Dalla mappatura del suolo alla gestione irrigua di precisione: potenzialità e limiti della modellazione spaziale con MONICA

Andrea Burato[1,2] *, Ehsan Eyshi Rezaei[3], Claas Nendel[3], Alfonso Pentangelo[2], Evangelista Di Matteo[2], Davide Cammarano[4], Domenico Ronga[5], Mario Parisi[2]

[1]Dipartimento di Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Via dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza, Italia
[2]Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), Centro di Ricerca Orticoltura e Florovivaismo, Via Cavalleggeri 51, 84098 Pontecagnano Faiano, Italia
[3]Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, Germania
[4]Dipartimento di Agroecologia, iClimate, CBIO, Aarhus University, Blichers Alle 20, 8830 Tjele, Danimarca
[5]Dipartimento di Farmacia, Università degli Studi di Salerno, Via Giovanni Paolo II 132, 84084 Fisciano, Italia

* andrea.burato@unibas.it

Gruppo di Lavoro in Sensoristica ed Intelligenza Artificiale in Ortoflorofrutticoltura

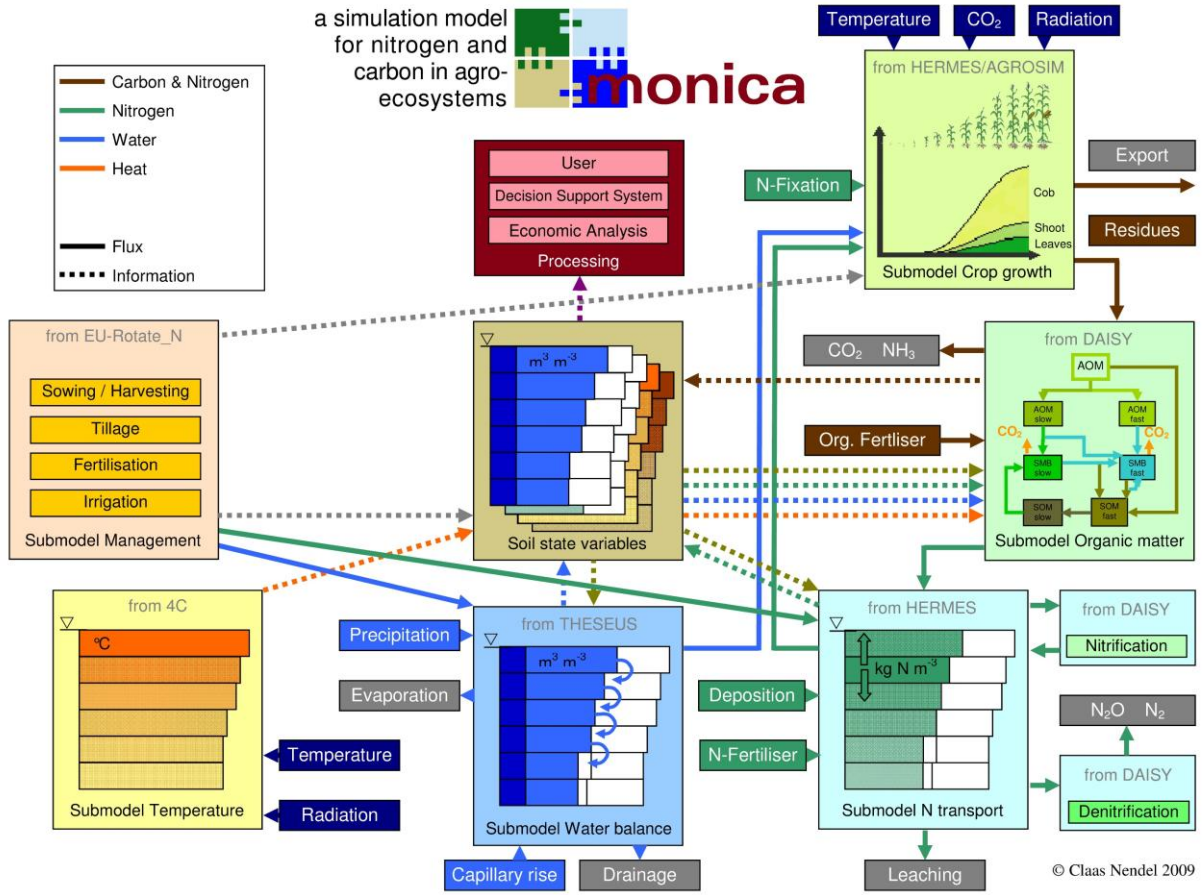
II Giornate Tecniche SOI
Bari 10-11 settembre 2026

Questa ricerca è stata finanziata dal progetto "Progetto integrato di ricerca applicata per affrontare le principali criticità del pomodoro da industria (Grant Number 3.01.99.68.00) implementato da Italia Ortofrutta – Unione nazionale, a valere sui programmi operativi (2023-2029) e cofinanziato da 10 Organizzazioni dei Produttori associate all'Unione.

Introduzione

I **modelli colturali meccanicistici** (come **MONICA**) supportano efficacemente le decisioni agronomiche a livello puntuale.

Tuttavia, fatichiamo ad applicarli su scala aziendale perché sono tipicamente monodimensionali e *point-based.*



Obiettivo

Valutare la capacità del modello di **catturare la variabilità spaziale** di resa e biomassa nel pomodoro da industria (*Solanum lycopersicum* L.), effettuando una parametrizzazione unica dei parametri colturali e testando **tre approcci di spazializzazione** delle informazioni pedologiche:

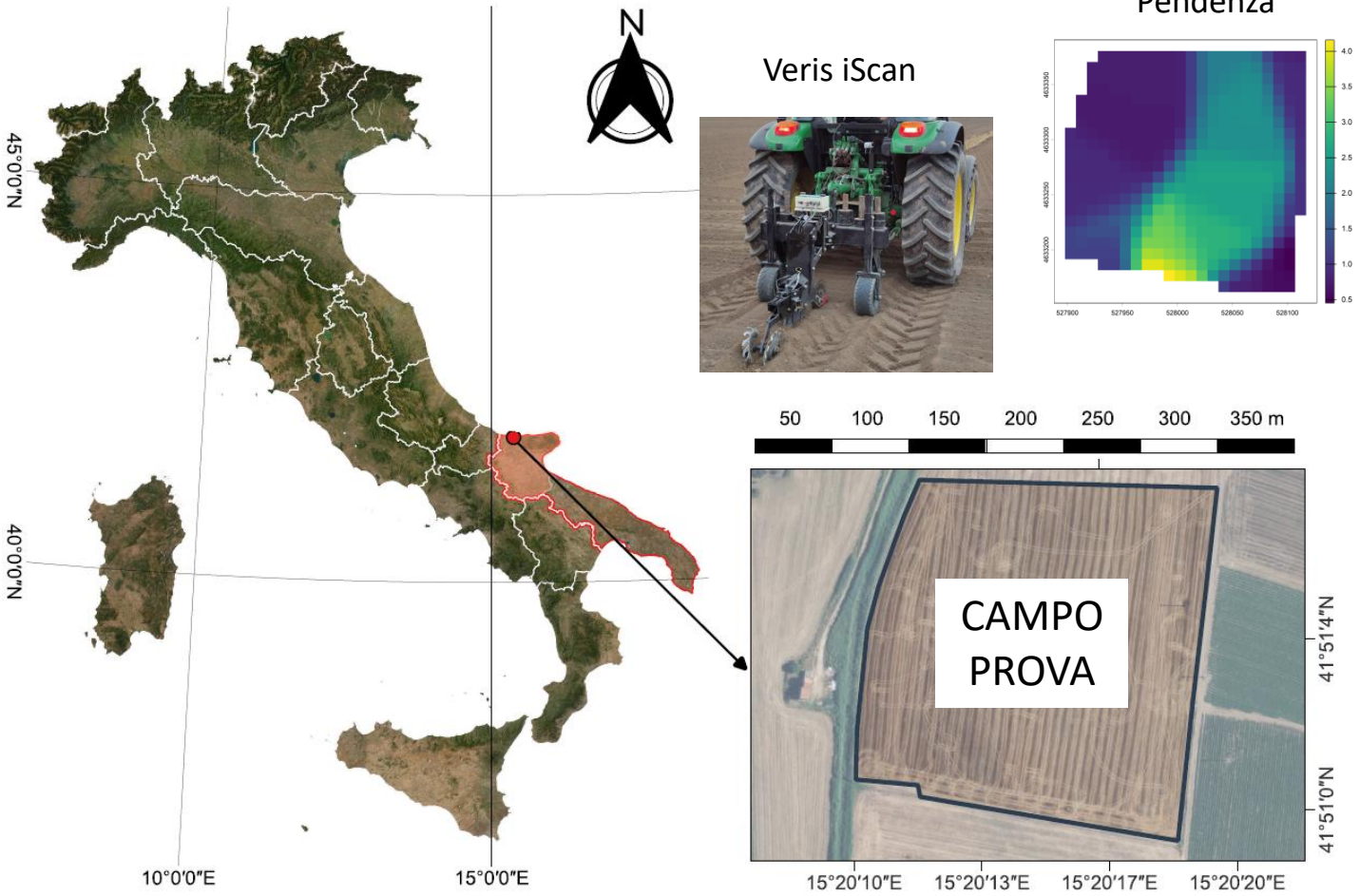
- Dati tessiturali medi di campo (**AVG**);
- Dati tessiturali spazializzati (**RAW**);
- Esplorazione di un approccio per Zone Omogenee (MUZ).



Setup sperimentale

Gruppo di Lavoro in Sensoristica ed Intelligenza Artificiale in Ortoflorofrutticoltura

On-farm experimentation nell'areale del Gargano (Lesina, FG), in un campo di 4 ha nel 2025.



Veris iScan

Pendenza

Ciclo colturale: 24 maggio – 15 settembre

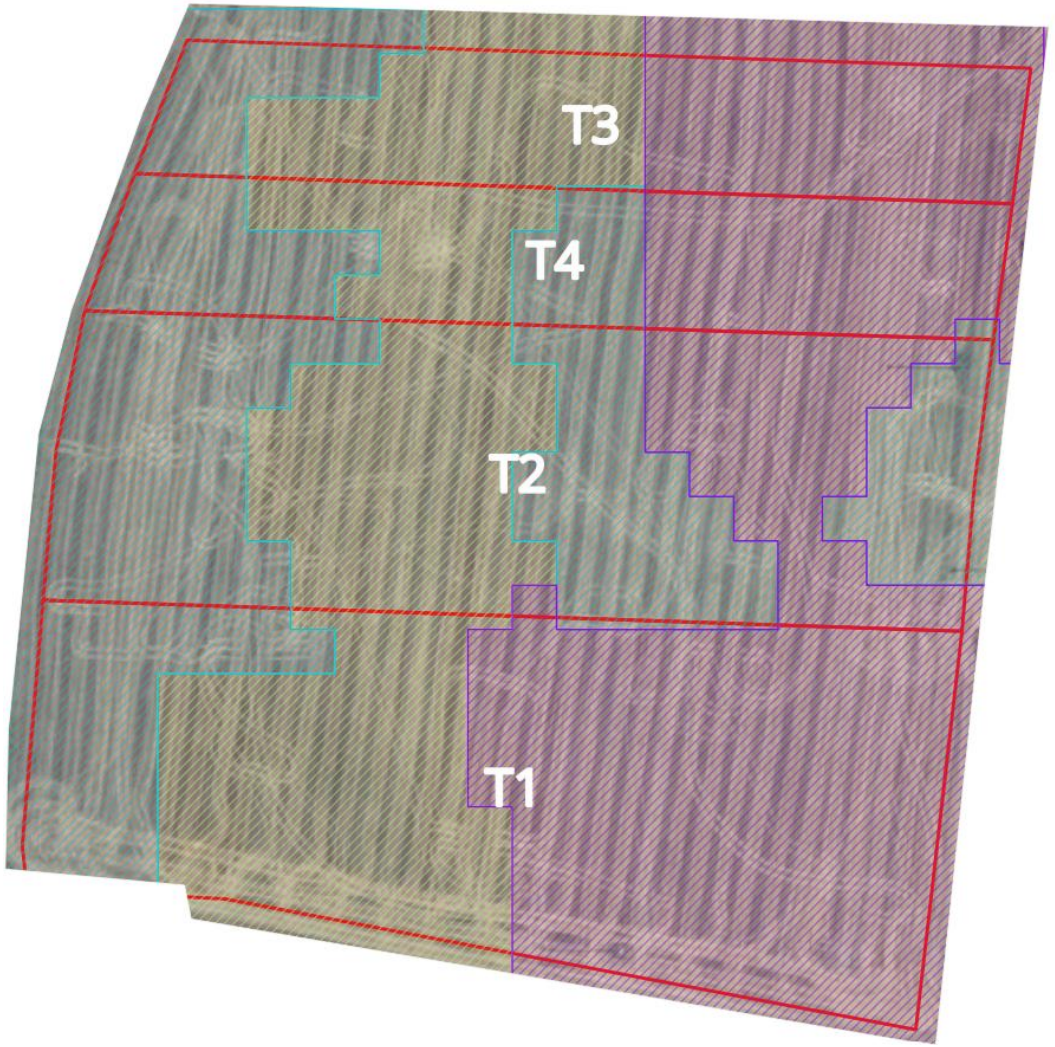
Rilievi effettuati:

- **Mappatura** della Conducibilità Elettrica Apparente (**ECa**) tramite Veris iScan (range 22-109 mS/m) + zone omogenee (MUZ);
- Individuazione di 17 punti per campionamento suolo (0-40 cm) e **3 rilievi distruttivi della biomassa**;
- Estrazione del Modello Digitale di Elevazione (DEM – TINITALY 1.1) per il calcolo della pendenza.

Strategie irrigue

Gruppo di Lavoro in Sensoristica ed Intelligenza Artificiale in Ortoflorofrutticoltura

- **T1**: Gestione aziendale ordinaria;
- **T2**: Irrigazione basata su sensori e Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS – **IRRIFRAME**);
- **T3** (RDI - Deficit idrico controllato): Come T2 fino all'invaiatura, seguita da una riduzione del 30% del volume irriguo;
- **T4**: Come T3, combinata a film pacciamante biodegradabile nero.



Setup del modello MONICA

Gruppo di Lavoro in Sensoristica ed Intelligenza Artificiale in Ortoflorofrutticoltura

Modello utilizzato: **MONICA** (MOdel of NItrogen and Carbon dynamics in Agro-ecosystems; Nendel et al., 2011), modello colturale dinamico 1D.

Procedura:

1. **Calibrazione fenologica** (Gradi Giorno - GDD) su T1 (1 punto);
2. ***Sensitivity analysis*** in 2 step (Morris + eFAST);
3. **Calibrazione** (algoritmo SCE-UA) basata su minimizzazione del **NRMSE composito** (75% resa, 25% biomassa aerea) su T1 (6 punti);
4. **Validazione** su T2 (8 punti) e T3 (3 punti).

Nendel, C., Berg, M., Kersebaum, K. C., Mirschel, W., Specka, X., Wegehenkel, M., Wenkel, K. O., & Wieland, R. (2011). The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. Ecological Modelling, 222(9), 1614–1625. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.018

Risultati

- Strategia AVG (parametrizzazione unica dei parametri colturali alimentata da **dati tessiturali medi** di campo):
  - Buon adattamento in calibrazione, ma crollo totale in validazione (*Overfitting* sul trattamento T1).

Approccio	Cal R^2	Cal NRMSE	Val R^2	Val NRMSE	Val PBIAS
AVG	0.691	0.248	–0.870	0.628	+34.6%

- Strategia RAW (parametrizzazione unica dei parametri colturali alimentata da **dati tessiturali spazializzati**):
  - Correlazione di rango di Spearman robusta e significativa in validazione (0.72, $p < 0.001$).

Approccio	Cal R^2	Cal NRMSE	Val R^2	Val NRMSE	Val PBIAS
RAW	0.013	0.443	0.384	0.361	–6.9%

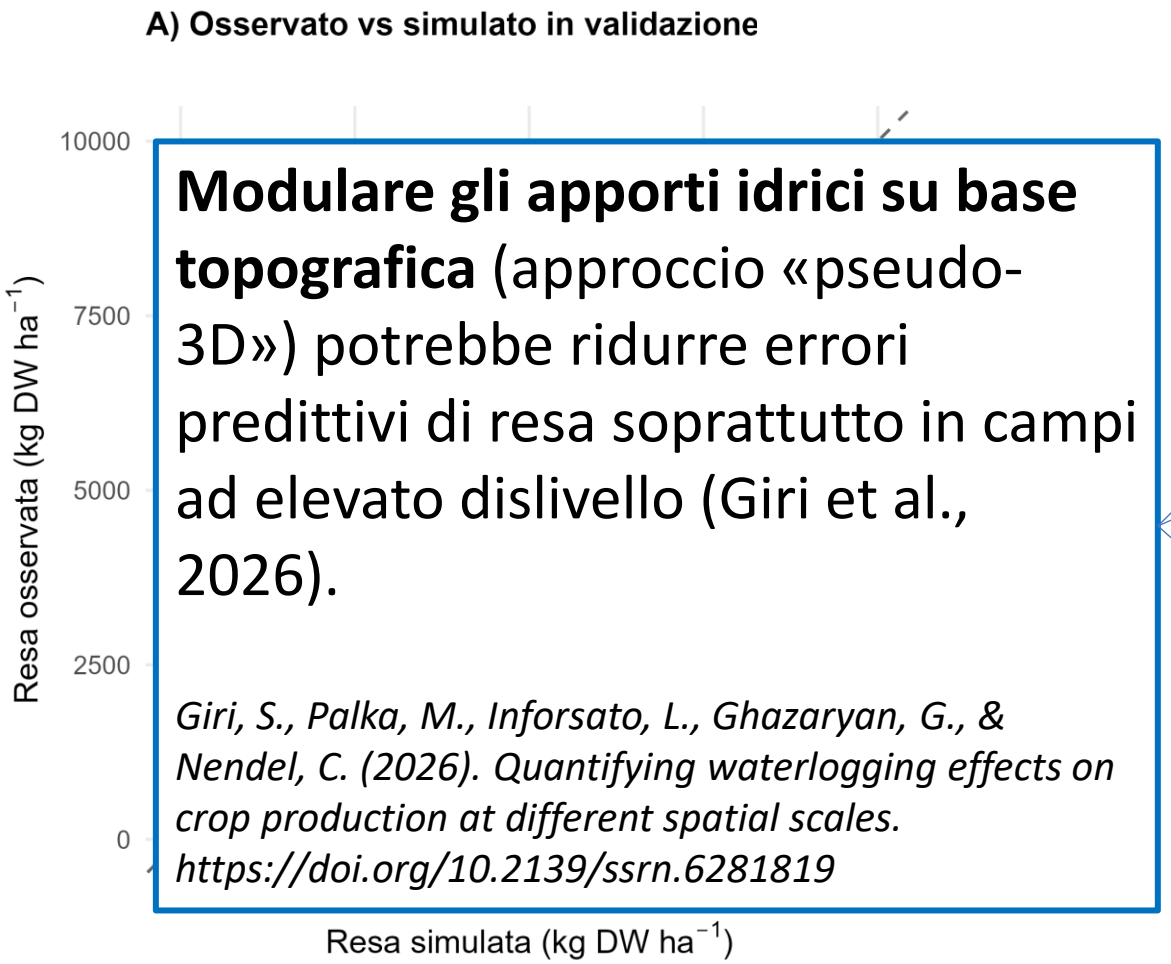
Cal = Calibrazione, Val = Validazione, R^2 = Coefficiente di determinazione, NRMSE = Normalized root mean square error, PBIAS = Percent bias,

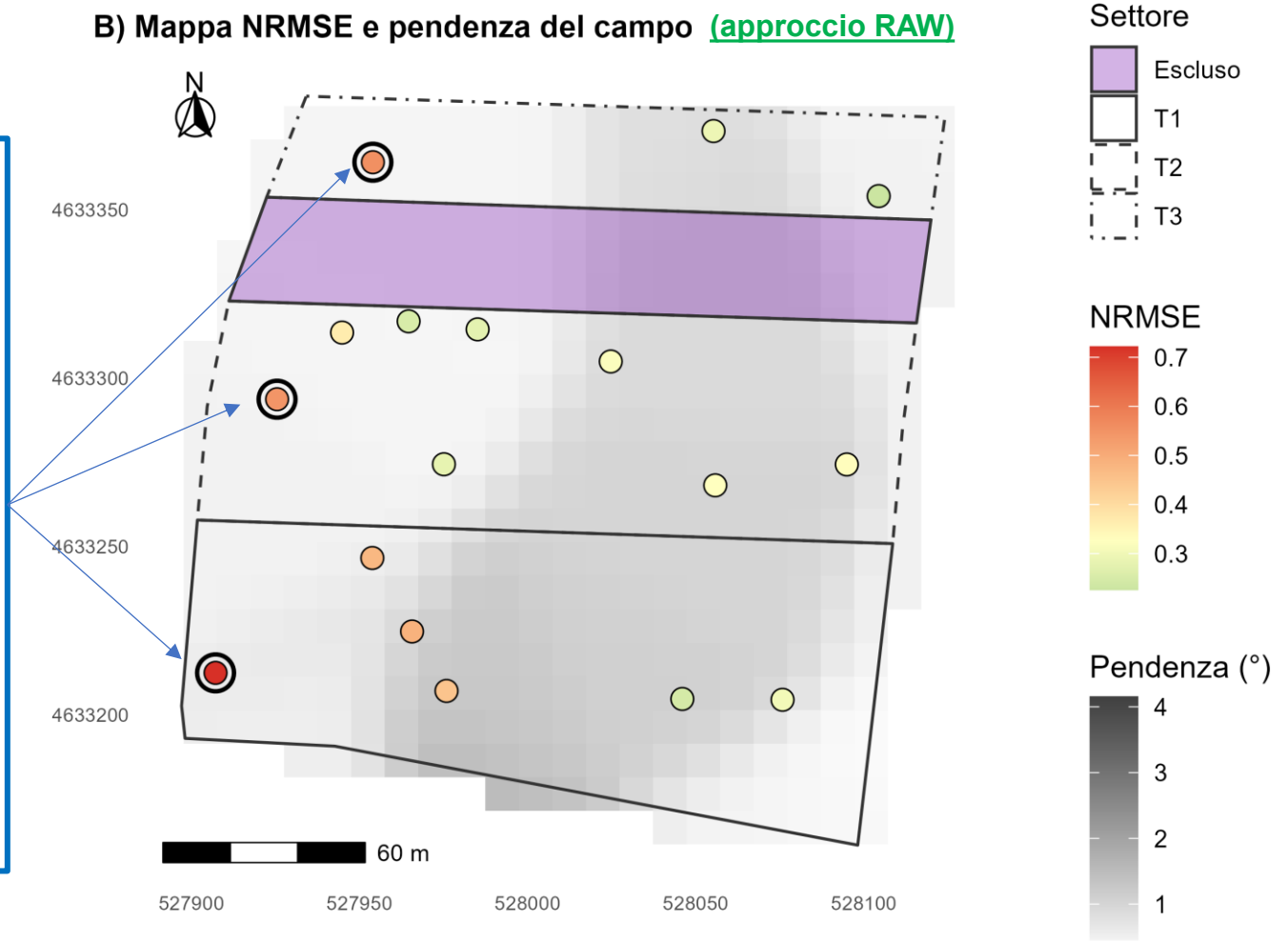
Risultati

Gruppo di Lavoro in Sensoristica ed Intelligenza Artificiale in Ortoflorofrutticoltura

Modulare gli apporti idrici su base topografica (approccio «pseudo-3D») potrebbe ridurre errori predittivi di resa soprattutto in campi ad elevato dislivello (Giri et al., 2026).

Giri, S., Palka, M., Inforsato, L., Ghazaryan, G., & Nendel, C. (2026). Quantifying waterlogging effects on crop production at different spatial scales. https://doi.org/10.2139/ssrn.6281819





NRMSE = Normalized root mean square error

Risultati

Gruppo di Lavoro in Sensoristica ed Intelligenza Artificiale in Ortoflorofrutticoltura

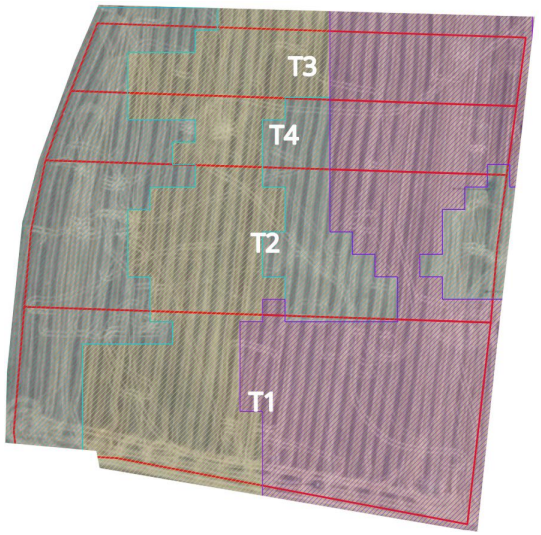
Approccio MUZ: Parametrizzazione differenziata per zone omogenee (MUZ) individuate dalla mappa ECa → **Risultati esplorativi incoraggianti** (R^2 aumentato e PBIAS ridotto *vs* AVG).

Approccio	Cal R^2	Cal NRMSE	Val R^2	Val NRMSE	Val PBIAS
MUZ	–0.381	0.415	0.187	0.414	–14.4%

Cal = Calibrazione, Val = Validazione, R^2 = Coefficiente di determinazione, NRMSE = Normalized root mean square error, PBIAS = Percent bias,

Perché è importante?

- Permette di semplificare la simulazione a scala aziendale a **poche macro-zone di suolo**, rendendo il sistema sostenibile per un'azienda agricola (campionamento di pochi punti di suolo).



Conclusioni

Affidarsi a una singola analisi del terreno media per campo (AVG) vanifica l'efficacia dei modelli monodimensionali nel prevedere la variabilità spaziale → L'approccio con **dati suolo puntuali** (RAW) è essenziale.

Prospettive

Sviluppo di un ***Digital Twin*** **del sistema suolo-coltura** (integrando MONICA, mappe di suolo e IA per la correzione topografica) per alimentare un DSS aziendale predittivo finalizzato ad una **zonazione gestionale** a scala aziendale:

- Irrigazione → Incremento °Brix
- Nutrizione azotata
- Raccolta

Ringraziamenti

Gruppo di Lavoro in Sensoristica ed Intelligenza Artificiale in Ortoflorofrutticoltura

Questo lavoro è stato supportato dal progetto «Progetto integrato di ricerca applicata per affrontare le principali criticità del pomodoro da industria (2023-2026)» implementato da Italia Ortofrutta - Unione Nazionale, con il cofinanziamento di 12 O.P. del comparto pomodoro da industria.
Si ringrazia Mattia Caroppi (O.P. APO GARGANO SOC. COOP.) per il supporto tecnico nella prova in campo.

Si ringrazia, inoltre, tutto il gruppo di lavoro di ZALF (Claas Nendel ed Ehsan Eyshi Rezaei) e del CREA–OF (Mario Parisi, Alfonso Pentangelo ed Evangelista Di Matteo), e i proff. Davide Cammarano e Domenico Ronga.

andrea.burato@unibas.it

Italia Ortofrutta UNIONE NAZIONALE

POMODORO DA INDUSTRIA
PROGETTO INTEGRATO RICERCA APPLICATA

Link al progetto

Università degli Studi della Basilicata · 1982

dafe DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE FORESTALI, ALIMENTARI E AMBIENTALI

Dottorato di ricerca in Scienze agrarie, forestali e degli alimenti
Agricultural, forest and food sciences

crea Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria

DIAGRAM Digital Agriculture Management