fogliare, umidità, stress.

● Feed ai DSS

dati diretti ai sistemi di supporto decisionale

● Monitoraggio stato fitosanitario

rilevazione precoce malattie e parassiti

● Resilienza climatica

gestione precisa riduce vulnerabilità a eventi estremi



Raccolta automatica

Identificazione visiva del frutto maturo e prelievo selettivo con braccio robotico.

● Meno perdite

raccolta al momento ottimale di maturazione

● Riduzione manodopera

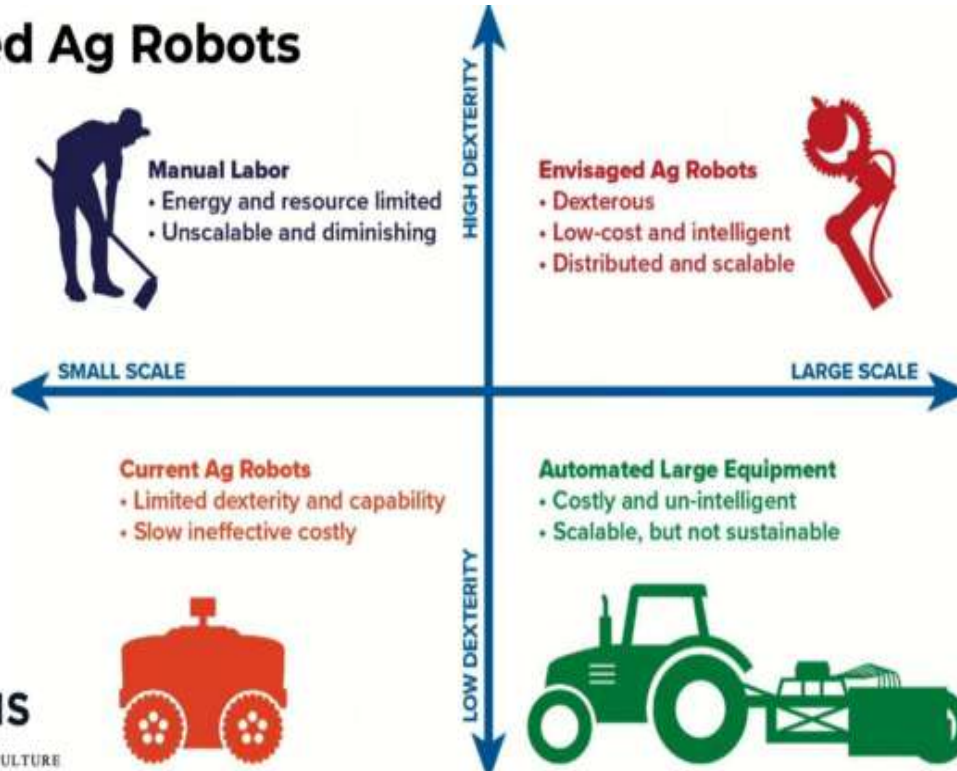
meno dipendenza da lavoro stagionale

● Tracciabilità

ogni prelievo georeferenziato e registrato

Robotica Agricola: dove siamo e dove stiamo andando

Envisaged Ag Robots



Implicazioni per l'orticoltura

⚠ Gap attuale critico

I robot disponibili oggi (quadrante in basso a sinistra) mancano di destrezza per raccolta orticola: fragola, pomodoro, insalata richiedono manipolazione delicata.

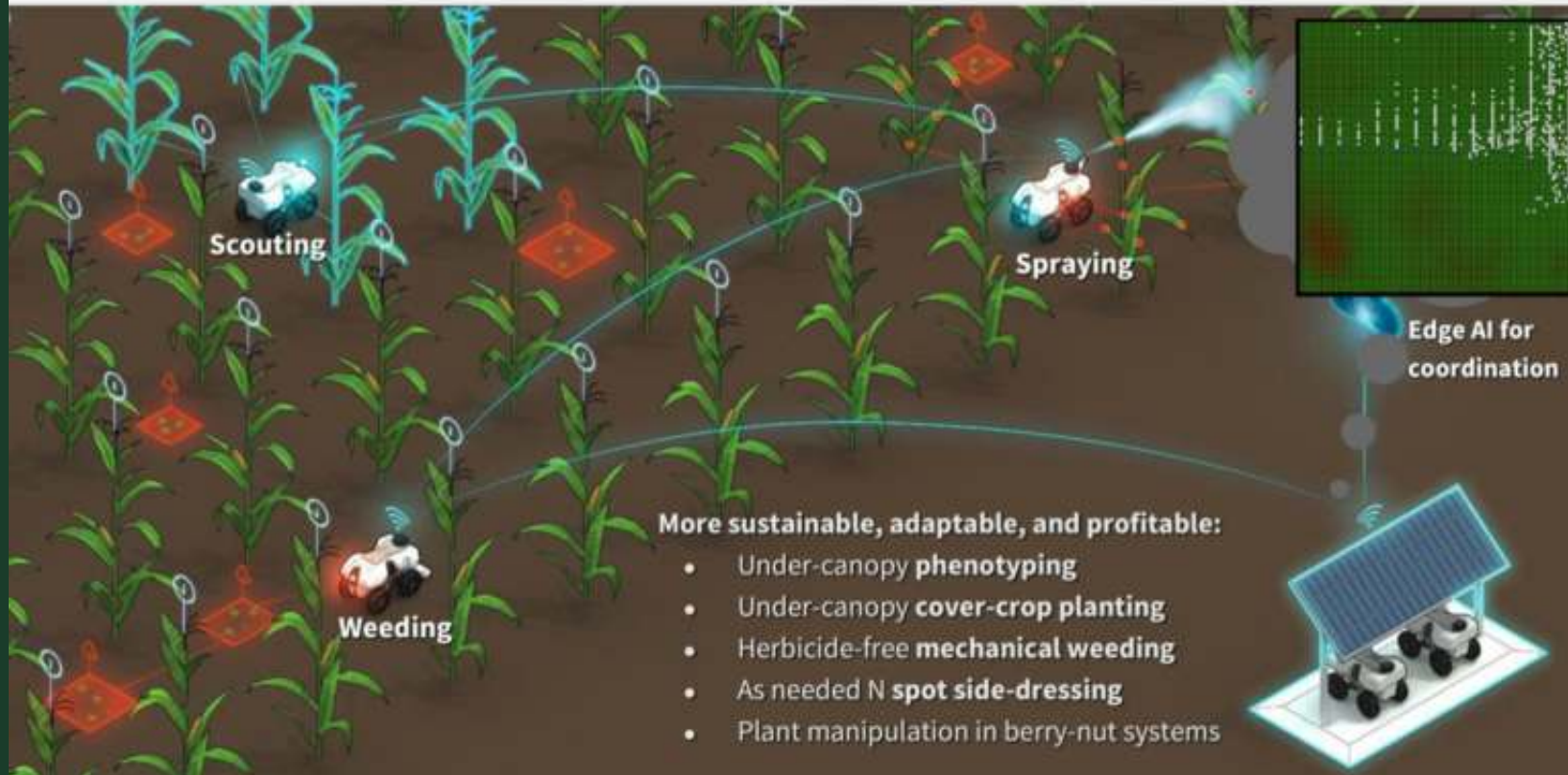
⌚ La manodopera resta insostituibile

Alta destrezza + piccola scala = ancora dominio umano. Le aziende orticole non possono ancora contare su robot economicamente competitivi per le operazioni di raccolta.

📈 Traiettoria verso il quadrante ideale

I robot futuri (in alto a destra) puntano ad alta destrezza + grande scala. L'orticoltura sarà tra i principali beneficiari: costi ridotti, scalabilità, distribuzione su più appezzamenti.

More Sustainability and Resilience with Agbots



FarmDroid FD20 (<https://farmdroid.com>)



100% elettrico e solare

- 4 pannelli solari integrati → 18-24h di operatività giornaliera
- Power bank opzionale per funzionamento continuo 24/7

Tecnologia RTK GPS

- Mappa pre-programmata con precisione di 8 mm per ogni operazione

Diserbo preventivo

- Rimozione meccanica infestanti prima della germinazione (+40% resa)

Autonomia completa

- Lavora in modo indipendente dopo la configurazione iniziale
- Monitoraggio da remoto tramite app mobile dedicata

Modello di business sostenibile

- Riduce i costi operativi (carburante, prodotti chimici, manodopera)
- Abbatte le emissioni di CO₂ e l'impatto ambientale dell'azienda

Riduzione dei prodotti chimici

- Micro-irrorazione: distribuisce fitofarmaci solo dove necessario
- Riduce l'uso di sostanze chimiche fino al 94%
- Diserbo meccanico e irrorazione ultra-mirata

FarmDroid FD20 (<https://farmdroid.com>)



Ampia compatibilità colturale

- Oltre **100 colture** (es.: cipolla, spinaci, insalate, cavolo, cavolfiore, broccoli e molte altre)
- Cambio rapido tra campi e colture con semplici modifiche di configurazione

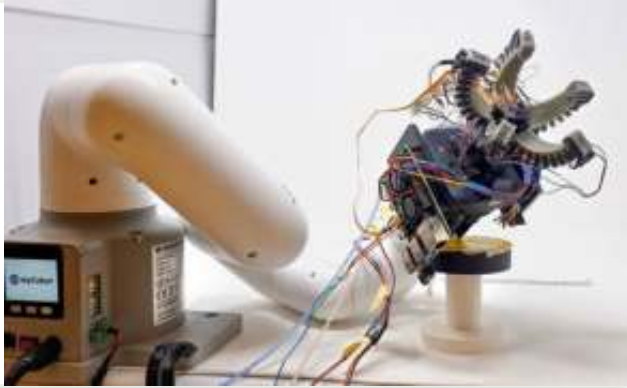
Adattabilità al terreno

- Operativo in diverse regioni del mondo e in tutte le stagioni
- Efficiente su vari tipi di terreno (non roccioso, non allagato)

Capacità giornaliera scalabile

- Un singolo FD20 gestisce circa **6 ettari al giorno** (semina, diserbo, irrorazione fitofarmaci)
- Più robot possono operare simultaneamente nello stesso campo per scalare la capacità

Harvesting robot



- Ci si sta lavorando, soprattutto in ambiente protetto (più uniforme).
- È fondamentale l'interazione tra ingegneri e «agronomi».

nature communications



Article

<https://doi.org/10.1038/s41467-026-70588-0>

Sensor fusion of touch & vision in soft manipulators for fruit picking

Received: 11 May 2025

Accepted: 24 February 2026

Published online: 23 March 2026

Anand Kumar Mishra^{1,2,3,4}, Aravind Ramaswami^{1,7}, Vikram Shree^{1,7},
Mehmet Mert Ilman^{1,2,5}, Khoi D. Ly^{1,2}, Marvin P. Pritts⁶ &
Robert F. Shepherd^{1,2,3}✉

Review

Technology Advancements and the Needs of Farmers: Mapping Gaps and Opportunities in Row Crop Farming

Rana Umair Hameed ^{1,*} , Conor Meade ²  and Gerard Lacey ¹ 

Table 3. Technological capabilities of autonomous commercial agricultural robots discussed in this paper. N/R: not reported—no details available nor disclosed by the manufacturer. N/A: not applicable. *: Solar-powered and battery-supported. **: Hovering time without payload on single battery. ***: With diesel range extender. RaaS: Robots-as-a-Service model.

Robot	Applications	Price [€]	Battery Life [h]	Weight [kg]	Sensors	Kinematics	Features
CLAWS [62]	Monitoring, weeding	RaaS	N/R *	N/R	Cameras, RTK-GPS	Two-Wheel drive	Mechanical weeding, chemical-free operation, data collection for crop health
Oz [67]	Multi-purpose	21–50 k	8	150	RTK-GPS, stereo cameras	Four-wheel skid-steer drive	Multiple attachments for different tasks, ideal for small to medium farms
Amiga [68]	Multi-purpose	21–50 k	8	200	RTK-GPS, cameras	Four-wheel skid-steer drive	Modular design, customizable for various tasks, 3-point hitch support
Thorvald II [69]	Multi-purpose	RaaS	10	180	LiDAR, cameras, GPS	Four-wheel drive & steer	Versatile, modular, suitable for various crops and terrains
Orio [58]	Multi-purpose	201–300 k	8–12	1450	RTK-GPS, LiDAR, safety bumpers	Four-wheel drive	Versatile tool carrier, supports various attachments, 3-point hitch support
Robotti [72]	Multi-purpose	101–200 k	N/A	3000	RTK-GPS, cameras	Four-wheel drive	Dual diesel engines (144 hp), 3-point hitch and PTO support, supports various attachments

Table 3. Technological capabilities of autonomous commercial agricultural robots discussed in this paper. N/R: not reported—no details available nor disclosed by the manufacturer. N/A: not applicable. *: Solar-powered and battery-supported. **: Hovering time without payload on single battery. ***: With diesel range extender. RaaS: Robots-as-a-Service model.

Robot	Applications	Price [€]	Battery Life [h]	Weight [kg]	Sensors	Kinematics	Features
FD20 [57]	Seeding, weeding	101–150 k	18–24 *	900	RTK-GPS, proximity sensors	Wheeled skid-steer	CO ₂ neutral, uses high-precision GPS for seeding and weeding
Rowbot [54]	Fertilizing, seeding	RaaS	20	N/R	GPS, cameras, LiDAR	Tracked skid-steer	Precision fertilization, works under crop canopy, optimized for nitrogen application
Solix [53]	Monitoring, spraying	RaaS	N/R *	500	Cameras, RTK-GPS	Two-wheel drive	Upto 95% herbicide reduction, targeted spraying boom
DJI MG-1P [50]	Monitoring, spraying	15 k	0.33 **	13.7	Radar, RTK-GPS, FPV camera	Multicopter drone	Terrain-adaptive spraying, can operate in fleets
Oscar [63]	Irrigation	201–300 k	N/R	12,000	RTK-GPS, RGB cameras	Four-wheel drive	Precision irrigation, upto 30% resource savings and 10% yield improvement
TerraSentia [55]	Monitoring, phenotyping	RaaS	3	13	LiDAR, RGB cameras, GPS	Wheeled skid-steer	Under-canopy field data and trait analysis, compact and rugged design
Tom v4 [64]	Monitoring, weed detection	RaaS	4	350	RTK-GPS, cameras	Four-wheel drive & steer	Plant-level data collection, modular design, scalable for various farm sizes
AIGRO UP [65]	Mowing, harrowing	21–50 k	8	100	RTK-GPS, cameras	Four-wheel drive	Compact and lightweight design, can be used in various farms
Element [59]	Weeding, crops analysis	50–80 k	N/R *	N/R	Cameras, temperature and moisture sensors	Wheeled skid-steer	Chemical-free weed control, reduces soil compaction, supports fleet coordination and control
WeedSpider [61]	Weeding, thinning, spraying	RaaS	10 *	800	LiDAR, GPS, cameras	Wheeled skid-steer	95% labor cost reduction, sub-inch accuracy, 3D mechanical weeding
MYCE [60]	Monitoring, weeding	RaaS	20 *	100	GPS, cameras	Four-wheel drive & steer	High precision in vegetables, compact design
Farming GT [66]	Precision weeding	101–200 k	30 ***	1500	RTK-GPS, multispectral camera	Four-wheel drive & steer	High precision weeding, adaptability across terrains and crops



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 3. Application-specific commercial robotic solutions for row crops. (a) FarmDroid FD20 [57]. (b) Rowbot [54]. (c) Element from Aigen [59]. (d) Solix of Solinftec [53]. (e) TerraSentia from EarthSense [55]. (f) Tom v4 developed by Small Robot Company [64]. Full specifications (e.g., sensors, price, features) are detailed in [Table 3](#). Images are based on publicly available visuals provided by manufacturers.



<https://fieldworkrobotics.com/>



<https://www.randle.co.uk/case-studies/small-robot-company-tom-v4/>



<https://solix.solinftec.com/>



<https://www.aigen.io/>



<https://www.newholland.com/splash>



07

Conclusioni

Un quadro integrato per l'orticoltura digitale di pieno campo

La digitalizzazione dell'orticoltura non è una singola tecnologia: è un cambio di paradigma gestionale che integra dati, modelli, macchine e persone.

1

Variabilità

Riconoscerla e mapparla è il primo passo. La gestione uniforme è la principale fonte di inefficienza nel pieno campo.

2

Sensing

Satellite, droni e sensori prossimali o indossabili non sono costi: sono il sistema nervoso dell'azienda. Alimentano ogni decisione.

3

Acqua e DSS

L'irrigazione guidata da dati sarebbe oggi tecnicamente matura. La sfida è **la fiducia**: validazione rigorosa e trasparenza del modello.

4

Robotica

Nelle colture orticole il ritorno dell'investimento è accertato. Diserbo meccanico e micro-irrorazione sono già realtà industriali.

5

Integrazione

Sensori, DSS, IoT e macchine creano valore solo se connessi. Il dato deve diventare azione, e l'azione deve tornare dato.

Alcune riflessioni conclusive e di carattere generale sul convegno

A conclusione di questo mio intervento, vorrei innanzitutto esprimere un sincero apprezzamento per la partecipazione così ampia e qualificata, da parte di tanti giovani. È un segnale molto positivo, perché dimostra che il nostro **settore è vivo, attrattivo e capace di generare interesse, entusiasmo e nuove energie.**

Vorrei però lasciare soprattutto un messaggio, che è stato anche condiviso con tutti i colleghi Ordinari presenti, in un incontro tenuto a latere del convegno.

Oggi più che mai, anche alla luce dei cambiamenti in atto nelle regole del reclutamento universitario, per chi intraprende un percorso di ricerca, è importante **trovare progressivamente un proprio filone, una propria identità scientifica.**

Non un tema scelto solo perché di «**moda**», o perché più **facilmente** (o «**brevemente**») spendibile in termini bibliometrici, ma un ambito nel quale ciascuno possa **riconoscere una sua funzione, una responsabilità e un significato del suo lavoro.**

La qualità della ricerca non può essere misurata soltanto dal **numero delle pubblicazioni, dagli indici o dagli indicatori.** Questi strumenti hanno certamente un ruolo, ma **non possono diventare il fine ultimo del nostro lavoro.**

Il vero valore di una carriera scientifica si costruisce quando la ricerca **impara a leggere il territorio, ne intercetta bisogni reali, quando dialoga con il settore produttivo, quando contribuisce a risolvere problemi concreti e, allo stesso tempo, ad aprire nuove prospettive di conoscenza.**

Ai giovani ricercatori vorrei quindi dire: **cercate il vostro spazio, ma cercatelo con coraggio, con l'approfondimento necessario e con senso critico. Ascoltate le esigenze del comparto produttivo, osservate i cambiamenti in atto, individuate le domande ancora aperte.** È lì che spesso si trovano le traiettorie di ricerca più solide e più originali.

Con questo spirito, mi auguro che le giornate di questo convegno non si chiudano semplicemente con la soddisfazione per il buon livello dei contributi presentati, ma diventino per ciascuno **un'occasione per riflettere sul senso del proprio percorso** scientifico. Il futuro del nostro settore dipenderà molto dalla capacità dei giovani ricercatori, che saranno i futuri protagonisti della ricerca e della formazione, di non limitarsi a “**produrre papers**”, ma di **dare una direzione, una funzione e una visione.**

Grazie a tutti per la partecipazione, per il confronto e per il contributo che avete dato a questo incontro.

Antonio Elia