

Smart Agriculture: Nuove Tecnologie Informatiche in Agrometeorologia e Agronomia

dott. Fis. Simone Parisi

LE 4 FONDAMENTALI INNOVAZIONI IN AGRICOLTURA



1. Meccanizzazione
(1700)



2. Chimica Agricola
(1940)



3. Agricoltura di Precisione
(1980-90)



4. Agricoltura Digitale
(2015)

AGRICOLTURA DI PRECISIONE

L'Agricoltura di Precisione è un sistema integrato di gestione della produzione agricola e forestale che impiega strumenti e tecnologie per

fare la cosa giusta, nel posto giusto, al momento giusto.

Obiettivo:

- ottimizzare l'efficienza della produzione agricola e la qualità dei prodotti
- aumentare la sostenibilità climatica e ambientale
- produrre più cibo con meno input in modo sostenibile
- rendere l'azienda più competitiva e garantirne la redditività



Che cosa rende "intelligente" l'agricoltura?

L'intelligenza nell'agricoltura deriva dalla capacità di integrare tecnologia e conoscenza per ottimizzare ogni aspetto del ciclo produttivo. Gli elementi chiave sono:

1. Sensori IoT e raccolta dati:

1. Rilevano in tempo reale parametri come umidità del suolo, livello di nutrienti, condizioni meteo-climatiche.
2. Forniscono informazioni dettagliate che permettono interventi tempestivi e mirati.

2. Analisi dei dati (Big Data e AI):

1. I dati raccolti vengono elaborati per individuare pattern, fare previsioni e pianificare strategie.
2. L'intelligenza artificiale può suggerire il miglior momento per seminare o raccogliere, ottimizzare i consumi di acqua o prevedere attacchi di parassiti.

3. Automazione e robotica:

1. Macchine intelligenti riducono l'intervento umano e garantiscono precisione.
2. Robot per la raccolta, l'irrigazione o la semina possono operare autonomamente.

4. Sistemi di supporto decisionale:

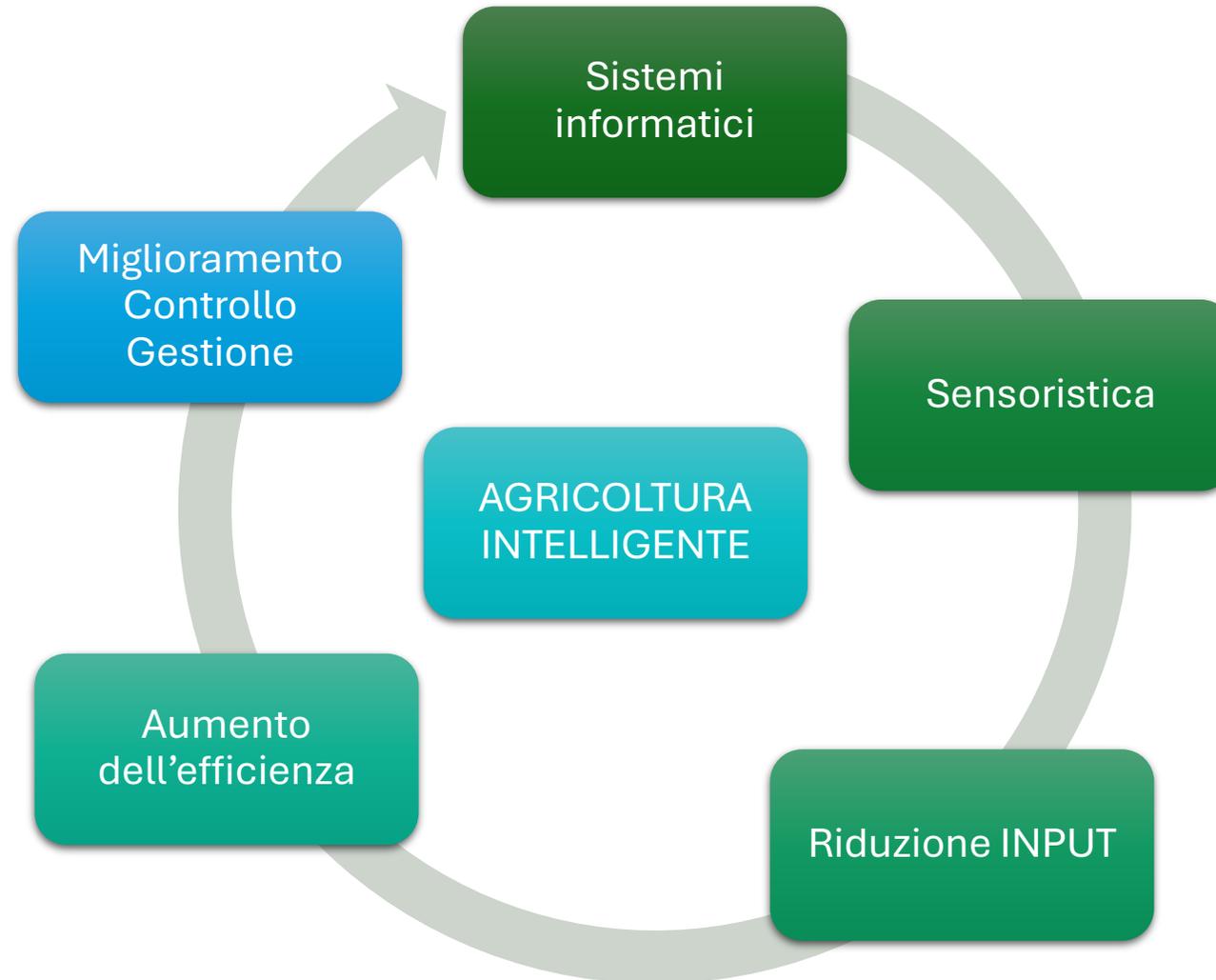
1. Le piattaforme digitali aggregano le informazioni e propongono azioni basate su dati in tempo reale.
2. Gli agricoltori possono prendere decisioni informate o lasciare che il sistema operi in autonomia.

5. Connettività:

1. La comunicazione tra macchine, sensori e piattaforme è continua e in tempo reale grazie alla rete (es. 5G).
2. Ciò garantisce una gestione integrata di ogni fase del processo produttivo.

Smart Farming

Schema concettuale dello Smart Farming



Interdisciplinarietà

L'interdisciplinarietà è il cuore pulsante dell'agricoltura smart e di precisione 4.0.

È grazie alla collaborazione tra fisici, chimici, ingegneri, economisti e agronomi che oggi è possibile immaginare un'agricoltura più efficiente, sostenibile e resiliente. Tuttavia, per massimizzare i benefici, è necessario affrontare le sfide legate alla formazione, ai costi e all'integrazione delle conoscenze.



Intelligenza Artificiale applicata all'Agricoltura

L'intelligenza artificiale (IA) trova applicazione in numerosi ambiti dell'agricoltura moderna, aiutando gli agricoltori a ottimizzare le risorse, aumentare i raccolti e ridurre l'impatto ambientale. Ecco alcuni esempi pratici:

- **Monitoraggio delle colture**
 - **Analisi tramite droni e immagini satellitari:** L'IA analizza immagini per rilevare lo stato di salute delle piante, individuare malattie, stress idrico o carenze nutrizionali.
- **Sensori IoT con analisi predittiva:**
 - Sensori nel terreno monitorano umidità, temperatura e composizione del suolo. I dati vengono analizzati per suggerire interventi mirati.
- **Ottimizzazione delle risorse**
 - **Irrigazione intelligente:** Sistemi basati sull'IA calcolano esattamente quanta acqua serve, riducendo gli sprechi e migliorando la resa delle colture.
- **Dosaggio personalizzato di fertilizzanti e pesticidi:**
 - Analisi predittive permettono di usare la quantità minima necessaria di input chimici, migliorando sostenibilità e risparmio economico.
- **Prevenzione delle malattie**
 - **Diagnosi precoce:** Algoritmi di riconoscimento delle immagini analizzano foglie, frutti o fiori per rilevare i segni di malattie o infestazioni in modo tempestivo.
- **Previsioni basate sui dati meteo:**
 - L'IA combina dati storici e previsioni meteorologiche per avvertire gli agricoltori del rischio di malattie fungine o parassiti.

Intelligenza Artificiale applicata all'Agricoltura

- **Automazione del lavoro agricolo**
 - **Trattori e robot autonomi:** Macchinari agricoli autonomi guidati dall'IA possono seminare, irrigare, raccogliere e trattare le colture con precisione.
 - **Raccolta automatizzata:** Robot dotati di visione artificiale selezionano e raccolgono frutti o verdure alla maturazione ottimale.
- **Pianificazione e gestione aziendale**
 - **Previsioni di resa:** Algoritmi analizzano dati storici e attuali per prevedere la produzione, aiutando a pianificare il raccolto e le vendite.
 - **Gestione delle colture e della rotazione:** L'IA suggerisce quali colture piantare, quando e dove, per massimizzare la resa e migliorare la fertilità del suolo.
- **Mercati e logistica**
 - **Ottimizzazione della filiera produttiva:** L'IA analizza dati per pianificare la logistica del trasporto, riducendo sprechi post-raccolta e migliorando la distribuzione.
 - **Analisi dei prezzi di mercato:** Algoritmi predittivi analizzano i dati di mercato per suggerire i migliori momenti per vendere i prodotti.

Intelligenza Artificiale applicata all'Agricoltura

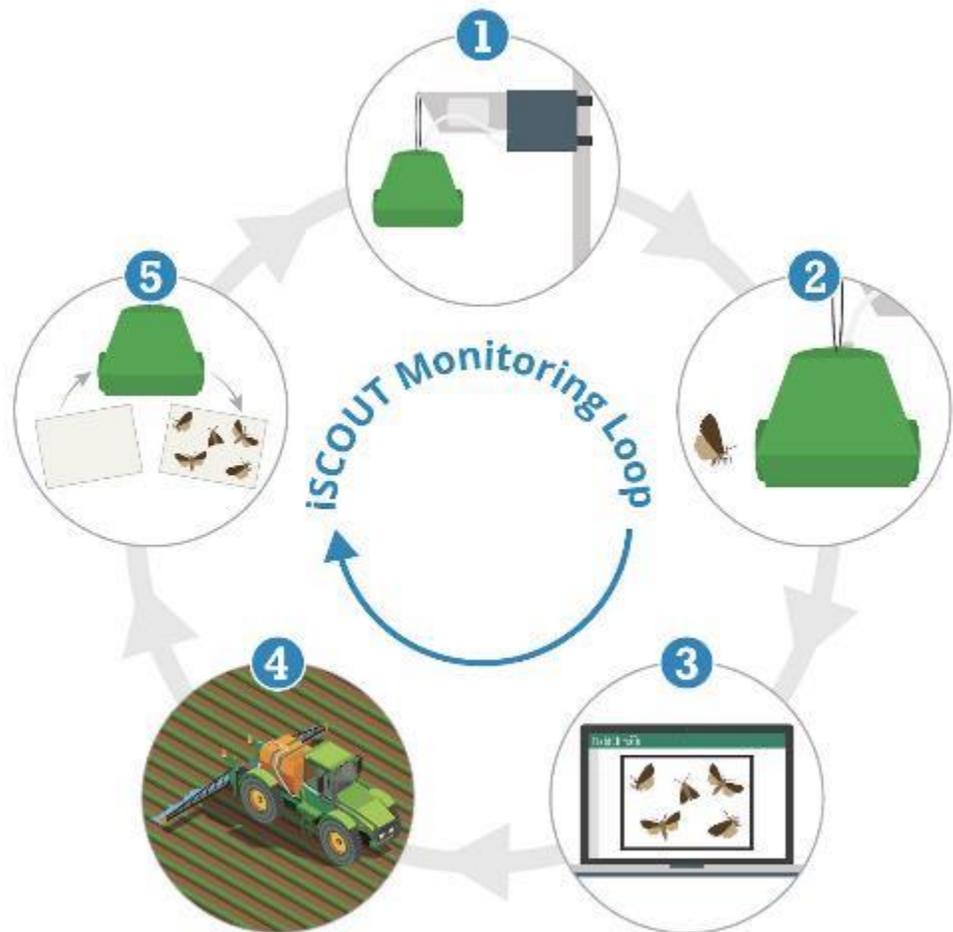
- **Agricoltura di precisione**
 - **Zone di campo personalizzate:** L'IA divide il campo in micro-zone, ognuna con strategie specifiche di gestione delle risorse.
 - **Mappe di prescrizione:** Creazione di mappe dettagliate per applicazioni mirate di fertilizzanti, semi e pesticidi.
- **Coltivazioni verticali e indoor**
 - **Gestione delle serre:** L'IA controlla luce, temperatura, umidità e nutrienti in ambienti chiusi, ottimizzando la produzione in coltivazioni verticali.
 - **Pianificazione basata sui dati:** Algoritmi analizzano quali piante coltivare per soddisfare la domanda locale, massimizzando i profitti.



Sensoristica meteorologica



Trappole Intelligenti



Sensoristica per il terreno



Sensori prossimali del suolo

Sensori ad induzione elettromagnetica (EMI) misurano la conducibilità elettrica (EC). Una corrente è indotta al suolo attraverso un campo magnetico a bassa frequenza originato da un elettrodo posto sopra il terreno. La distribuzione spaziale di questo flusso è una funzione della conducibilità elettrica del suolo che è l'inverso della resistività.

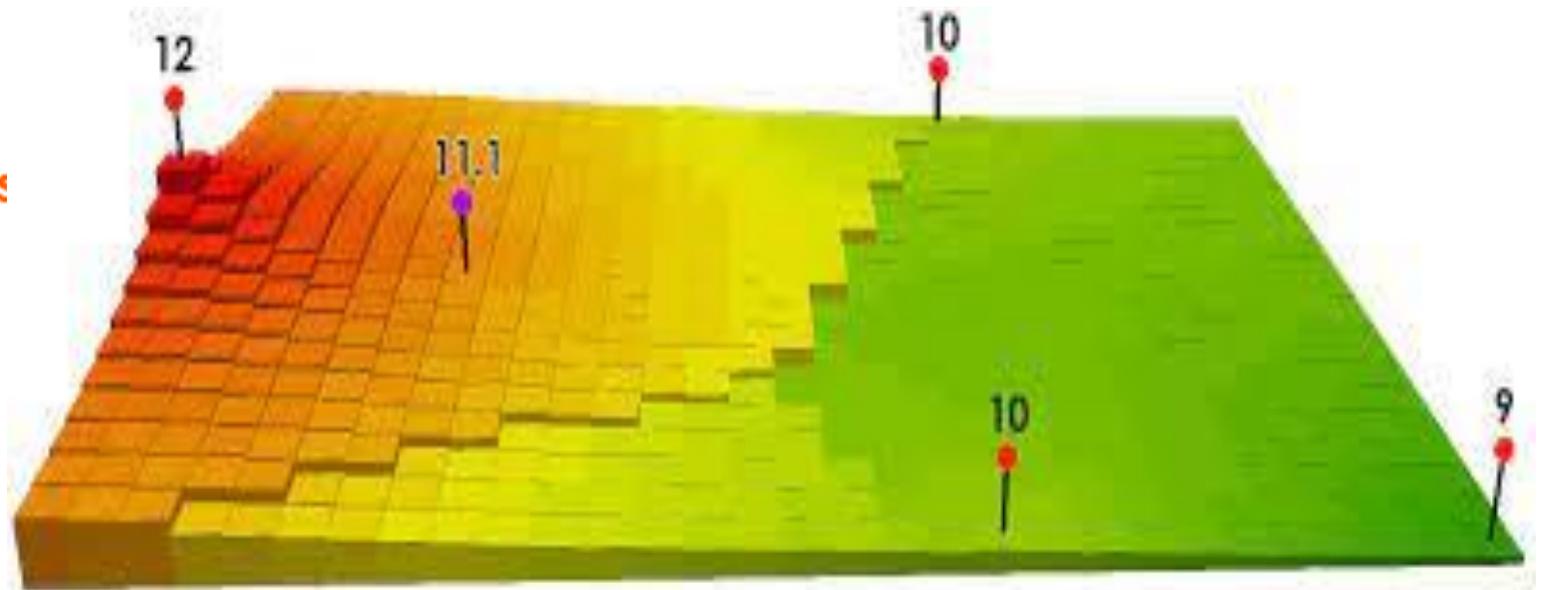
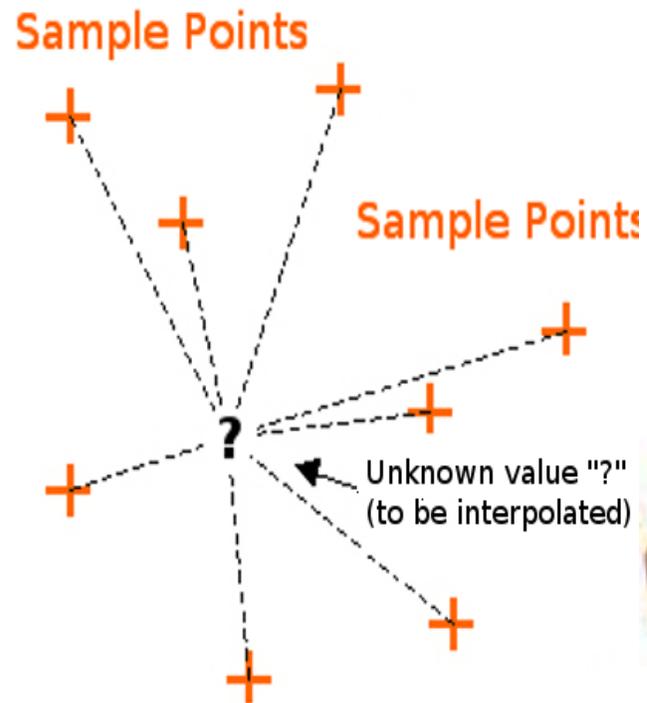
Sensori a corrente diretta (DC) misurano la resistività elettrica (ER). Iniettano corrente elettrica tramite elettrodi mobili che investe un volume di suolo e sottosuolo.



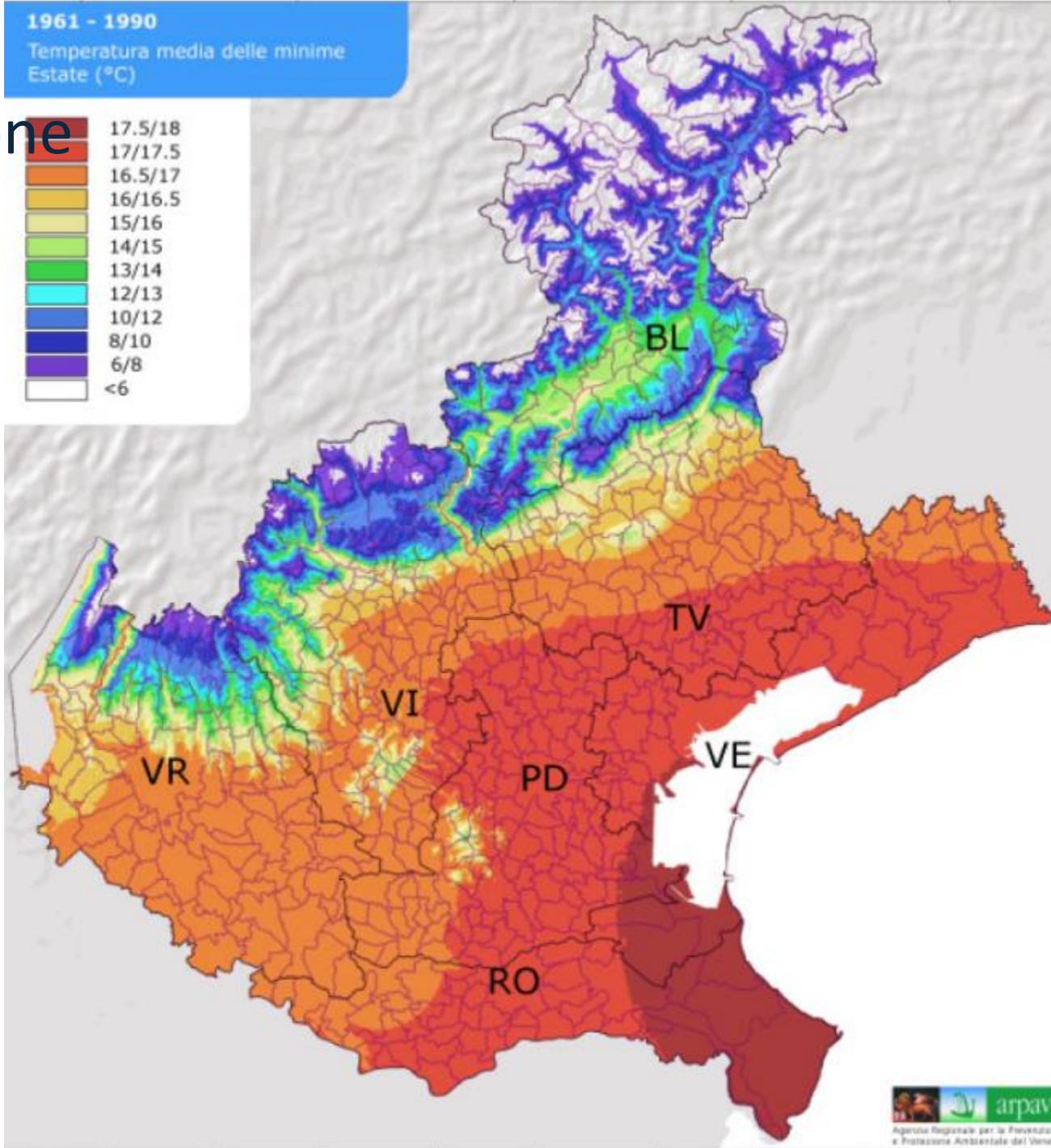
Sensori prossimali per il monitoraggio della coltura



Spazializzazione dei dati tramite Geo-Statistica



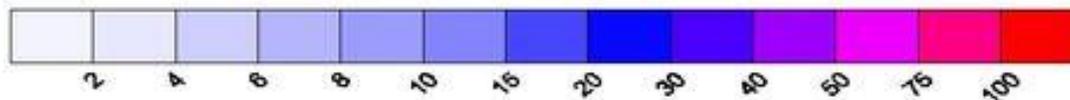
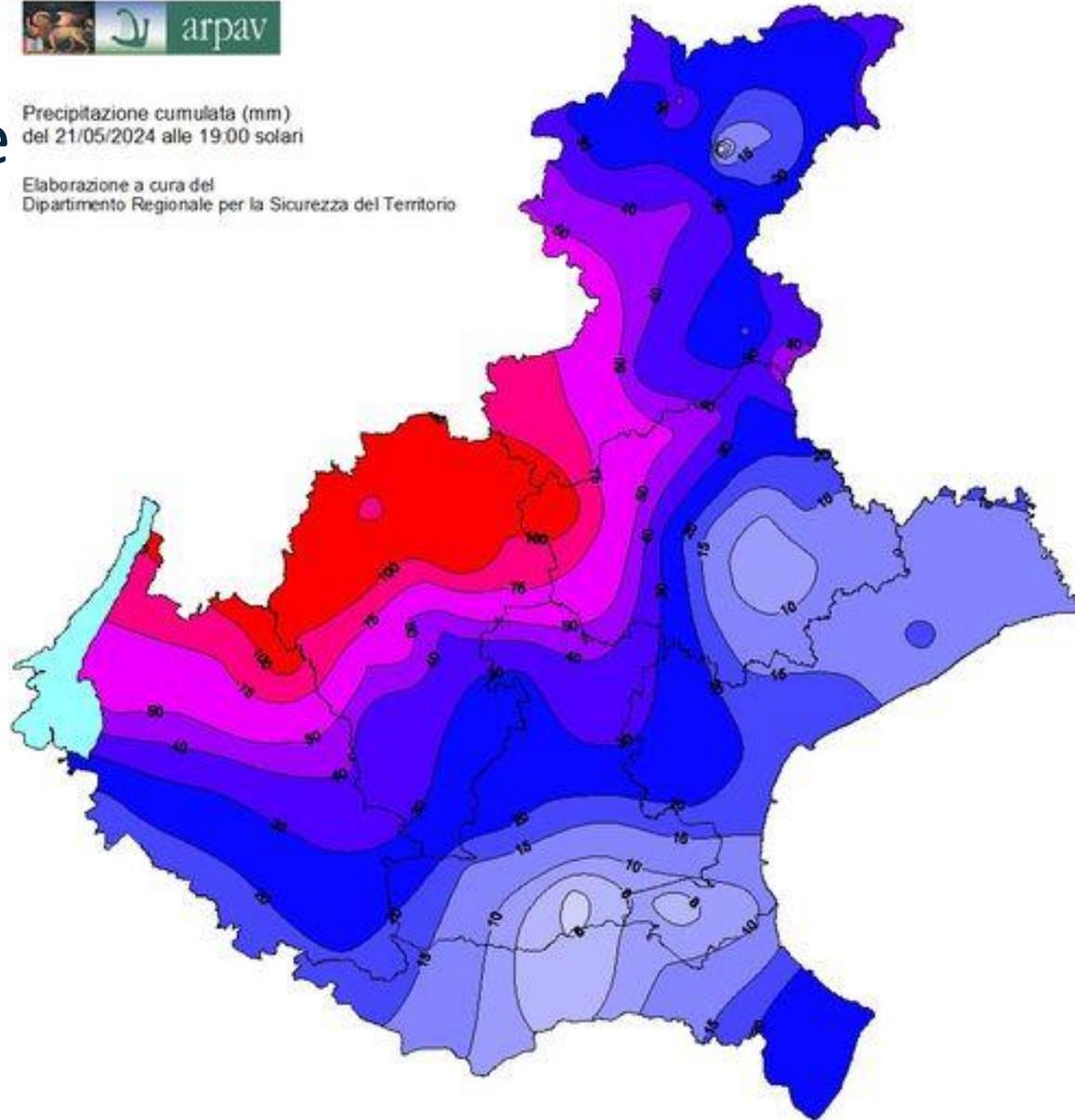
Spazializzazione Temperatura



Spazializzazione Precipitazioni

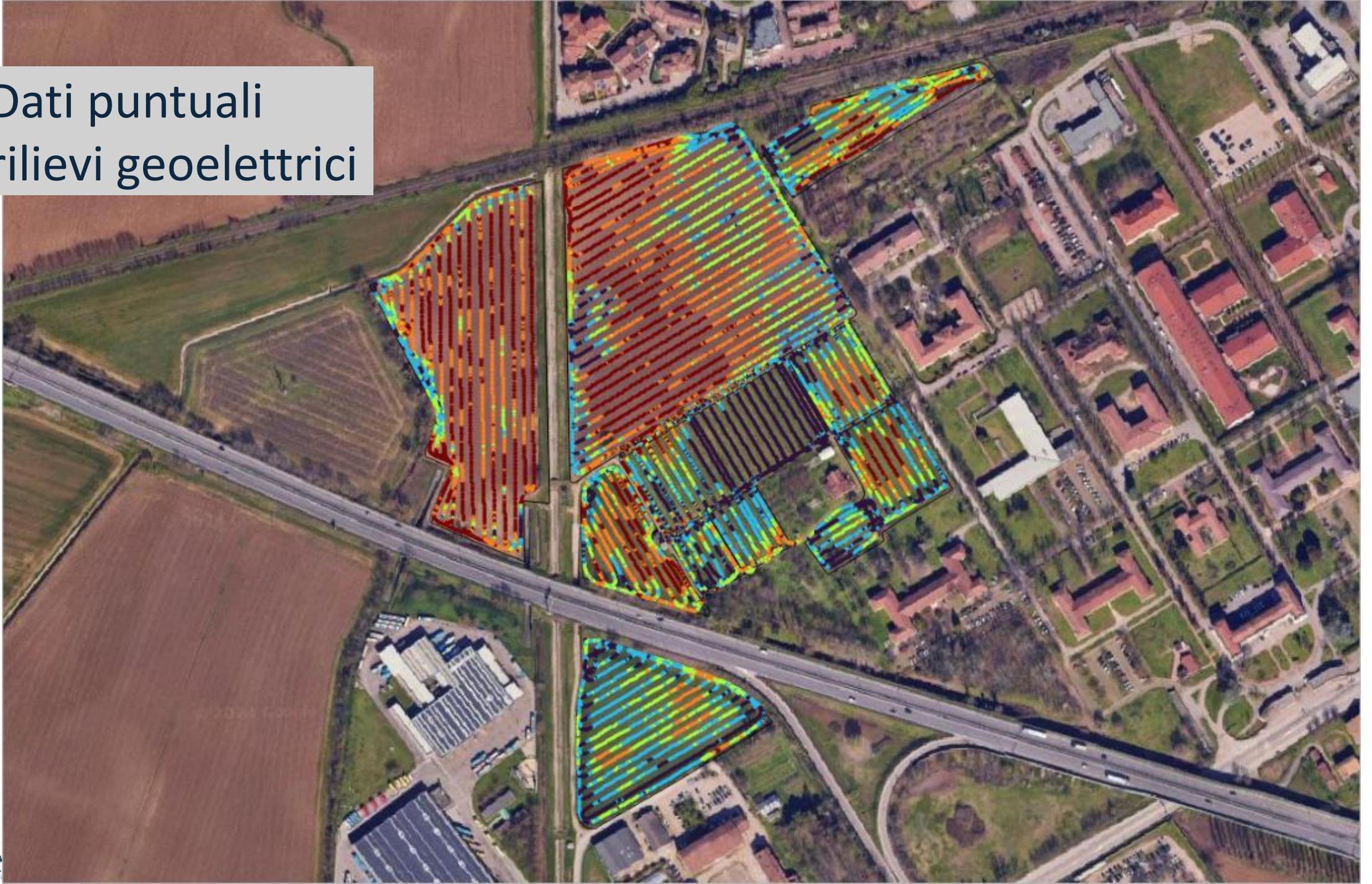
Precipitazione cumulata (mm)
del 21/05/2024 alle 19:00 solari

Elaborazione a cura del
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio

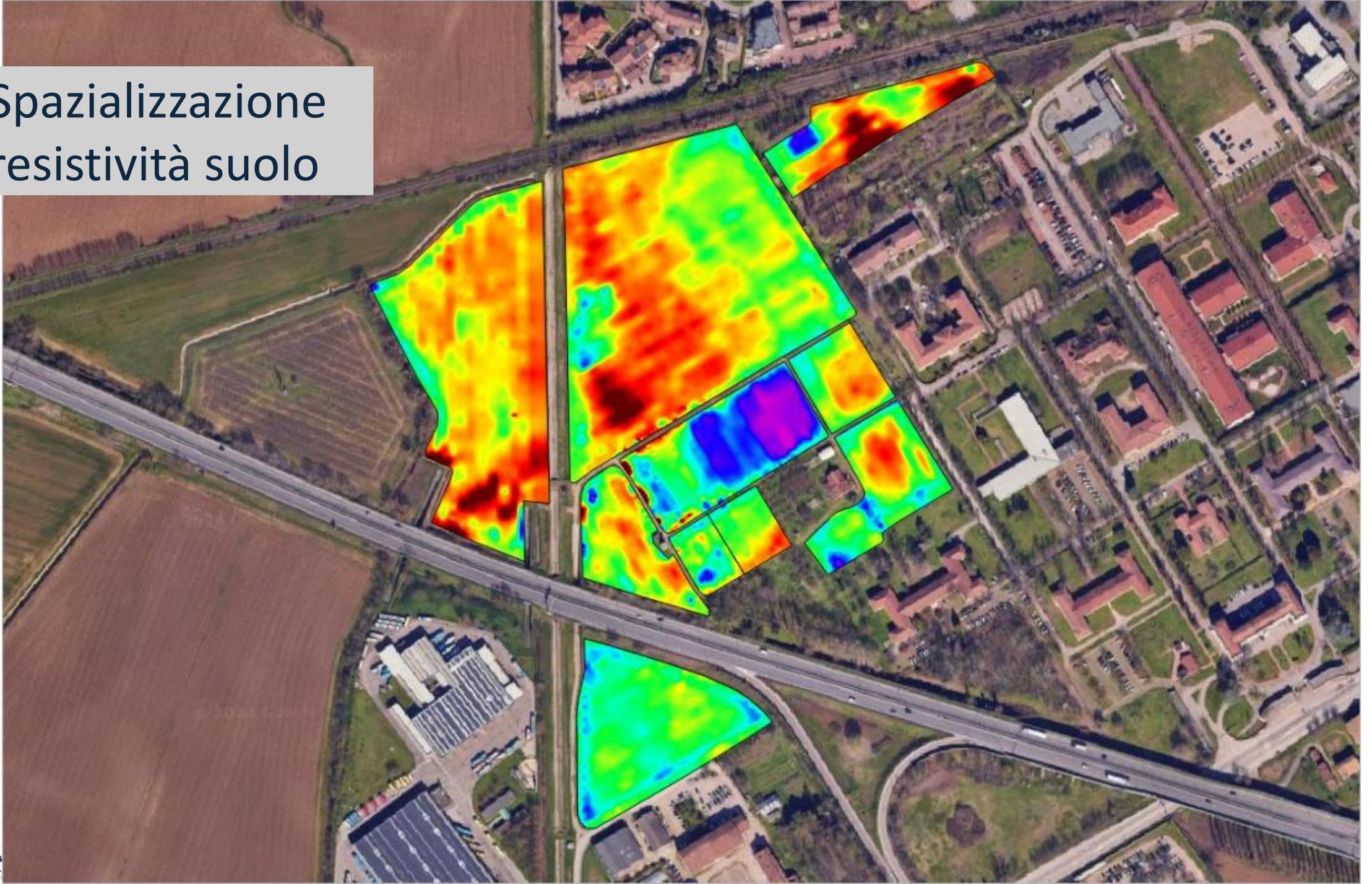


Spazializzazione con Kriging senza nessun aggiustamento per quota/esposizione.
Mappa elaborata il 21/05/2024 alle 19:45 solari con dati non validati.

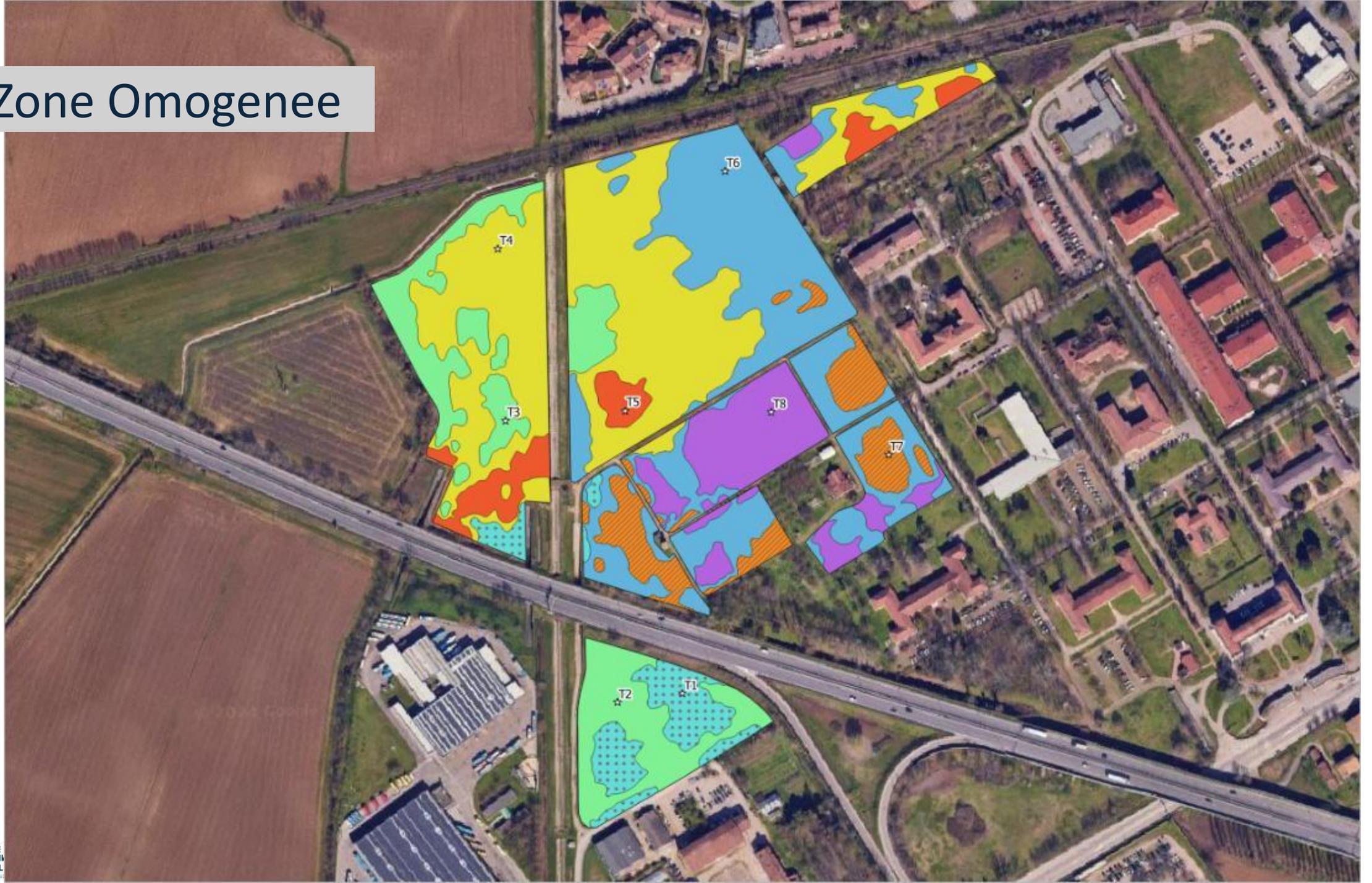
Dati puntuali rilievi geoelettrici



Spazializzazione resistività suolo



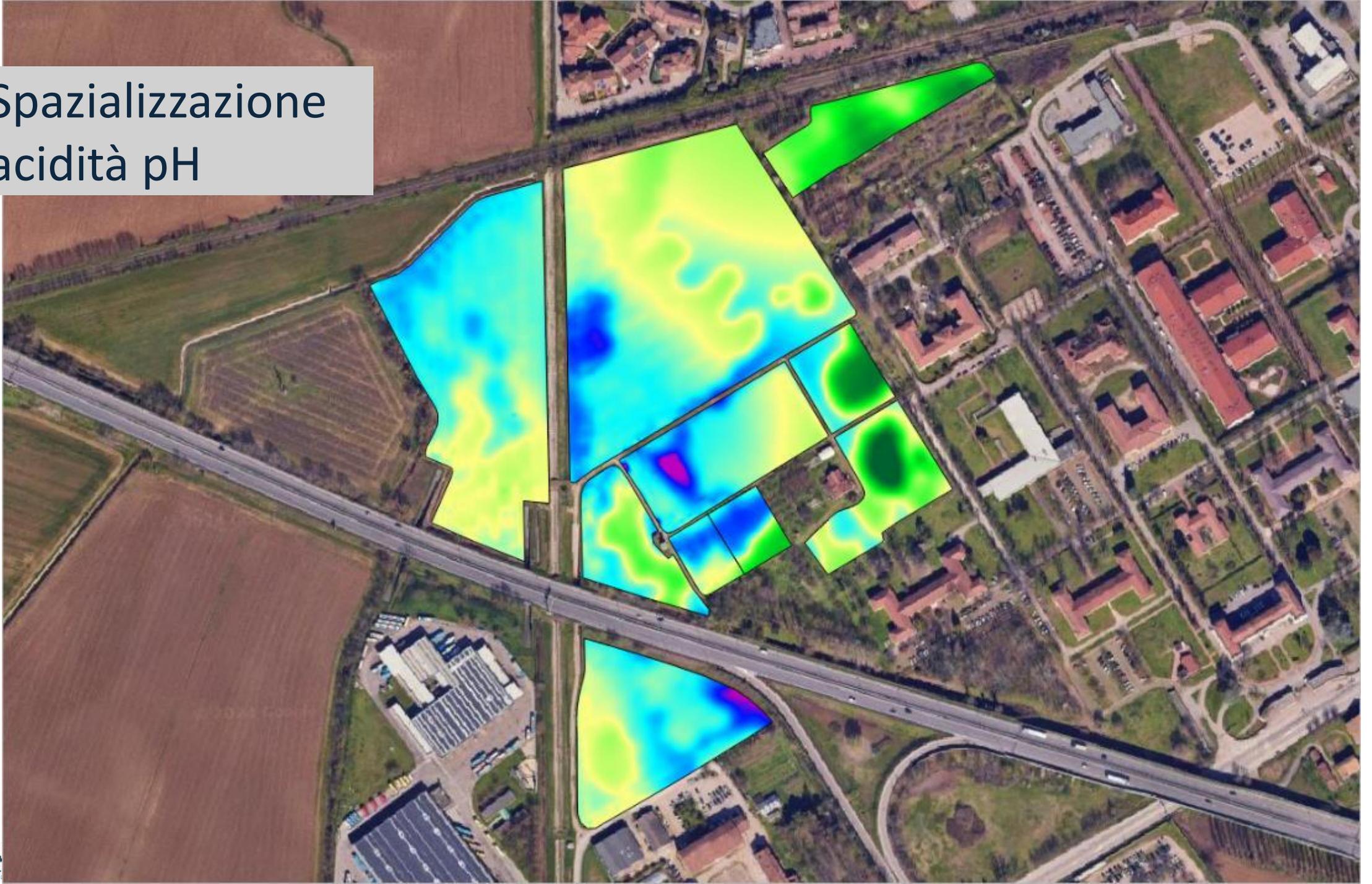
Zone Omogenee



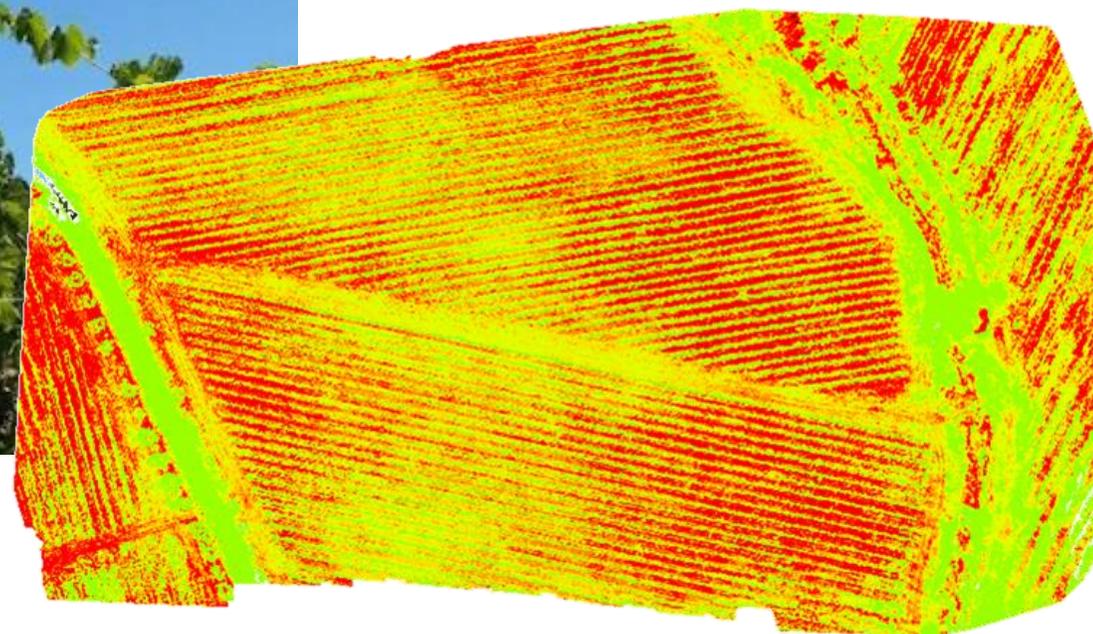
Spazializzazione % Sabbia



Spazializzazione acidità pH



Droni Multispettrali



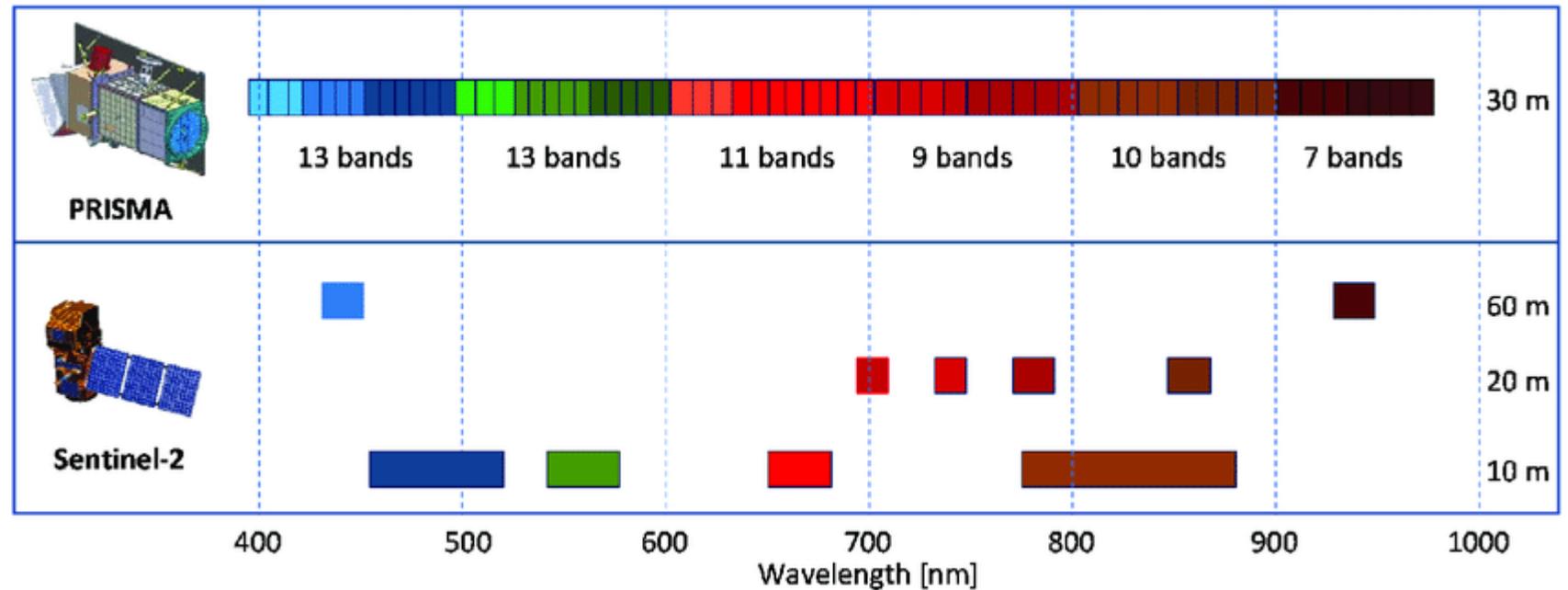
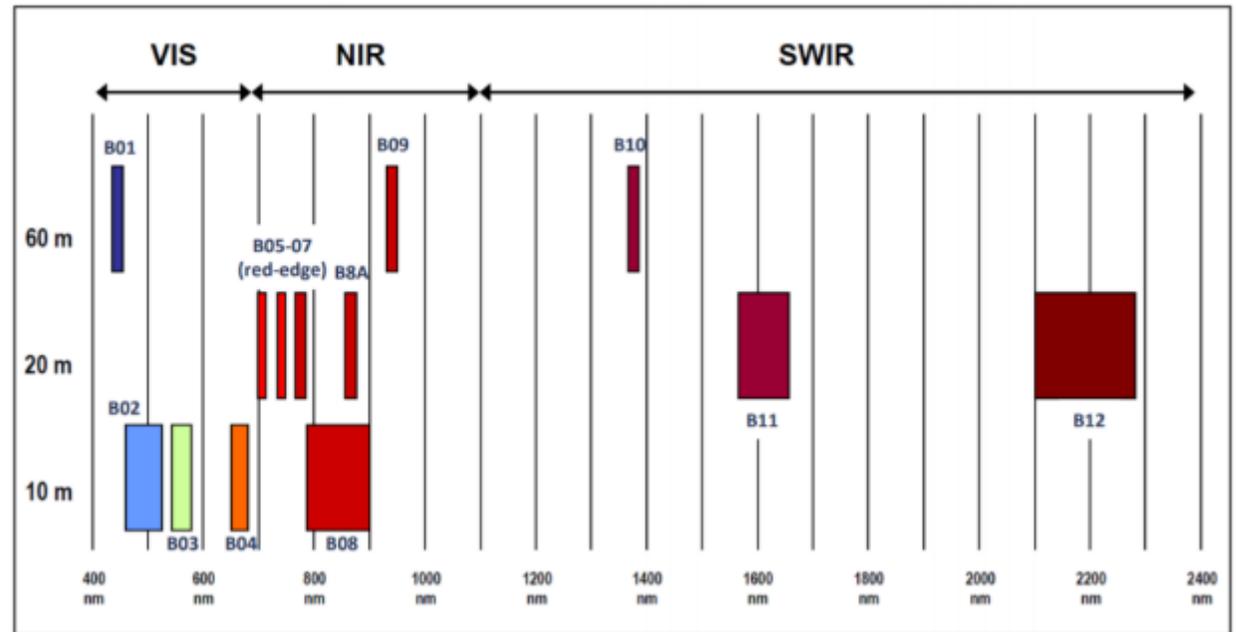
I Satelliti multispettrali ed iperspettrali

TELERILEVAMENTO

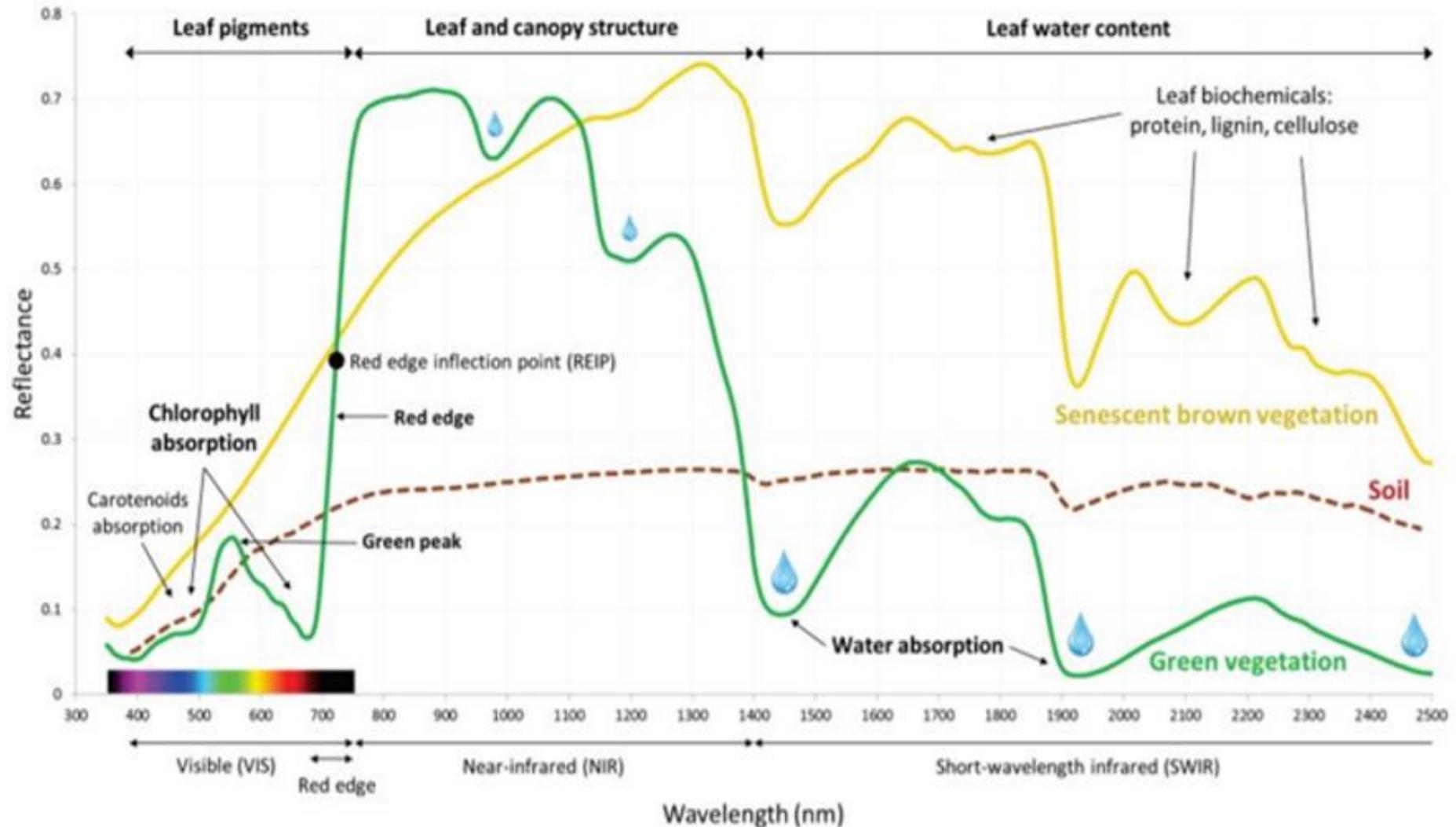
Metodo per ottenere informazioni basate sulla raccolta di dati con strumenti che non siano in contatto diretto con l'oggetto studiato.



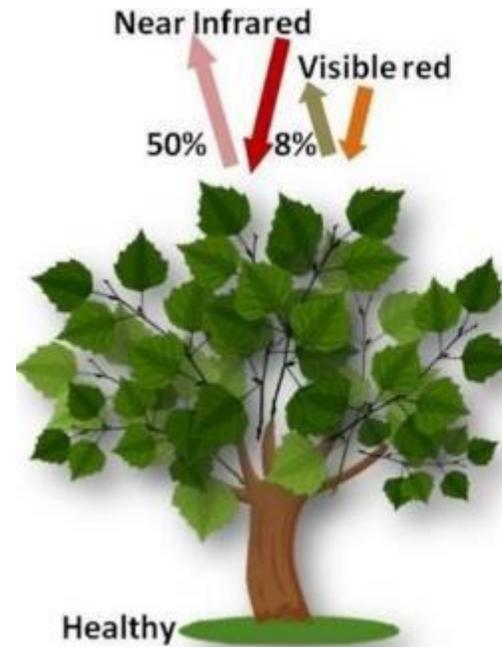
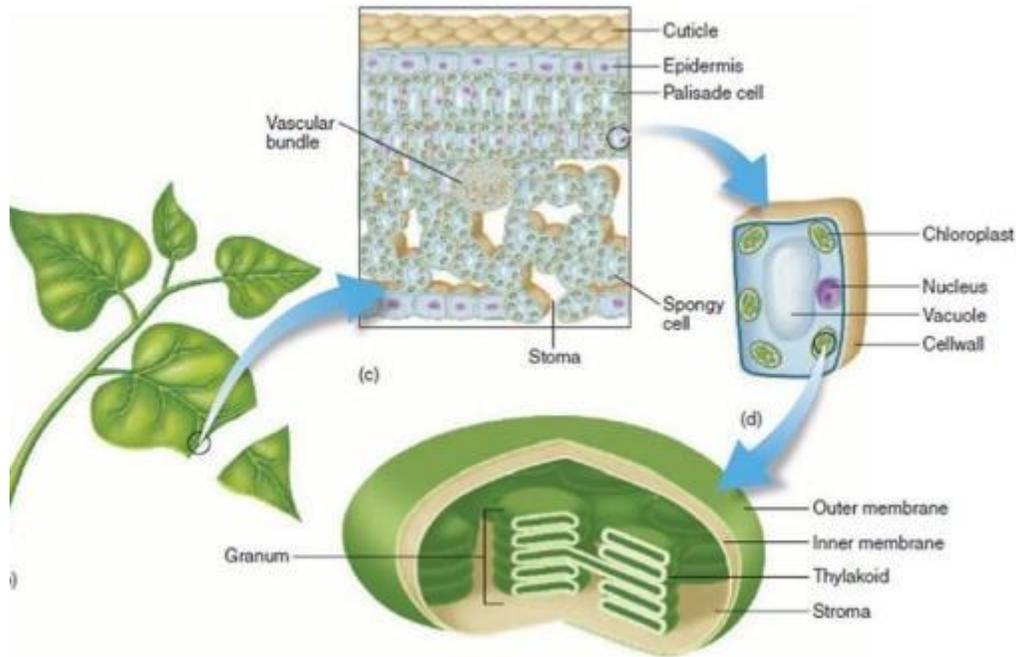
Bande Sentinel-2 Vs Prisma



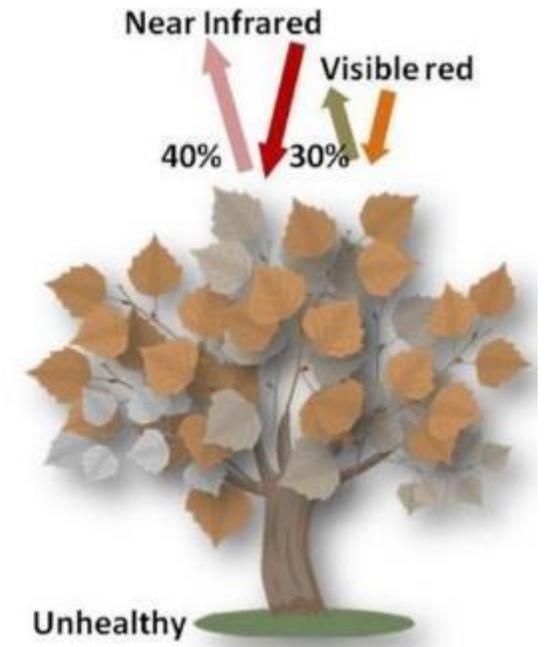
Rilevamento della Clorofilla



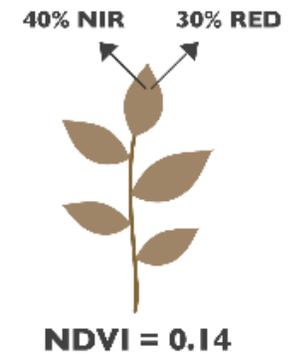
Indice NDVI



HEALTHY
VEGETATION REFLECTANCE



STRESSED
VEGETATION REFLECTANCE



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

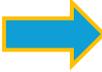
Mappe NDVI



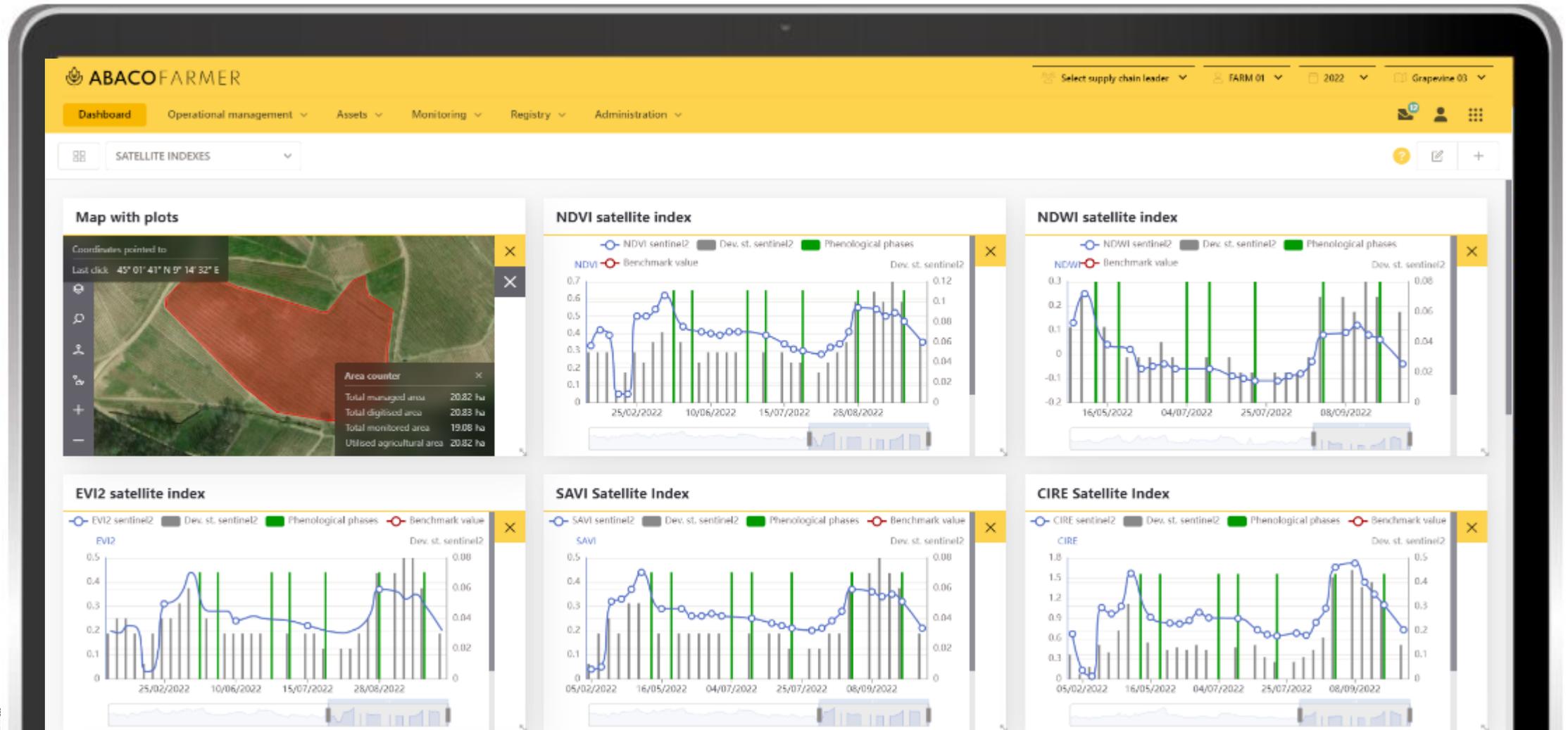
NDVI range	Color
$NDVI < -0.2$	Black
$-0.2 < NDVI \leq 0$	Dark Red
$0 < NDVI \leq .1$	Red
$.1 < NDVI \leq .2$	Orange-Red
$.2 < NDVI \leq .3$	Orange
$.3 < NDVI \leq .4$	Light Orange
$.4 < NDVI \leq .5$	Yellow
$.5 < NDVI \leq .6$	Light Green
$.6 < NDVI \leq .7$	Green
$.7 < NDVI \leq .8$	Dark Green
$.8 < NDVI \leq .9$	Very Dark Green
$.9 < NDVI \leq 1.0$	Black

Monitoraggio delle colture e del loro ambiente

Indici Satellitari – Applicazioni

- Vuoi stimare il **vigore vegetativo delle colture** e in particolare della salute della **biomassa** fotosintetizzata?  Indice **NDVI - Normalised Difference Vegetation Index** (scala 0-1: terreno nudo - massimo sviluppo veg)
- Vuoi stimare l'**azoto assorbito** dalle colture fino alla raccolta?  Indice **NDRE - Normalized Difference Red Edge Index** (scala 0-1)
- Vuoi stimare il **contenuto idrico** dell'apparato **fogliare** e identificare l'insorgenza di **stress idrico** delle colture?  Indice **NDWI - Normalized Difference Water Index** (scala 0-1)
- Hai necessità di monitorare la **vigoria** delle colture arboree ed erbacee disposte con **interfila non coperta da vegetazione**?  Indice **SAVI - Soil-Adjusted Vegetation Index** (scala 0-1)
- Vuoi stimare il **volume vegetativo** e la **biomassa** delle colture fino a raccolta?  Indice **EVI2 - Enhanced Vegetation Index** (scala 0-1)
- Vuoi misurare il **contenuto in clorofilla** delle colture con **area fogliare** molto **piccola** come gli ortaggi?  Indice **CIRE - Chlorophyll Index – Red Edge** (scala 0-9)

Dashboard Indici Satellitari



Piattaforme informatiche Agricoltura 4.0

The screenshot displays a web-based agricultural management platform. On the left, a control panel allows users to select a field ('Casalina 22'), view imagery indices ('NDVI'), and choose dates. It also includes input fields for fertilizer name ('xxx'), active principle percentage ('46'), number of zones ('3'), and average nitrogen dose ('120 kg/ha'). A table summarizes the zones and their respective areas and nitrogen requirements.

Zone	Area	Dose media azoto
Zona -1	7.27 ha	164,36 kg/ha
Zona 0	6.21 ha	117,4 kg/ha
Zona 1	6.18 ha	70,44 kg/ha
Totale fertilizzante	5127.42	kg
Area totale	19.65	ha
Dose media azoto	120	kg/ha

At the bottom, there is a section for selecting machinery ('Scegli il macchinario') and a 'Scarica' button. The right side of the interface features a satellite map of the field with a color-coded NDVI heatmap overlaid, showing varying vegetation health. A search bar and navigation controls are visible at the top of the map area.

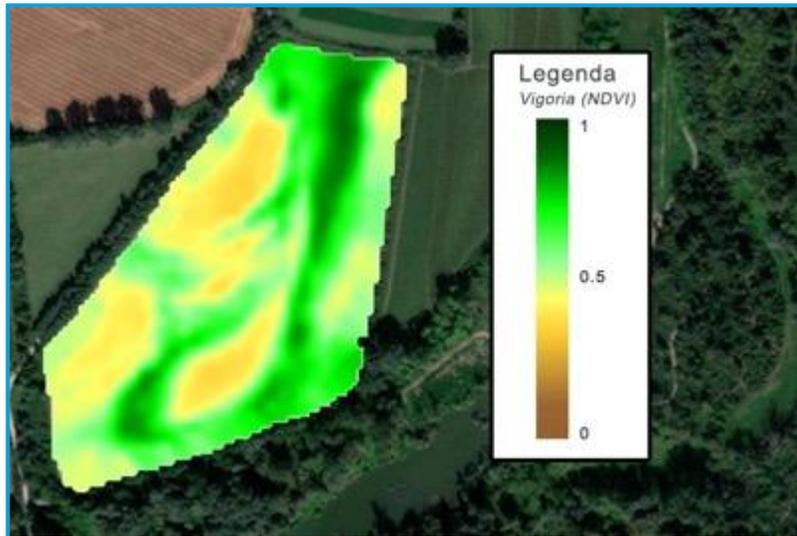
Piattaforme informatiche Agricoltura 4.0

UN POTENTE CALCOLATORE

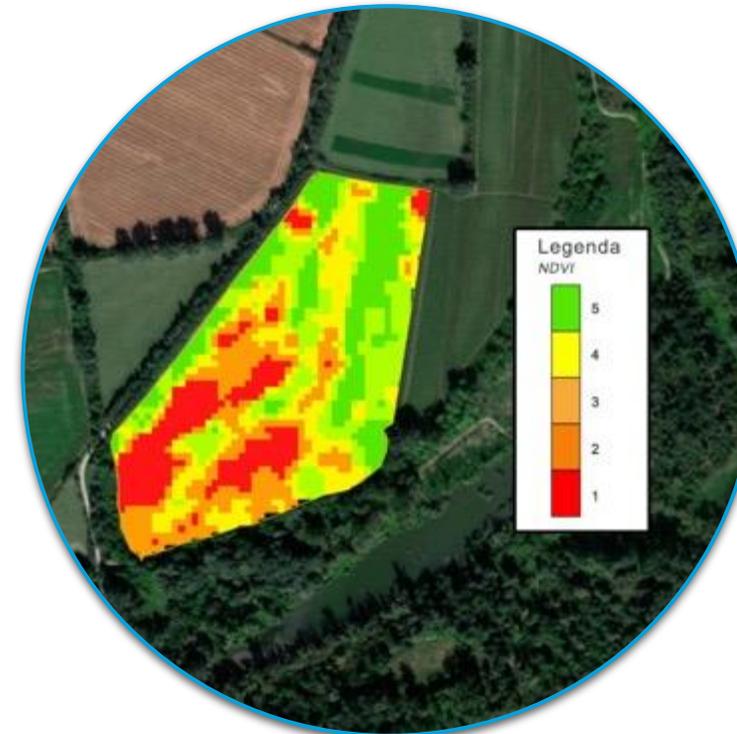
NDVI INDEX

PRE FERTILIZZAZIONE

DATE: 17 MAGGIO



RECLASSAMENTO



NDVI

RECLASSIFICATO

17 MAGGIO

DATI INIZIALI

PREPARAZIONE PER MAPPA DI PRESCRIZIONE

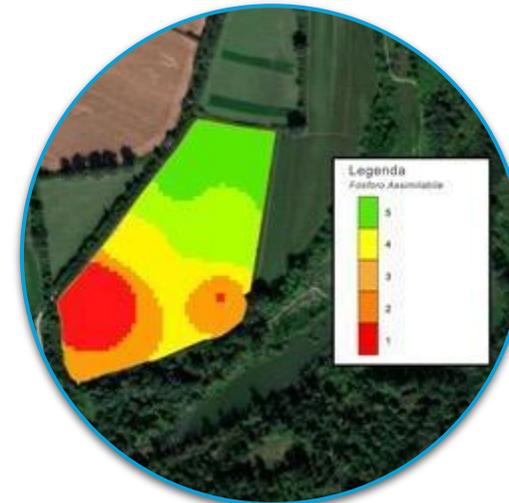
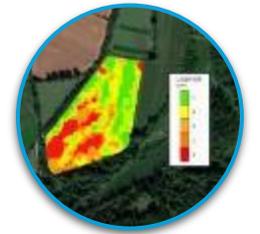
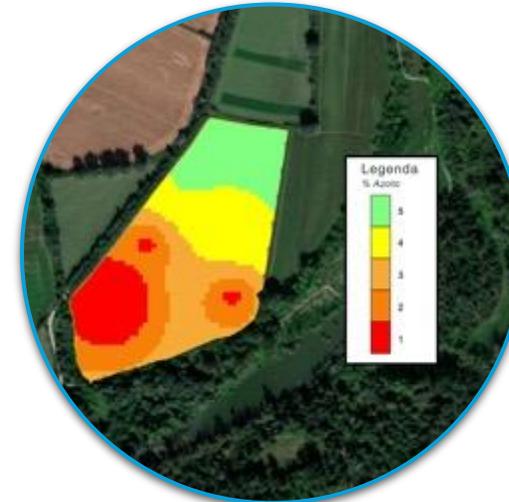
Piattaforme informatiche Agricoltura 4.0

UN POTENTE CALCOLATORE

PROFILI PEDOLOGICI



INTERPOLAZIONE
&
RECLASSAMENTO



DATI INIZIALI

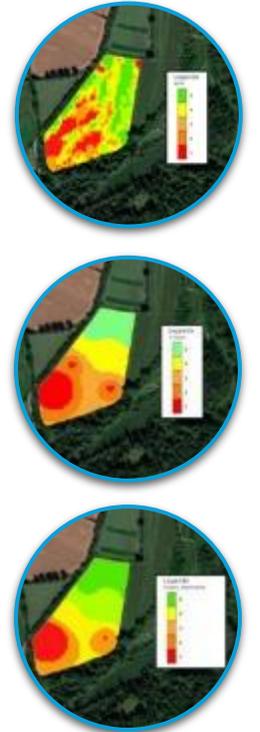
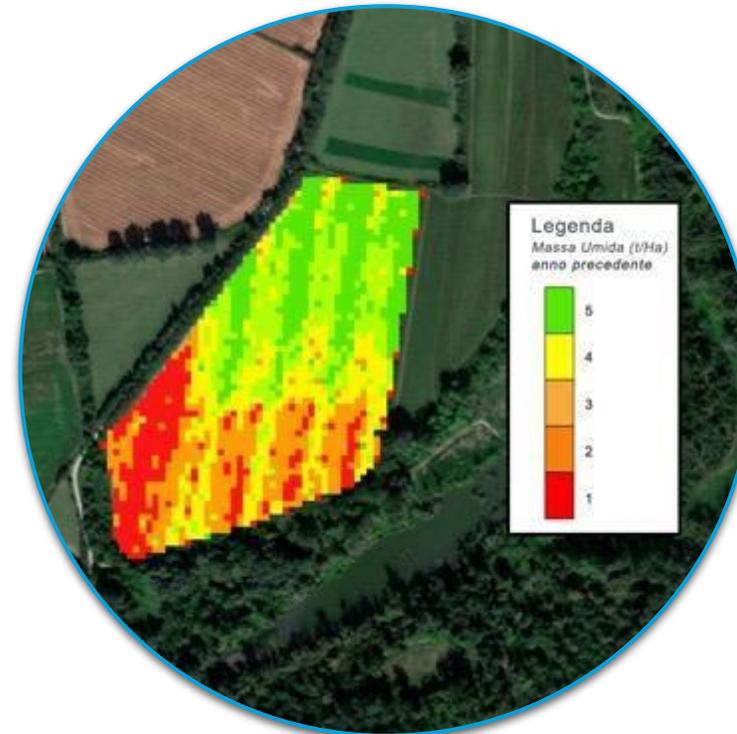
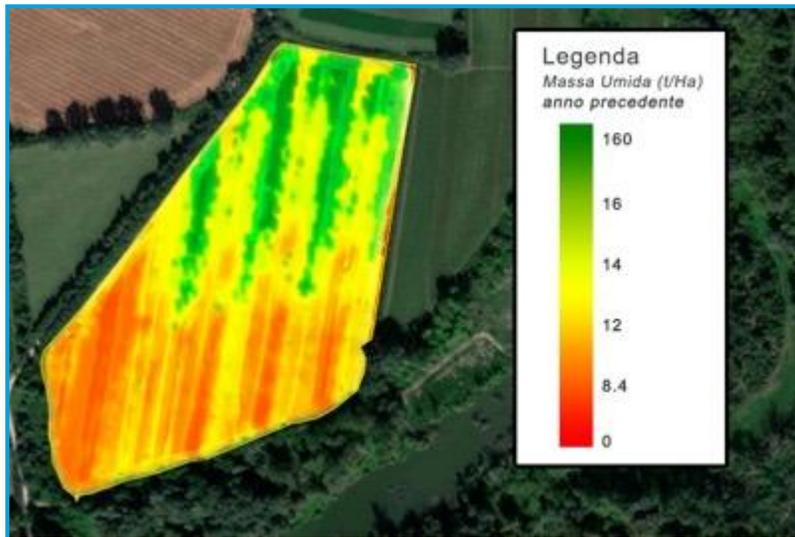
PREPARAZIONE PER MAPPA DI PRESCRIZIONE

Piattaforme informatiche Agricoltura 4.0

UN POTENTE CALCOLATORE

MAPPE DI RESA

ANNI PRECEDENTI



DATI INIZIALI

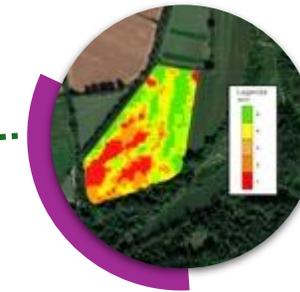
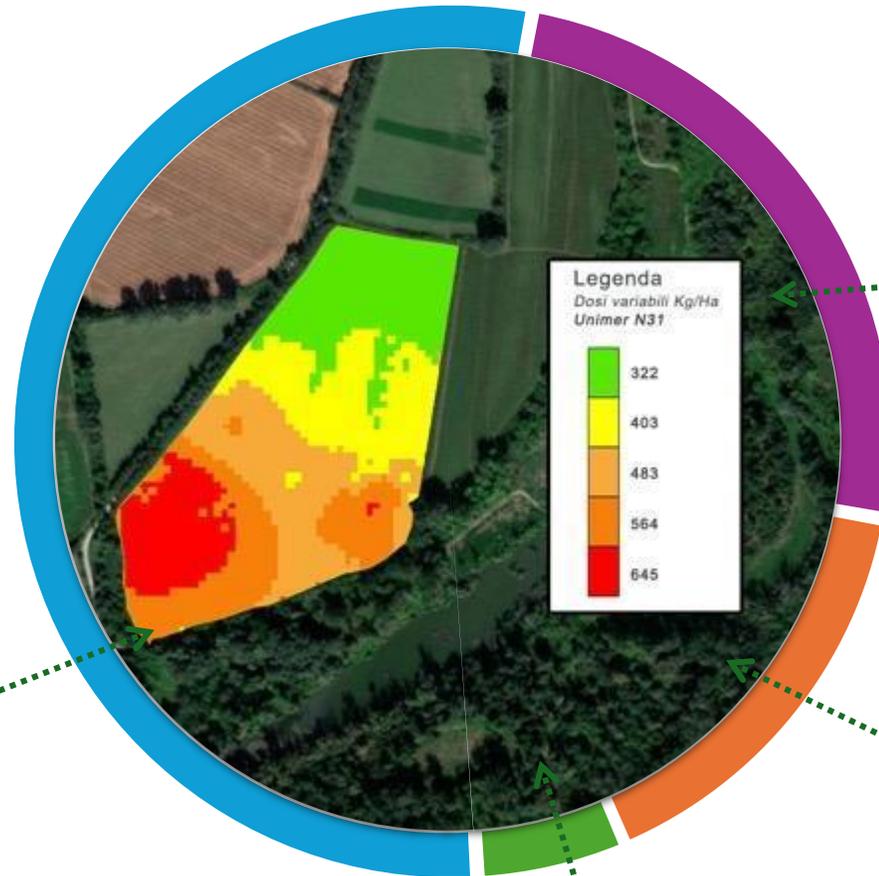
PREPARAZIONE PER MAPPA DI PRESCRIZIONE

Piattaforme informatiche Agricoltura 4.0

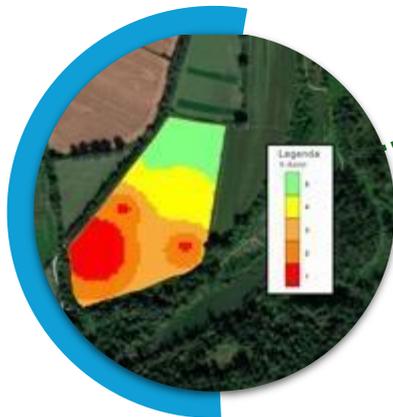
CREAZIONE MAPPE DI PRESCRIZIONE

INFO

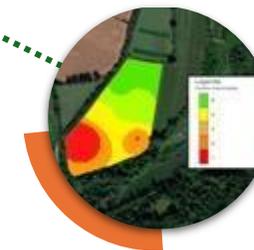
Crop: **MAIS**
Data di Semina: **7 Aprile**
Data Fertilizzazione: **22 Maggio**
Prodotto usato: **Unimer N31**
Data di raccolta: **19 Settembre**



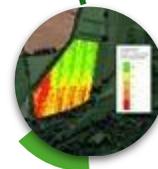
NDVI
17 MAGGIO



% AZOTO



FOSFORO
ASSIMILABILE



MAPPA DI RESA
DEGLI ANNI
PRECEDENTI

Piattaforme informatiche Agricoltura 4.0

MAPPE DI PRESCRIZIONE



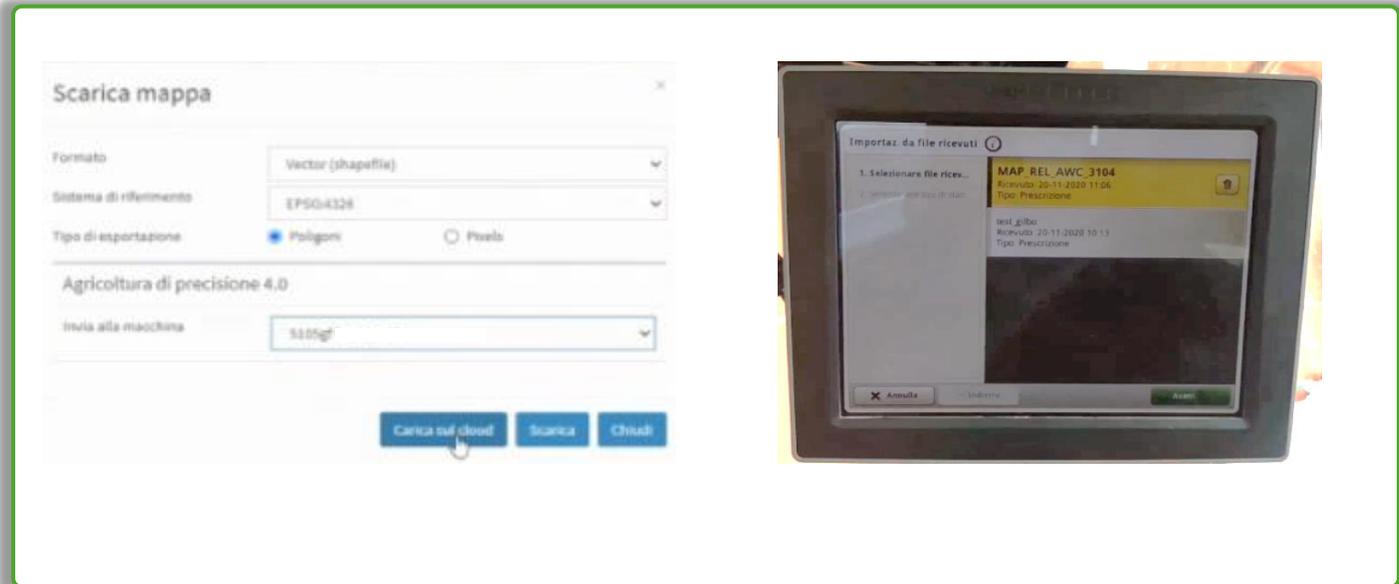
FERTILIZZAZIONE A RATEO VARIABILE

AGRICOLTURA 4.0 - Invio mappe diretto

FUNZIONAMENTO

- All'interno della Piattaforma 4.0 si prepara una mappa di prescrizione in base alle proprie esigenze (semina, concimazione, irrorazione, ecc);
- attraverso le funzioni di esportazione si invia la mappa direttamente al trattore in campo;
- il portale proprietario della macchina riceve la mappa e la assegna direttamente al trattore selezionato;
- la mappa viene inviata tramite la rete dati (a cui il trattore deve essere connesso);
- il monitor del trattore riceve una notifica riguardante l'attività da svolgere;
- l'operatore apre la cartella dei lavori e all'interno vi troverà la mappa di prescrizione elaborata in Piattaforma;
- una volta aperta, la mappa viene utilizzata per eseguire i comandi;
- se il trattore è collegato ad un'attrezzatura ISOBUS, l'attività viene eseguita secondo il modello previsto dalla mappa di prescrizione e restituisce il risultato dell'esecuzione

La piattaforma proprietaria della macchina viene completamente bypassata e l'utente si interfaccia solo 1 volta.



I DSS per la gestione agronomica delle colture

I **DSS (*Decision Support System*)**, o **Sistemi di Supporto alle Decisioni**, sono strumenti che permettono di gestire in modo efficiente l'azienda agricola e prendere le **decisioni corrette** nel **momento più opportuno**.

Grazie ai DSS è possibile raccogliere, analizzare ed elaborare dati da molteplici sorgenti al fine di assistere l'agricoltore negli interventi agronomici.

Tradizionalmente, le decisioni vengono fatte utilizzando prassi consolidate e metodi empirici, basandosi esclusivamente sull'esperienza diretta dell'agricoltore. Tale approccio, seppur da sempre utilizzato, aumenta i margini d'errore.

È importante sottolineare che i DSS non si sostituiscono completamente all'agricoltore o all'agronomo ma forniscono ad essi informazioni aggiuntive per migliorare i processi decisionali riguardo la gestione dell'azienda agricola.

I DSS per la gestione agronomica delle colture

- Idoneità alla coltivazione
- Semina (quando e quanto)
- Irrigazione
- Concimazione Difesa fitopatologica
- Sviluppo fenologico (stadi sviluppo coltura)
- Stima delle rese

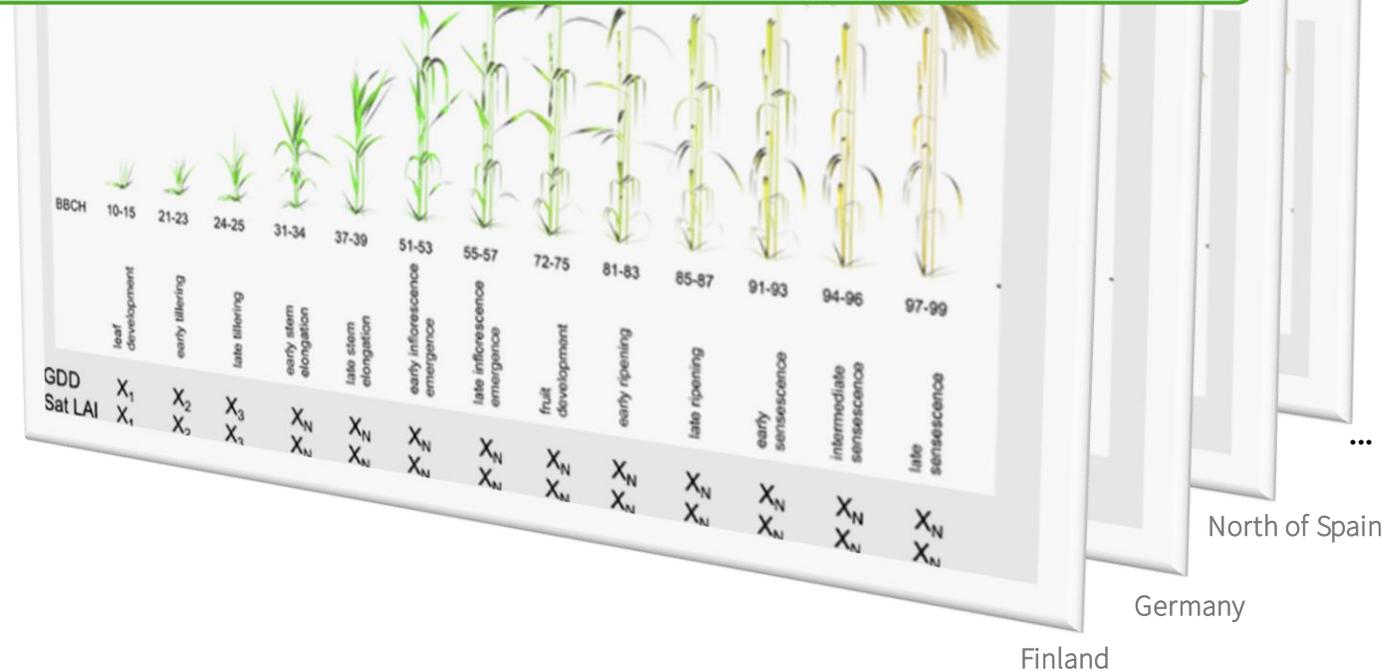
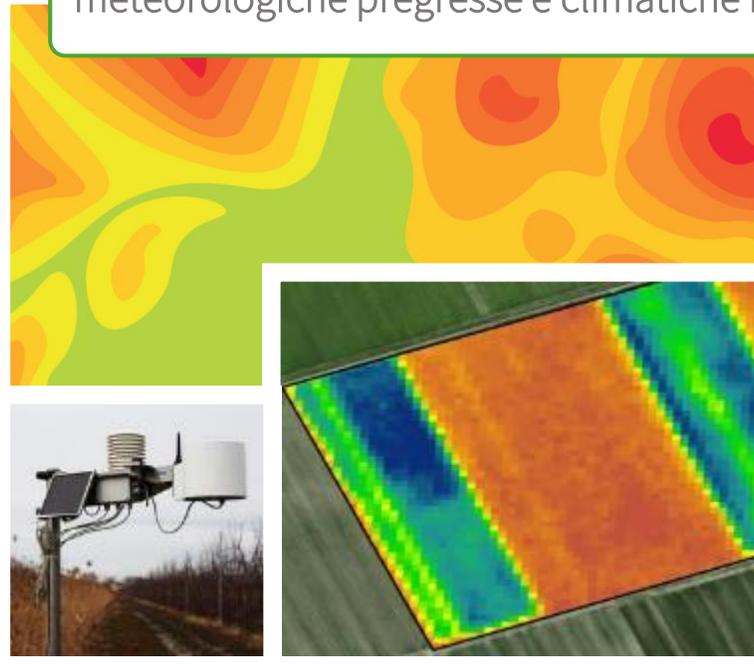


Fenologia

La fenologia vegetale si occupa di definire le fasi di sviluppo (o fasi fenologiche) delle piante in particolari scale (fenologiche) e della registrazione delle date in cui esse si verificano nei diversi ambienti. La definizione delle fasi di sviluppo, a livello internazionale, avviene tramite la scala BBCH (acronimo di Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and CHEMical industry).

La scala BBCH consiste in un sistema decimale che permette di descrivere e codificare gli stadi fenologici di alcune piante, mono- e dicotiledoni, suddividendoli in stadi fenologici principali e secondari.

Attraverso una relazione tra BBCH e GDD riesco a prevedere le date di accadimento delle fasi in base alle condizioni meteorologiche pregresse e climatiche future.



Fenologia

Parametrizzazioni fenologiche

The screenshot displays a web application for managing crop phenology. It features a sidebar on the left with navigation options: **Protocolli** (0/0), **Attività pianificate**, **Esecuzioni**, **Documenti** (0/0), **Sub appezzamenti**, and **Varietà - Fenologia** (selected). The main area is titled **Varietà - Fenologia** and shows a vertical timeline with dates and corresponding BBCH codes:

- 31/07/2020**: Codice BBCH 8 (Maturazione)
- 31/07/2020**: Codice BBCH 83 (Inizio maturazione cerosa: granelli soffici, circa 45% di materia secca)
- 31/07/2020**: Codice BBCH 85 (Stadio di maturazione cerosa: granelli giallognoli (dipende dalla varietà), circa 50% di materia secca)
- 18/08/2020**: Codice BBCH 87 (Maturazione fisiologica: punto nero visibile alla base dei granelli, circa 60% di materia secca)
- 04/09/2020**: Codice BBCH 9 (Senescenza)

Each date entry includes edit and delete icons. A detailed parameter form is shown in a separate window, containing the following fields:

- Varietà**: * MAIS FAO 600
- Gruppo varietale**: CORN - MAIS
- Precocità**: FAO CLASS 600
- Base termica (°C)**: 10
- Data semina**: (empty field)
- Inizio ciclo fenologico**: (empty field)

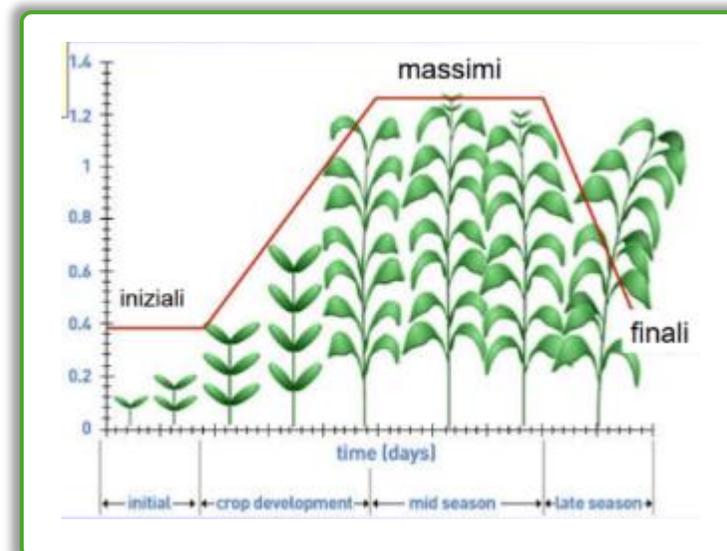
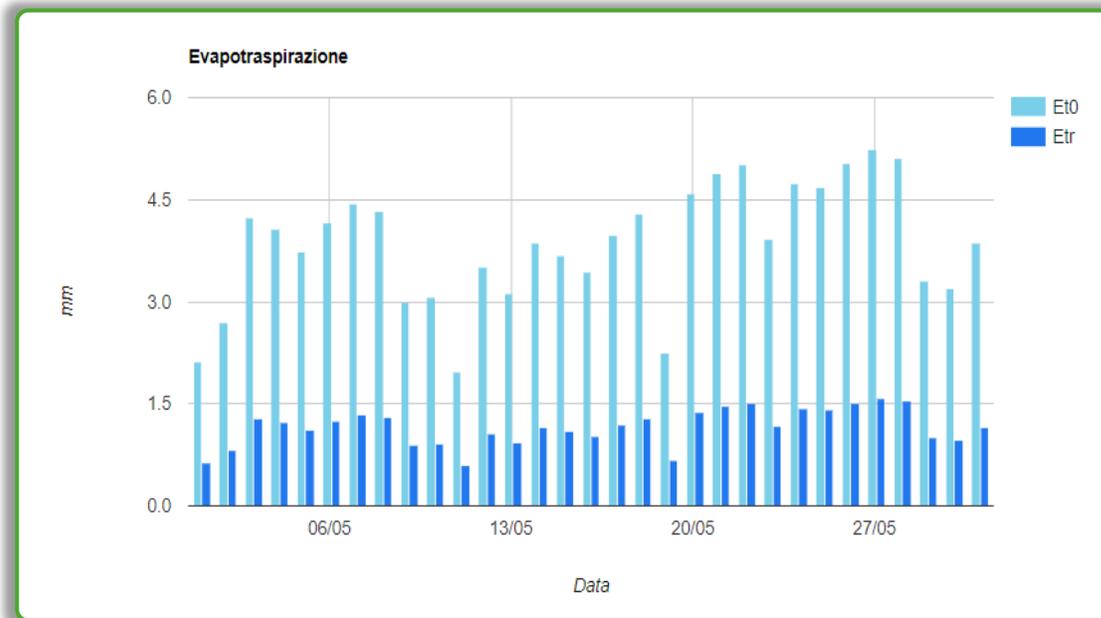
Evapotraspirazione

L'acqua assorbita dalle piante dal terreno passa alle foglie e, attraverso le aperture stomatiche, si diffonde in forma di vapore acqueo nell'aria. Questo viene definito «traspirazione» (T). Allo stesso tempo il suolo perde acqua per evaporazione diretta (E). La somma della quantità d'acqua persa dal suolo per evaporazione e dalle piante per traspirazione costituisce il fenomeno dell'evapotraspirazione (ET).

L'evapotraspirazione potenziale da coltura di riferimento (ET₀) è stata definita da Penman (1956) ed è riferita ad una coltura standard, il prato di festuca.

A partire dall'ET₀ può essere ricavata l'evapotraspirazione ETr, ovvero l'evapotraspirazione della coltura realmente presente in campo moltiplicando ET₀ per un opportuno **coefficiente colturale (kc)** che tenga conto dello stadio di sviluppo della coltura in esame (*fenologia*).

La conoscenza di ETr è cruciale nel determinare il **fabbisogno idrico** di una coltura. E' infatti una variabile importante per determinare il bilancio idrico.



Bilancio Idrico

Il bilancio idrico, è un modello a serbatoio, in cui figurano termini di input e di perdita.

I **termini di ingresso** sono rappresentati da:

- Precipitazioni (acqua realmente infiltrata nel terreno)
- Attività d'irrigazione

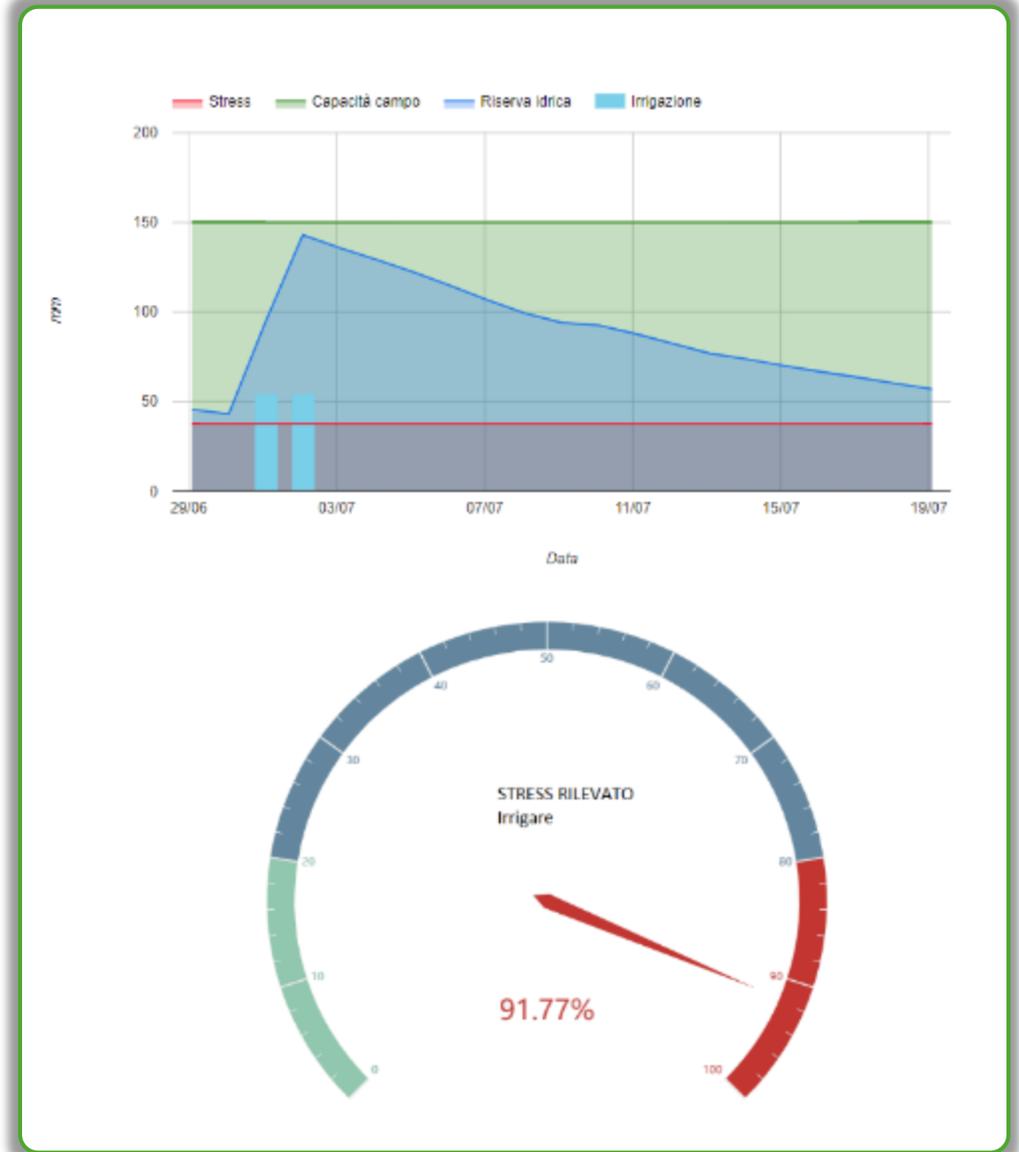
mentre **le perdite** sono costituite da:

- Evapotraspirazione reale
- Ruscellamento

Il dimensionamento del serbatoio si basa sui dati pedologici.

Se l'utente ha a disposizione **rilievi pedologici puntuali**, il valore di AWC sarà molto più rappresentativo delle caratteristiche idriche del suolo.

Il livello di stress, ottenuto integrando i dati di bilancio idrico, indici satellitari e se presenti i dati da sensore sul terreno, mostrano una sintesi che può portare all'indicazione di Irrigare



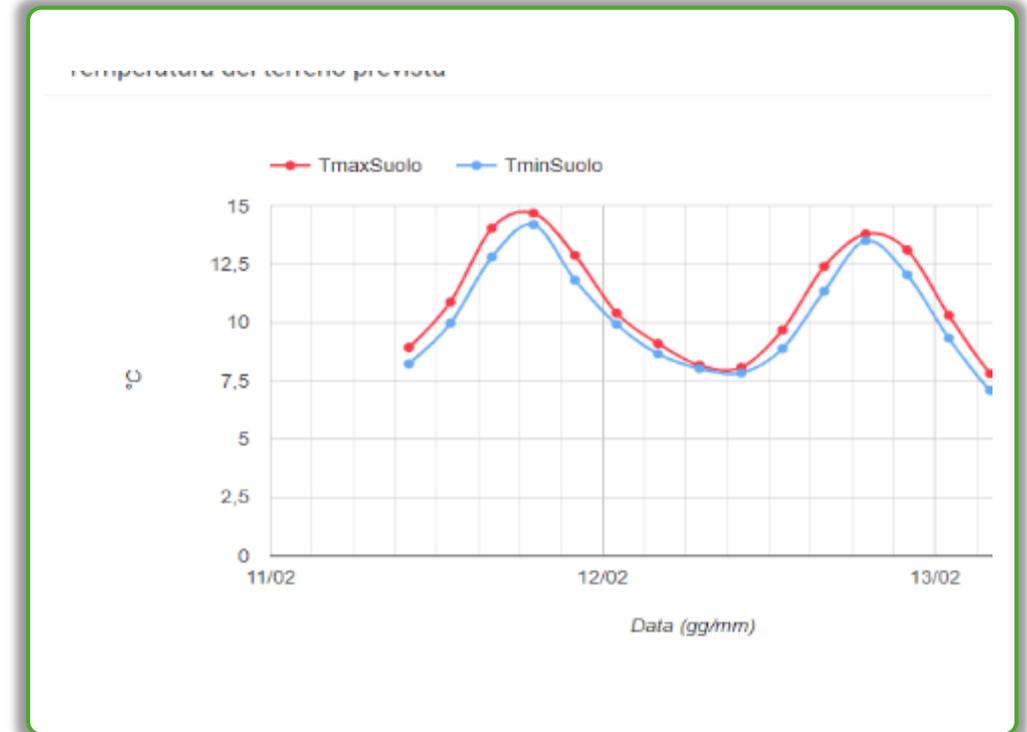
Temperatura del terreno

La temperatura del terreno risente degli scambi energetici tra suolo e atmosfera, e ha una sua ciclicità giornaliera la cui ampiezza varia in funzione della profondità ed è ricostruibile a partire dall'andamento della temperatura dell'aria. La temperatura del terreno riveste una **importanza** considerevole per la fase di semina e la **germinazione dei semi**.

La temperatura del terreno dipende inoltre da:

- Tessitura del suolo
- Stato Idrico del terreno

Ad esempio nel caso di una coltura come il mais la semina si svolge in condizioni ottimali quando la temperatura del terreno alle ore 7 del mattino è assestata stabilmente intorno ai 12°C a 10 cm di profondità. Ciò rende ragione dell'importanza del monitoraggio della temperatura del terreno nel periodo primaverile per una corretta programmazione delle semine.



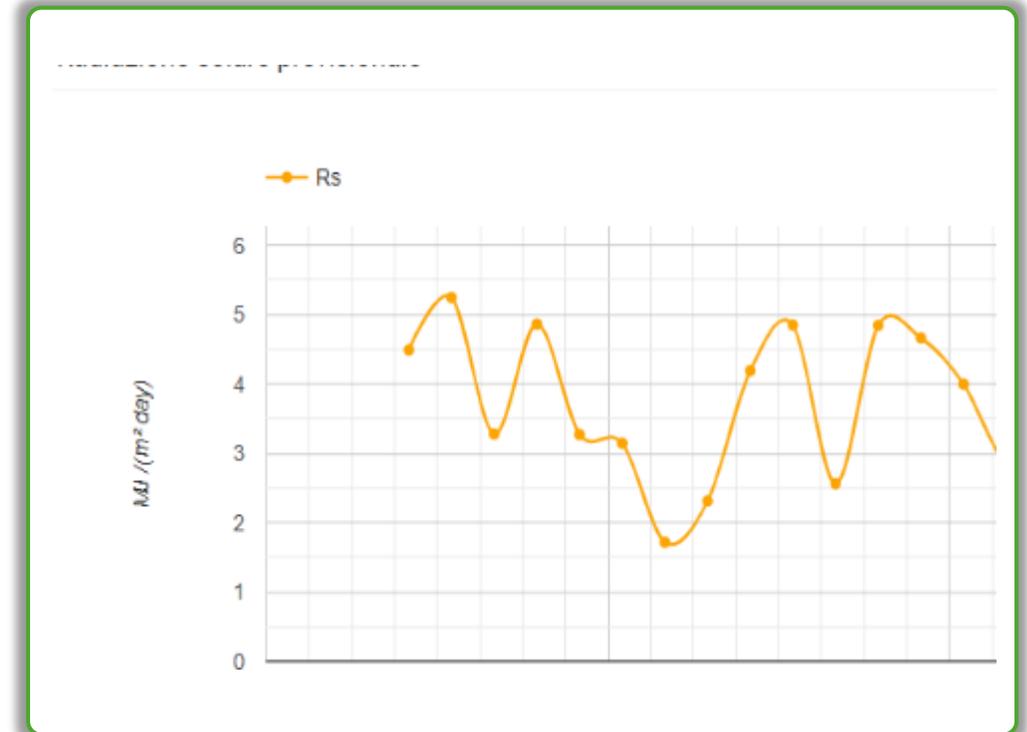
Radiazione Solare Globale

La radiazione solare è fonte di energia per gli organismi vegetali. La Radiazione solare globale rappresenta la **somma** della radiazione solare nel visibile e nell'**infrarosso vicino**.

Da questa dipendono le attività di fotosintesi e respirazione delle piante.

In campo agronomico si lavora al fine di ottimizzare l'utilizzo della radiazione solare da parte delle colture. La scelta dell'orientamento dei filari di vite è un esempio di ottimizzazione di tale risorsa.

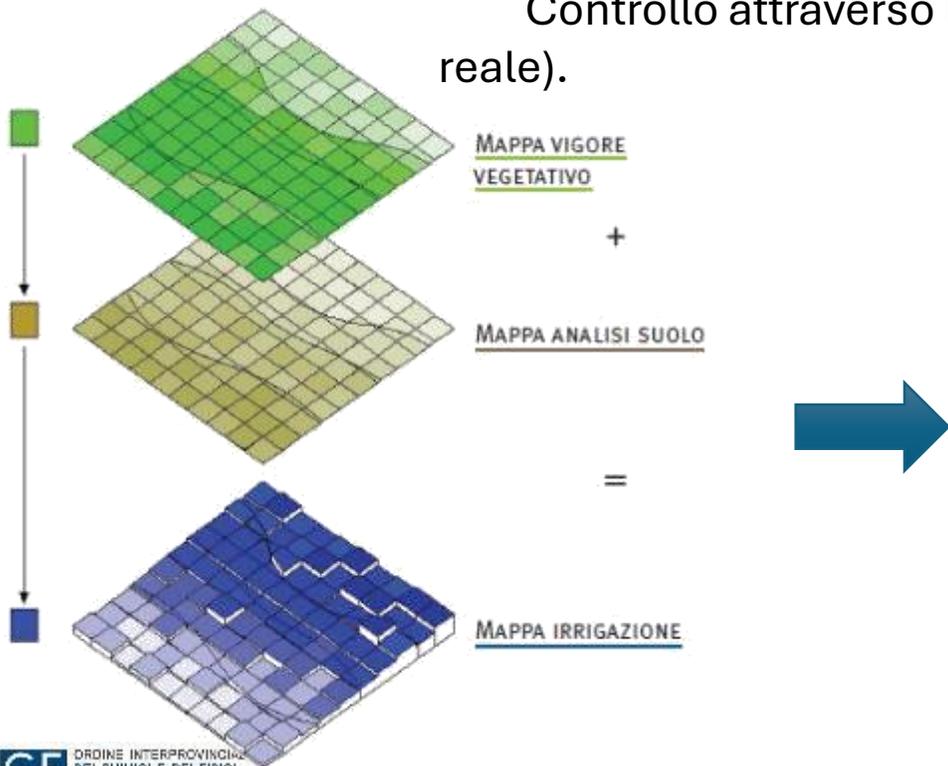
La conoscenza dell'andamento di questa variabile nel tempo rappresenta un supporto tecnico per le pratiche di campo, come ad esempio la defogliazione nelle colture arboree come la vite.



Irrigazione di precisione

Irrigazione per aspersione – Rotolone

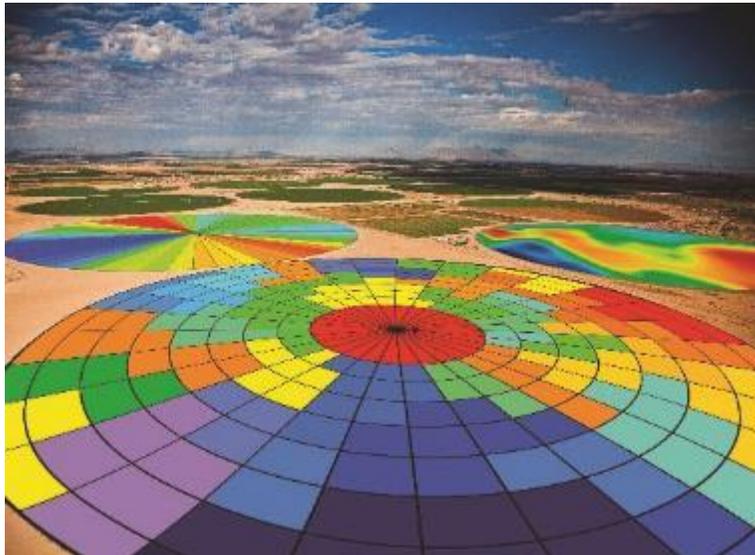
- **Dose fissa** – stabilendo il momento e il volume irriguo
- **Dose variabile** – **variazione dei volumi idrici in funzione delle diverse zone del campo.**
Controllo attraverso la modulazione della velocità di rientro del getto (in movimento e in tempo reale).



Irrigazione di precisione

Irrigazione per aspersione – Pivot / Ranger

- Dose fissa – stabilendo il momento e il volume irriguo
- Dose variabile – mappe di prescrizione per il controllo dei settori e delle zone attraverso il controllo della velocità.



Trattamenti di precisione da Drone



Fertilizzazione di precisione



Mappa di attitudine alla coltivazione del Nocciolo

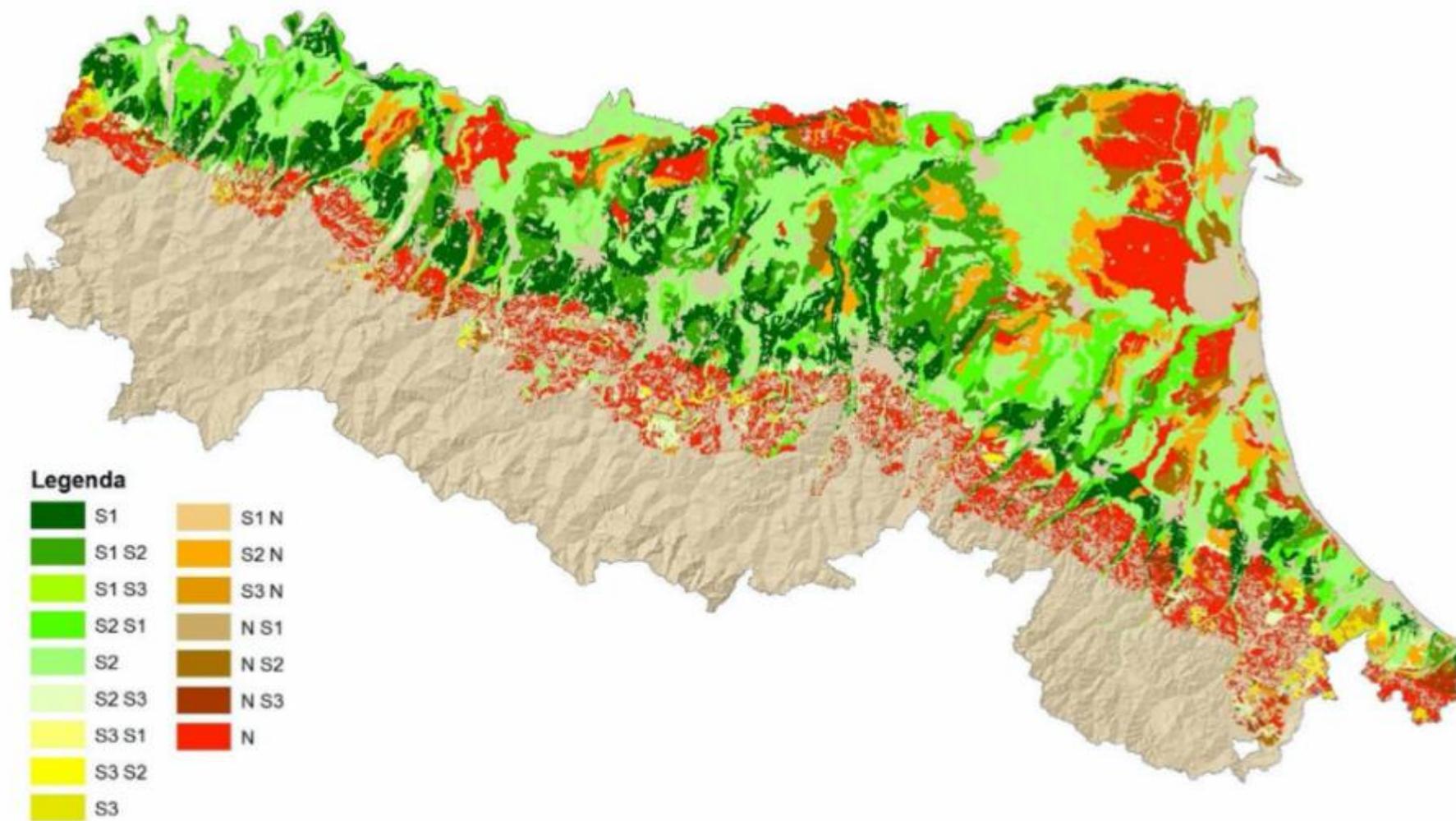


Figura 1. Valutazione attitudinale alla corilicoltura in scala 1:50.000

Grazie per l'attenzione! Domande?

