Sistemi sensoriali per monitoraggio ed elaborazione dati nella coltivazione del basilico

Stefano Caselli & gruppo ICT4Ag CIDEA UNIPR

5 Novembre 2026



ICT4Ag in STREAM2B:
Stefano Caselli
Gabriele Penzotti
Ernesto Fontana
Francesco Pasetti
Nicola Rozzi

Dati dal campo per una coltivazione di precisione del basilico

Sperimentazione di diverse tecnologie di acquisizione dati:

- Dalla scala di campo alla misura puntuale
- Satellite, telecamera multispettrale, nodi sensoriali per rilevazione umidità al suolo
- Potenzialità, limiti, problematiche applicative
- Impatto di tecniche AI per calibrazione e prevenzione delle derive nelle risposte dei sensori
- Aspetti di sistema: integrazione con sistemi di consiglio irriguo e possibile interazione con macchine o centraline di irrigazione

Monitoraggio con dati satellitari

- Satelliti Sentinel-2 (missione EU Copernicus)
  - open data, risoluzione max 10x10 m
  - transito ogni 5 giorni (ogni 2-3 giorni in zone pianura PR)
  - 13 bande spettrali (visibile, NIR, SWIR), di cui 4 con risoluzione 10 m
- Metodologia:
  - acquisizione automatizzata di dati da hub Copernicus
  - calcolo di Indici Vegetazionali sintetici (NDVI, EVI, etc.)

- Problemi: cloud cover, effetto bordi, presenza di artefatti

- Potenzialmente utile per grandi campi adibiti a coltivazione per industria



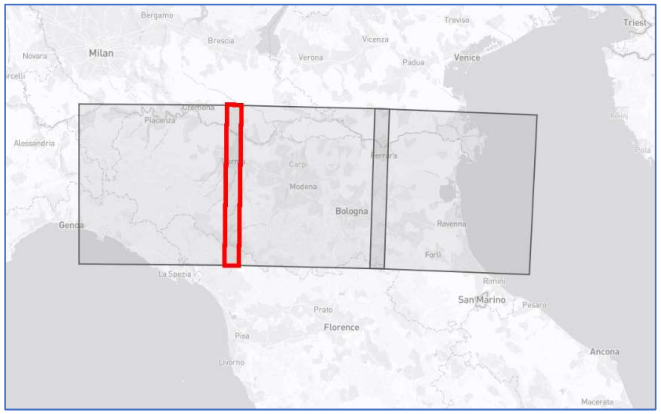


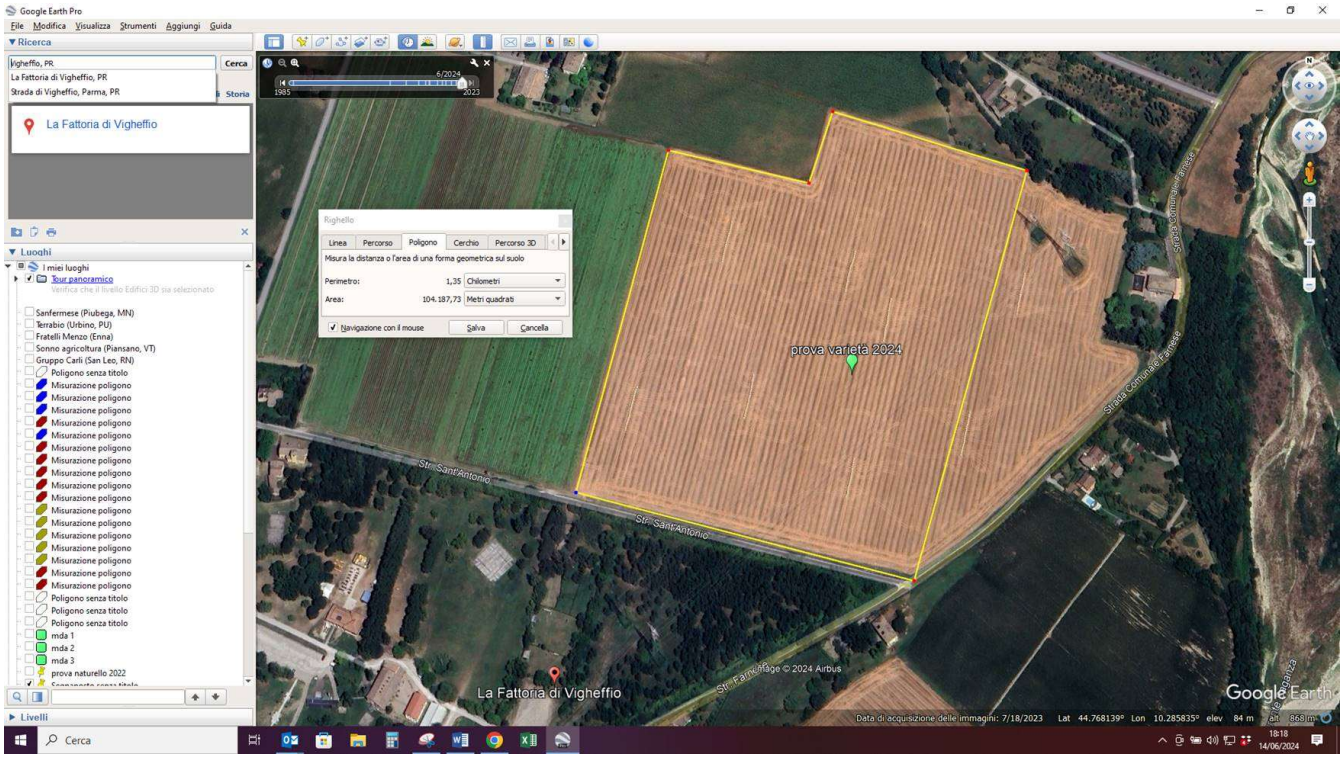
STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Monitoraggio con dati satellitari

- Campo in provincia PR (circa 10 ha)
- Coltivato a basilico nel 2024
- Transiti satellitari ogni 2-3 giorni





STREAM2B

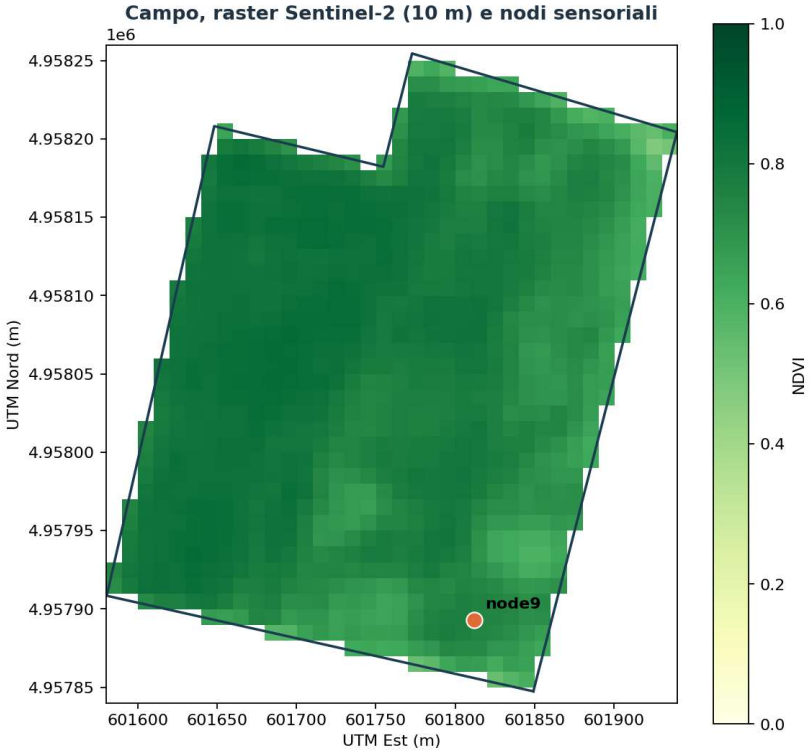
STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Monitoraggio con dati satellitari

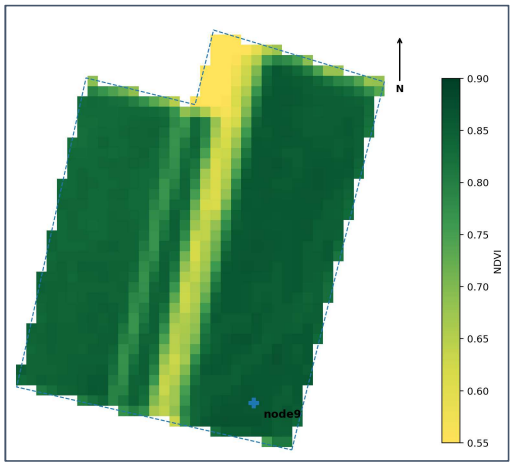
- Indice NDVI (in data 02/08/2024)

- Rilevati valori NDVI da 0,4 a 1
- Possibile effetto di trattamenti e management differenziati per coltivazione industriale
- Disponibilità di dati satellitari adeguata per monitoraggio!

- In media 10 acquisizioni valide per mese tra Giugno e Settembre (media 2023-2026, min 5, max 16)



- Indice NDVI (in data 25/08/2024)



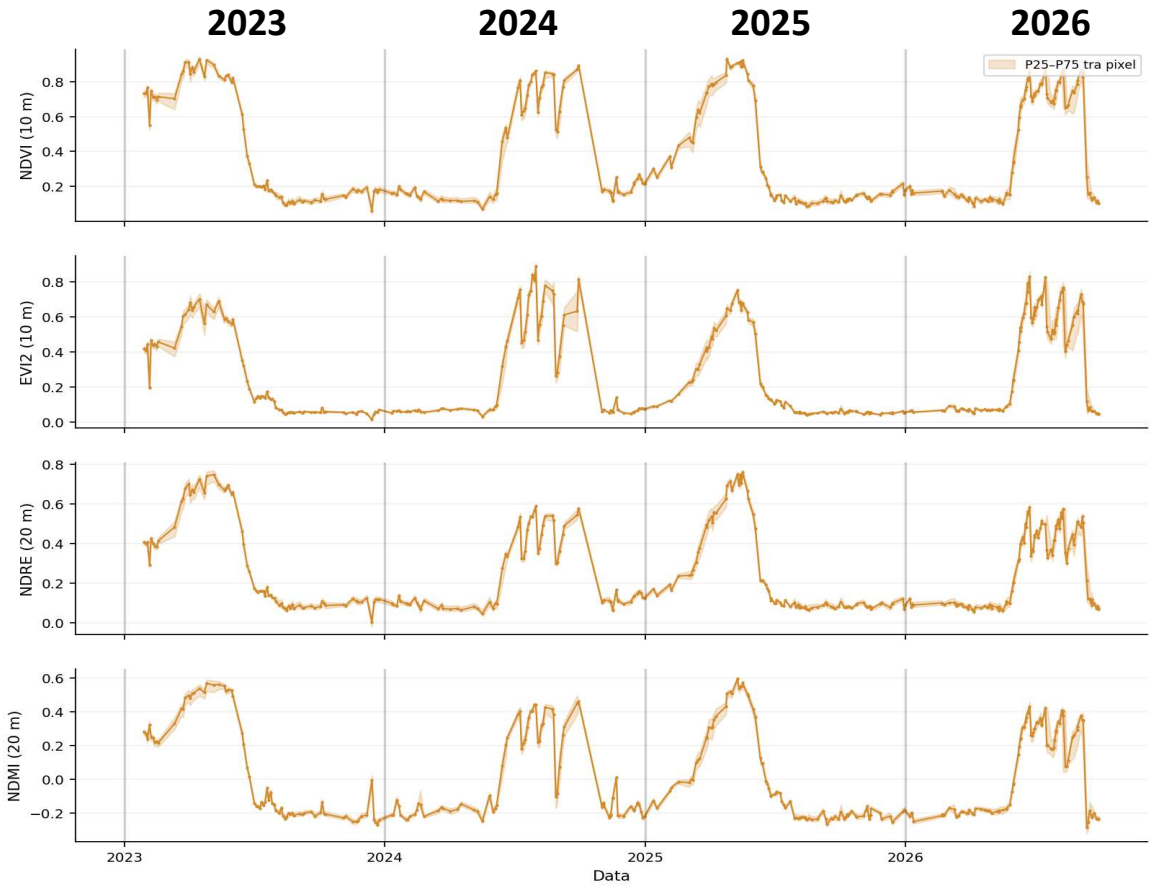
STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Monitoraggio con dati satellitari

- Andamento nel tempo di indici vegetazionali su medesimo campo (2023-2026)

- Selezione di IV (NDVI, EVI, SAVI, NDRE, etc) a 10 m e 20 m di risoluzione
- *Mediana spaziale* dell'IV e *intervallo interquartile*



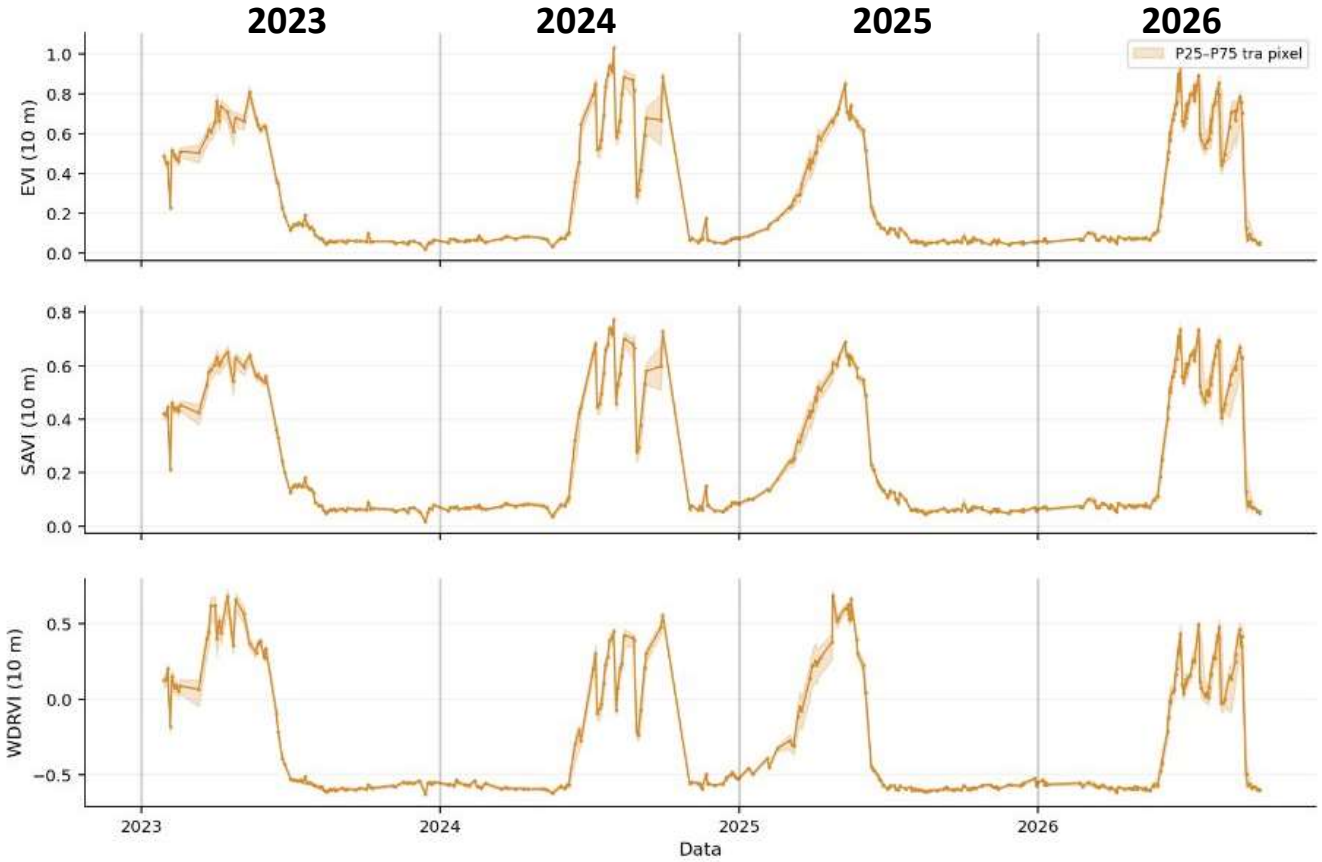
STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Monitoraggio con dati satellitari

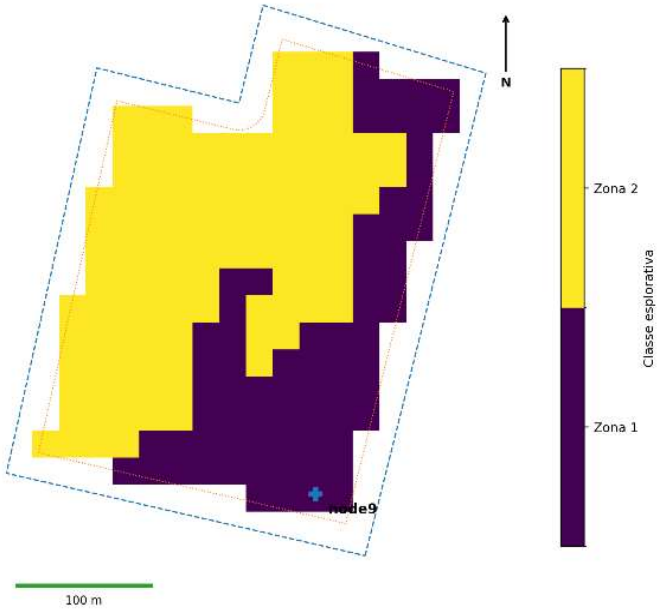
- Andamento nel tempo di indici vegetazionali su medesimo campo (2023-2026)

- Selezione di IV (NDVI, EVI, SAVI, NDRE, etc) a 10 m e 20 m di risoluzione
- *Mediana spaziale* dell'IV e *intervallo interquartile*
- In quali anni è stata effettuta una coltura a tagli multipli, e in quali una rotazione con una coltura diversa?
(spoiler: nel 2024 era basilico)



Monitoraggio con dati satellitari

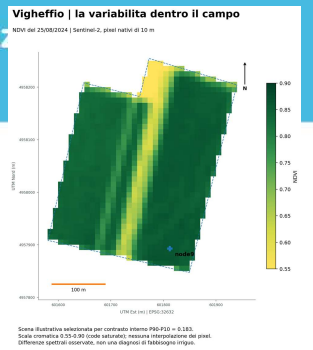
- Esplorazione della **variabilità intracampo**
- Esempio: zonazione storica multi-indice
  - Si analizza la storia (valori indici) dei pixel, verificando se il loro valore nel tempo rimane sopra o sotto media
  - Si aggregano i pixel per con criteri di prossimità (filtraggio spaziale)
- Consente analisi esplorative della risposta di diverse zone del campo per eventuali interventi di riequilibrio
- Analisi utile per collocare **nodi sensoriali**, effettuare campionamenti del suolo, confrontare la risposta a irrigazioni



Zona 1: Segnale generalmente inferiore alla media (soprattutto nel 2025 e 2026)
Zona 2: Segnale generalmente superiore alla media nelle stesse annate

STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltiva



Monitoraggio con dati satellitari

- Alcune applicazioni possibili:
  - Monitoraggio coltura e suolo per interventi prestagionali o intrastagionali
  - Irrigazione e/o fertirrigazione differenziata per aree, in base anche alla tipologia di sistema di irrigazione
  - Verifica condivisa degli interventi di gestione colturale e dei tagli

- Si può fare di più?
  - Un limite è la risoluzione a 10 m delle immagini Sentinel-2 (soluzioni commerciali satellitari consentono risoluzioni superiori, nel range 1-5 m)
  - Fisiopatie: ad es. intere zone soggette a condizioni di drenaggio diverse o malfunzionamento nel sistema di irrigazione (goccia?)
  - Fitopatie: Rilevazione plausibile in condizioni di infestazione grave e diffusa; possibile studio di correlazione tra IV con valori bassi e presenza di malattie su serie di dati storici validati, per identificare soglie di attenzione

Acquisizioni con telecamera multispettrale

- Telecamera Micasense Rededge P (6 bande spettrali)
- Acquisizioni 2026 in Az. Stuard (n. 7 interventi):
  - 17/4 (preparazione del campo pre-semina), 25/6, 1/7, 22/7
  - 18/9, 29/9 (prima del 4° taglio), 2/10 (dopo il 4° taglio)
- In mezzo: guasto e riparazione dello strumento di posizionamento



- L'acquisizione MS in prossimità consente di caratterizzare spazialmente la coltivazione anche con piccole parcelle
- In piccole parcelle sotto medesima irrigazione, i sensori nel suolo forniscono dati rappresentativi per l'umidità dell'intera parcella!
- Gli IV possono fornire informazioni diverse su coltura e suolo, anche se di natura sintetica e non biofisica (ruolo «proxy»)

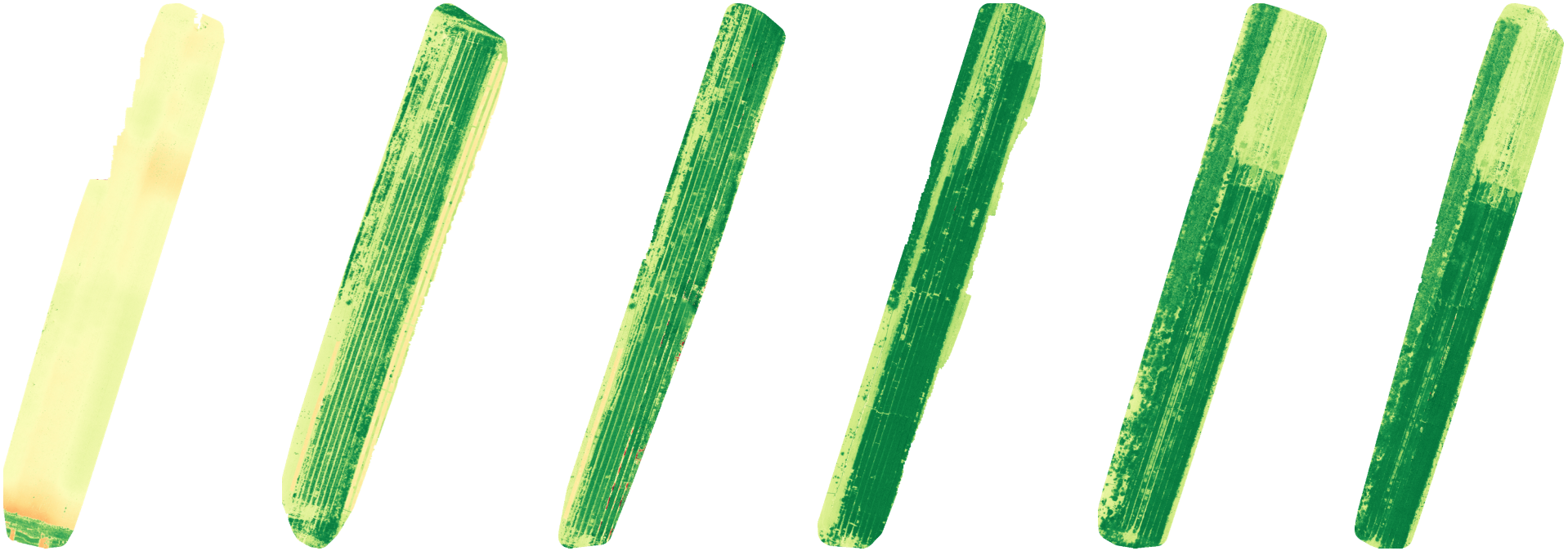


STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Acquisizioni con telecamera multispettrale: Ortomappa

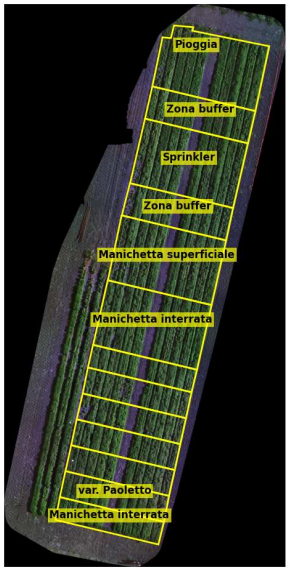
NDVI: 17/4 25/6 1/7 22/7 18/9 29/9



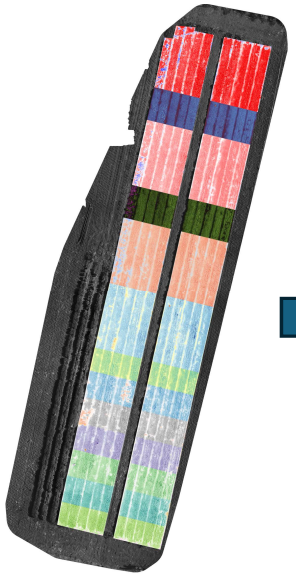
STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

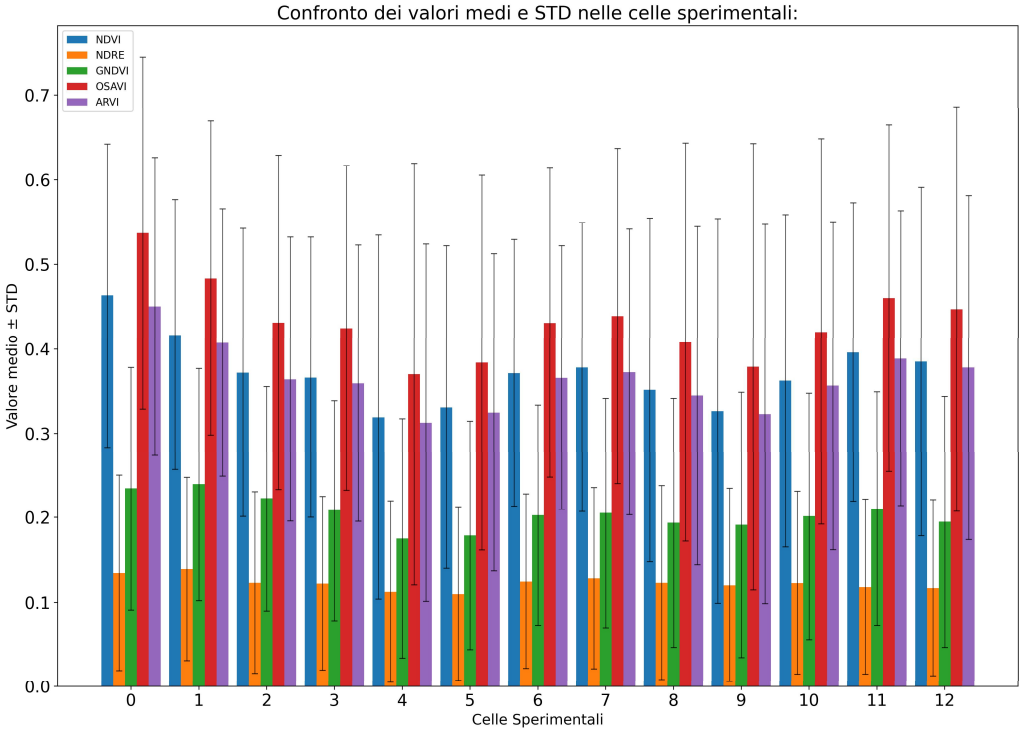
Analisi ortomappa (dati 2025)



Divisione ortomappa in celle



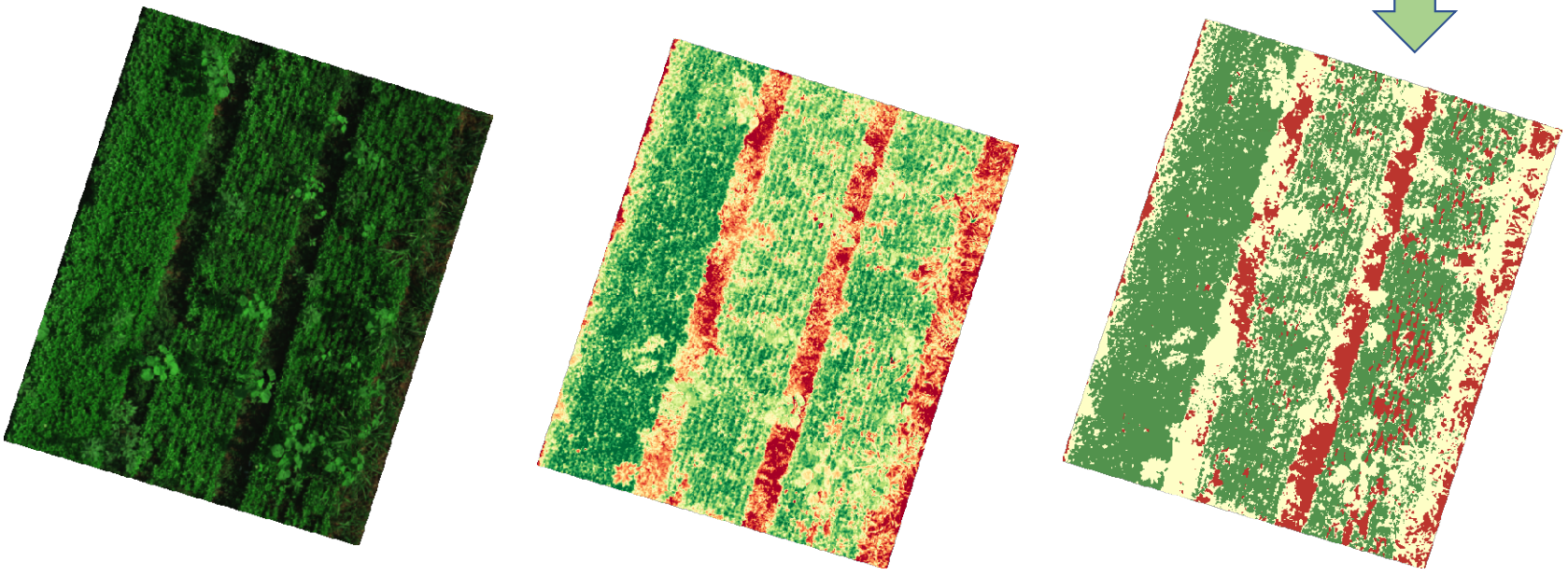
Calcolo indici vegetativi per cella



Confronto valori

Rilevazione infestanti da immagini multispettrale

- Da combinazione di indici NDYI e SAVI (rosso=terreno nudo, giallo=weeds, verde=basilico)



Acquisizioni con telecamera multispettrale

- Caratteristiche del monitoraggio con telecamera multispettrale in prossimità:
  - Rilievo accurato e ad elevata risoluzione (centimetrica)
  - Informazioni sintetiche indirette (come da satellite) ma in prossimità della coltura!
  - E' possibile rilevare la presenza di infestanti o di fisiopatie?
  - Correlazione tra indici sintetici (proposti in letteratura o da inventare) e presenza di infestanti o di peronospora? (possibile tema di ricerca)
- Il rilievo con telecamera multispettrale, anche quando eseguito con adeguata frequenza:
  - E' un'azione discontinua e soggetta a incertezze (maltempo, vento, guasti degli apparati)
  - Per un campo «da industria» di 10 ha sono necessari più voli e più set di batterie!
  - Elevata dipendenza da agricoltore «smart» o contoterzista esterno
  - Monitoraggio satellitare e sensori al suolo forniscono informazioni con maggiori garanzie di continuità
- Ruoli complementari?

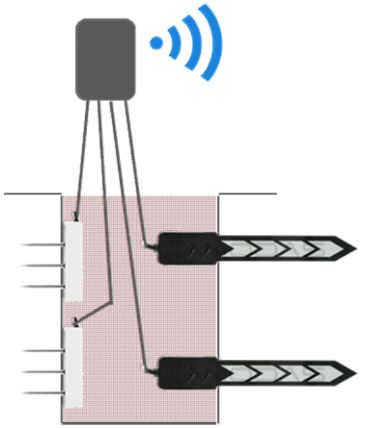
STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

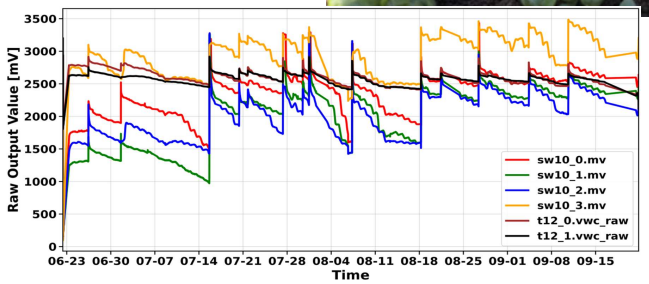
Acquisizioni con sensori di umidità nel suolo

- Due **nodi multisensoriali** installati in tesi irrigate a goccia (Nodo 1) e ad aspersione (Nodo 2)
- Ogni nodo: 4 sensori analogici SW10 (profondità 10, 20, 30, 40 cm) e 2 sensori digitali T12 (profondità 15, 30 cm)
- Sensori con diversi principi di funzionamento: costo, accuratezza ed esigenze di calibrazione diverse
- Sistema **edge e IoT**: µC low-power STM32WL, radio LoRa, batterie AA, acquisizione e trasmissione dati ogni 10 minuti tramite gateway on-premise e network server
- Possibilità di confronto delle rilevazioni con i dati delle sonde Sentek







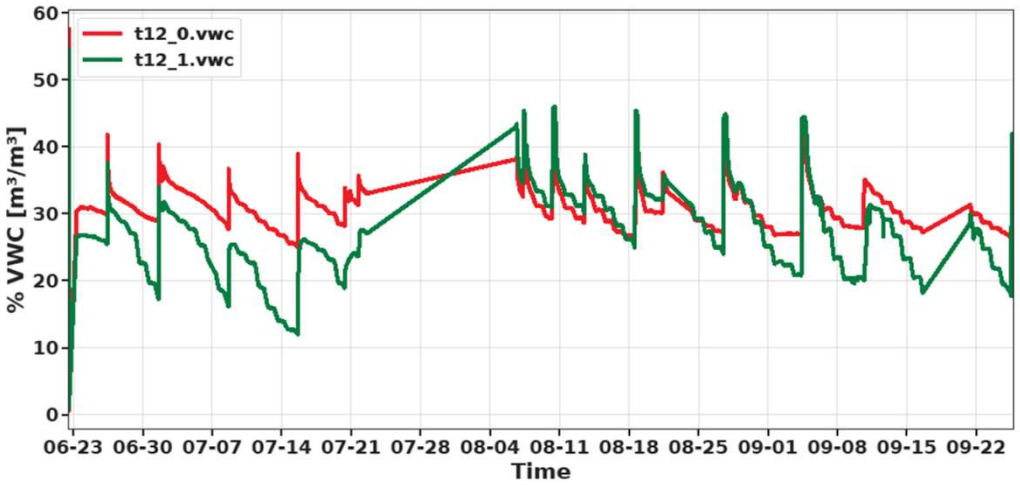


STREAM2B

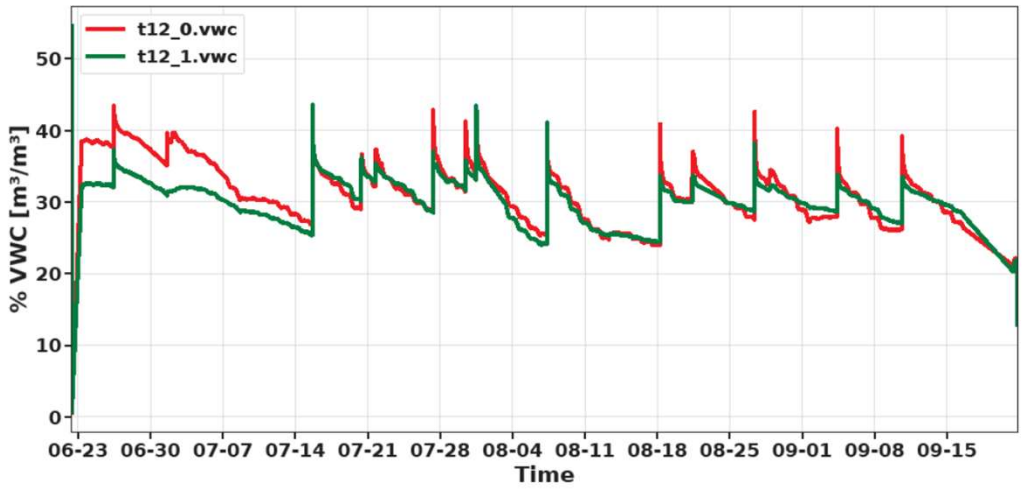
STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Acquisizioni con sensori di umidità nel suolo

- Pattern di umidità del terreno diversi, per effetto dei diversi sistemi irrigui (dati 2026)



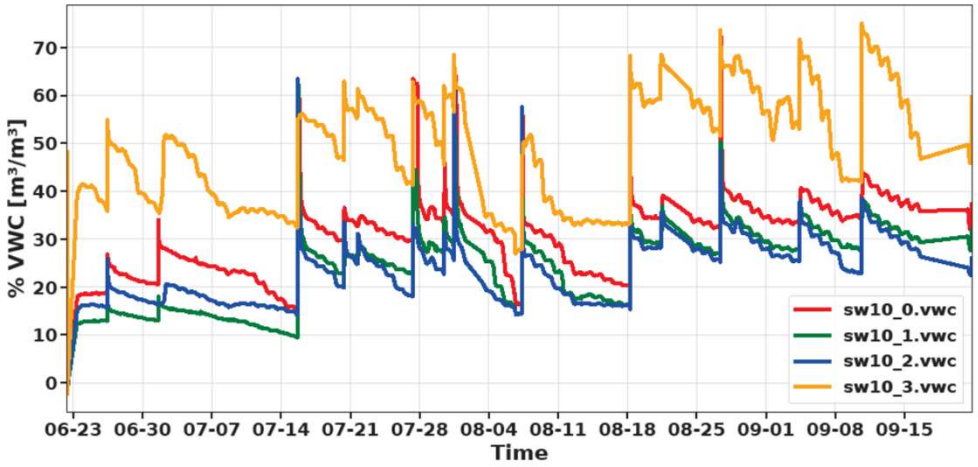
Nodo 1 (goccia)



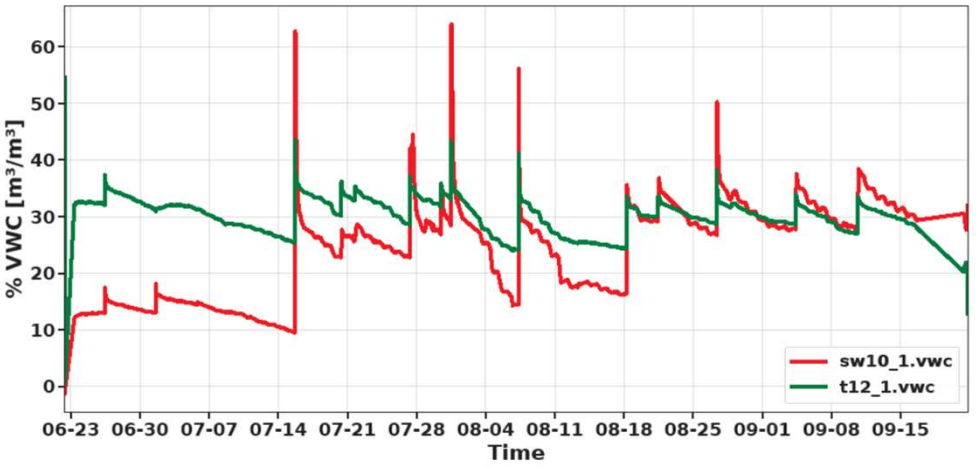
Nodo 2 (aspersione)

Acquisizioni con sensori di umidità nel suolo

- Sensori analogici identificano correttamante eventi irrigui e piogge, maggiore umidità
- Necessitano di calibrazione dinamica per restituire valori quantitativi sensati



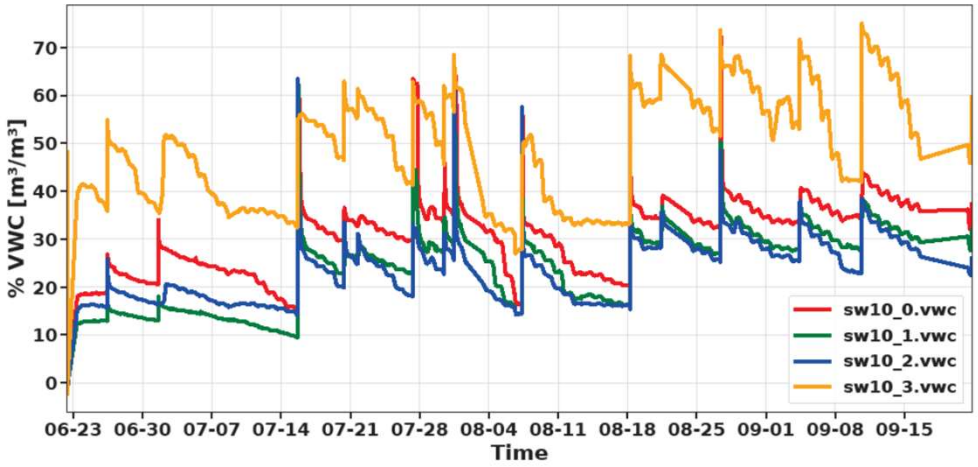
Sensori analogici a diversa profondità (Nodo 2)
Umidità più elevata al livello superficiale (10 cm)



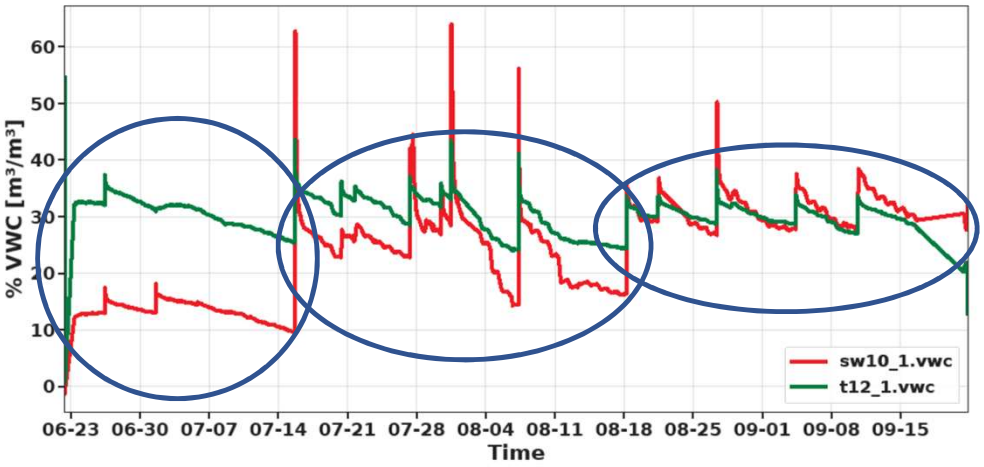
Sensore analogico e digitale a 30 cm (Nodo 2)

Acquisizioni con sensori di umidità nel suolo

- Sensori analogici identificano correttamante eventi irrigui e piogge, maggiore umidità
- Necessitano di calibrazione dinamica per restituire valori quantitativi sensati



Sensori analogici a diversa profondità (Nodo 2)
Umidità più elevata al livello superficiale (10 cm)



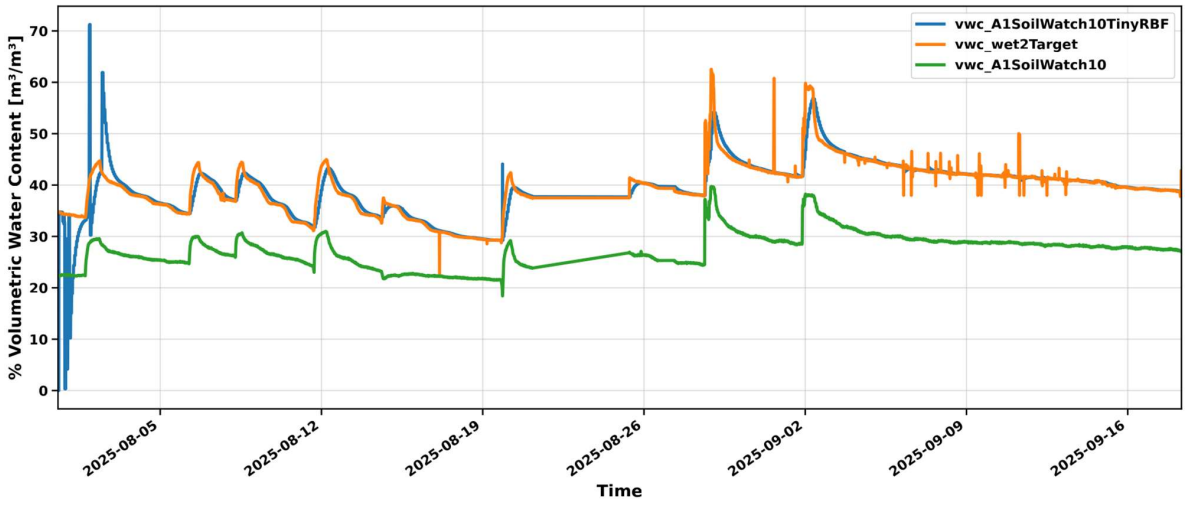
Sensore analogico e digitale a 30 cm (Nodo 2)
Necessarie calibrazioni diverse nel tempo!

Acquisizioni con sensori di umidità nel suolo

- Calibrazione dinamica on-device di sensori a basso costo
- Si basa su disponibilità di qualche riferimento periodico o sporadico (diverse architetture AI - TinyML oggetto di studio)
- Sfide: flusso dati downlink, impatto su energia (consumi del nodo), limitazioni computazionali

- Studio preliminare con riferimento disponibile ogni 6 ore:

- Obiettivo: ricalibrazione dinamica on-device in base a dati periodici da centralina meteo, per mutate condizioni ambientali



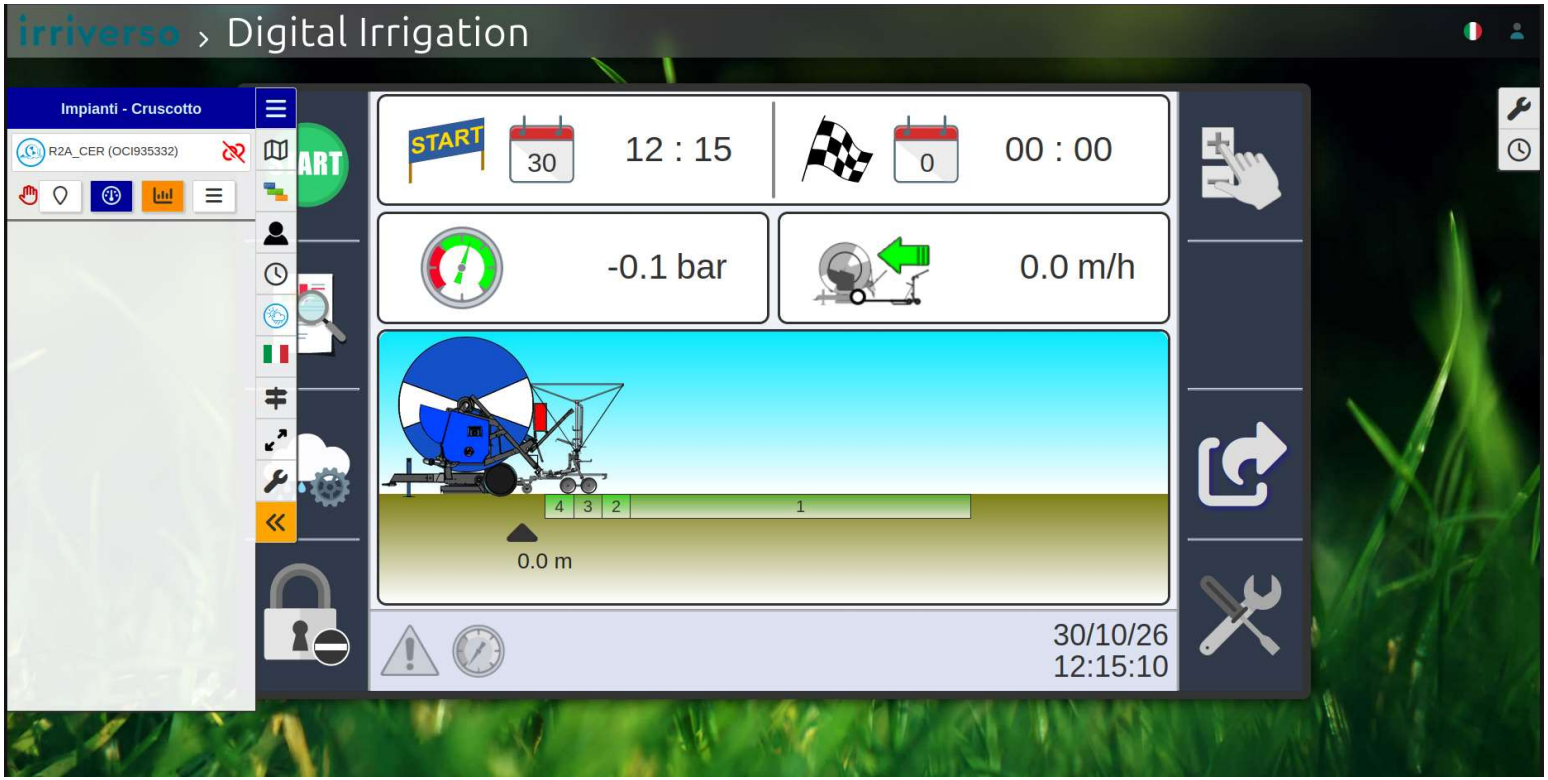
Acquisizioni con sensori di umidità nel suolo

- Caratteristiche e limiti:
  - Abilitano **acquisizione continua** di valori di umidità del suolo, anche in configurazioni multilivello: tradeoff tra accuratezza e costo dei nodi
  - Restituiscono pattern di umidità del suolo diversi in base al tipo di irrigazione
  - Chiaro **significato fisico degli andamenti** rilevati e correlazione con eventi come pioggia, irrigazione, ciclo evapotraspirazione giorno/notte
  - Nei sensori analogici (più economici, adatti per un impiego ad alta densità), la **calibrazione** necessaria per ottenere un dato quantitativo ragionevole resta impegnativa
  - Una calibrazione statica è soggetta a derive e variazioni per eventi meteo intensi o lavorazioni in campo ⇒ **calibrazione dinamica** con tecniche di *on-line learning?*
  - Anche i sensori nel suolo hanno un tema di **affidabilità**! (piogge, sole, roditori, lavorazioni)
  - **App e dashboard** consentono di monitorare i flussi sensoriali e di rilevare la necessità di interventi di ripristino

STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Dalla ricetta irrigua alle macchine irrigatrici



- Interfacciamento con macchine VR: **pivot e rotoloni** *FarmFront* **e altri**
- I **produttori di macchine** sono aperti ad **integrazione con sistemi di consiglio irriguo** interni e di terze parti

STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Dalla ricetta irrigua alle macchine irrigatrici



STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

Aspetti sistemistici per una irrigazione data-driven

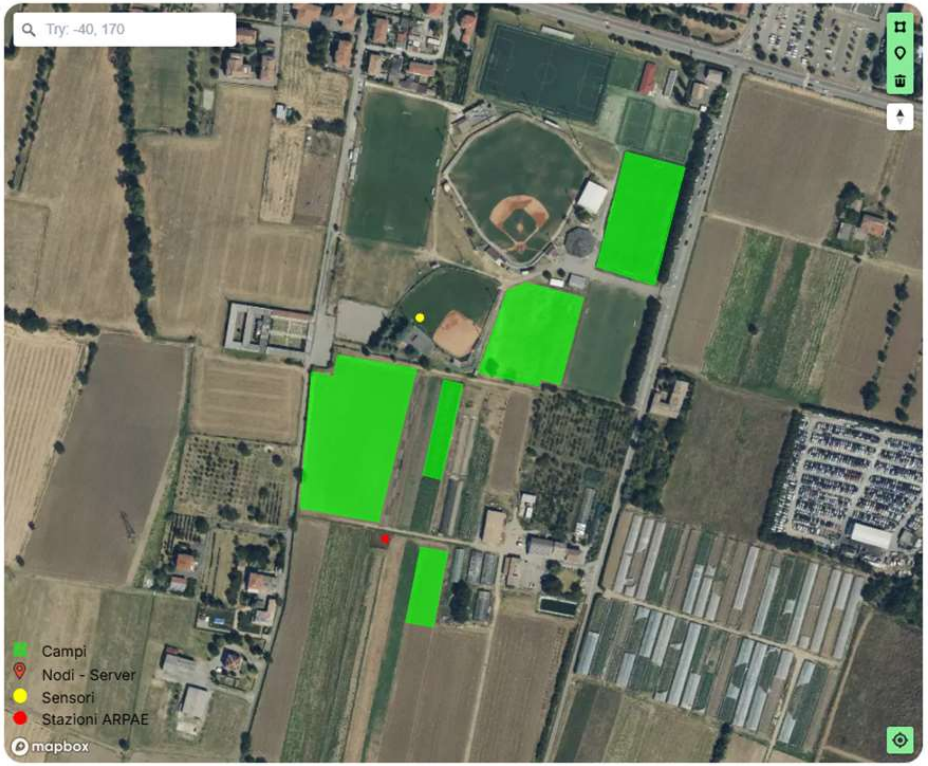
- Acquisizione di **immagini multispettrali** da satellite e/o telecamera MS (*application server locale o 3rd party*)
- Acquisizione di dati da **sensori in suolo** (pluralità di sensori analogici e digitali disponibili)
- Trasmissione ad **Irriframe** di mappe di indici vegetazionali e di dati da sensori
- Integrazione in Irriframe di mappe IV e di dati sensoriali per correggere il **consiglio irriguo** generato dal modello di crescita della coltura e dalle altre fonti informative
- Generazione in Irriframe di **consiglio a rateo variabile** (sistemi irrigui per settori o segmenti)
- Adattamento del consiglio alla **specifica macchina di irrigazione**
- Da monitorare **standard e ontologie emergenti** (*FiWire Smart Data Models* e *Spoke3 Agritech*) per garantire e mantenere compatibilità nella integrazione dei flussi di dati sensoriali

- Ogni fase di elaborazione o gestione dei dati può essere realizzata da una **pluralità di attori**

STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

YAAD! - Yet Another Agricultural Dashboard?



Integra funzionalità per uno strumento di monitoraggio snello e vendor-independent:

- autenticazione
- tracciamento poligono campo
- inserimento nodo sensoriale
- visualizzazione flussi sensoriali
- visualizzazione mappe VI da satellite
- interazione frontend - backend (server)

- privatezza, ownership dei dati, condivisione dati flessibile e controllata
- i dati sono e restano dell'agricoltore

STREAM2B

STRategie di EfficientAMenTO della risorsa idrica nella coltivazione del Basilico

STREAM2B: accompagnamo con i dati la coltivazione del basilico da industria

Grazie per l'attenzione

ICT4Ag CIDEA – UNIPR

stefano.caselli@unipr.it