

Progetto: Agricoltura di precisione: una risorsa ed una possibilità per le aziende della Puglia
Acronimo AgriPuglia

Modulo 1 UVA DA TAVOLA

Incontro 5 'Potenzialità e gestione dei sistemi DSS per l'uva da tavola'



Relatore: prof. Giuseppe Ferrara



REGIONE PUGLIA

Progetto realizzato con finanziamento della
Regione Puglia – Legge regionale n. 55/2018
"Avviso pubblico per la presentazione di Progetti
pilota per la promozione e lo sviluppo
dell'Agricoltura di Precisione



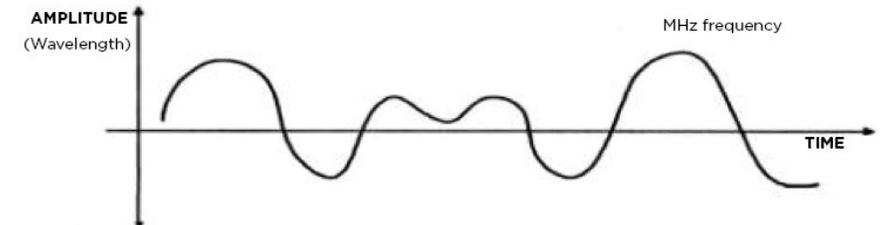
CHÈUVA

I sensori

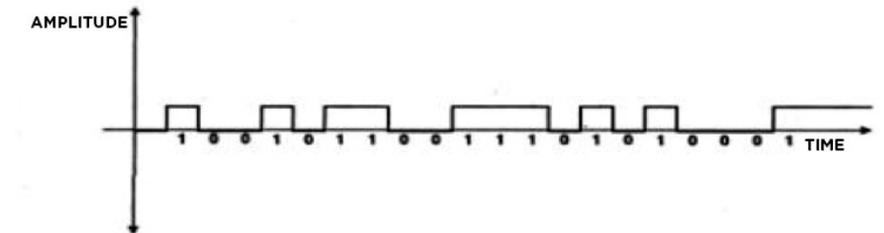


- Un sensore viene detto **analogico** se la grandezza elettrica prodotta in uscita varia con continuità in risposta alla variazione della grandezza di ingresso.
- Ad esempio sensore di temperatura è un sensore analogico, in quanto **produce in uscita una corrente di valore proporzionale alla temperatura misurata.**
- In un sensore **digitale** i valori possibili in uscita sono limitati. Nel caso più semplice, quello dei cosiddetti sensori on-off, i valori in uscita possono essere soltanto due (0 e 1).
- Un esempio di sensore on-off è costituito dai cosiddetti sensori di prossimità, i quali rilevano la presenza di un oggetto o il raggiungimento di un determinato livello di liquido in un serbatoio

ANALOG SIGNAL

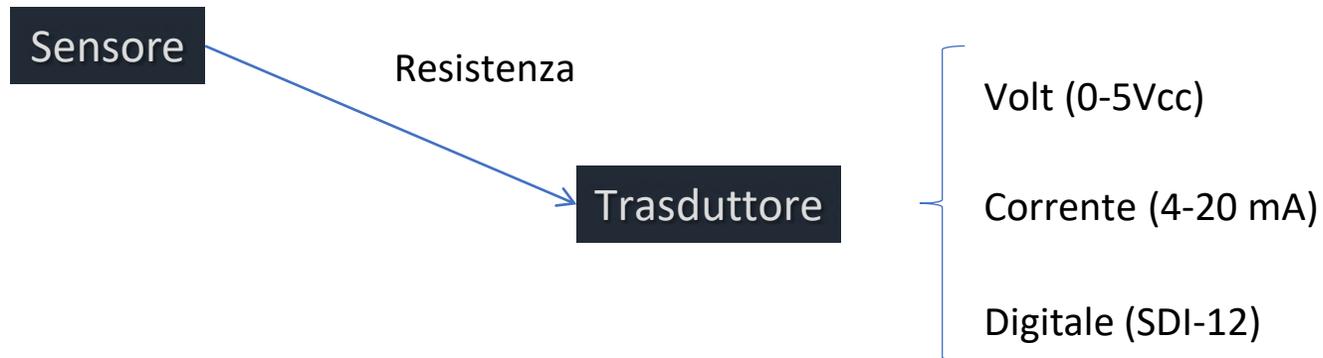


DIGITAL SIGNAL



Collegamento

Sensori che legano la misurazione fisica con variabili elettriche che convertono in un valore misurabile



Permette di avere una misurazione in continuo delle variabili

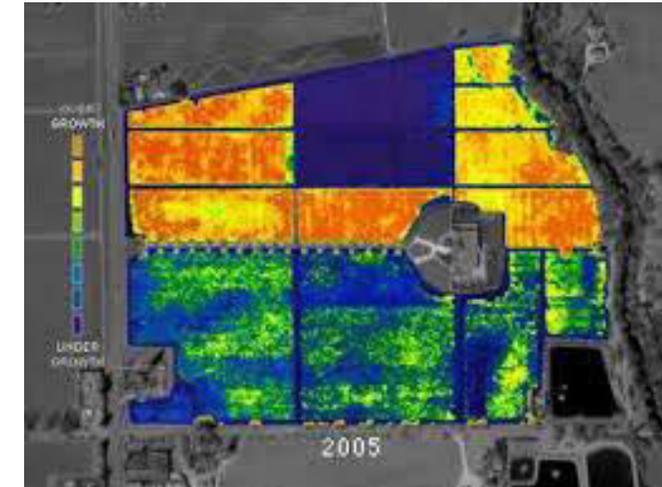
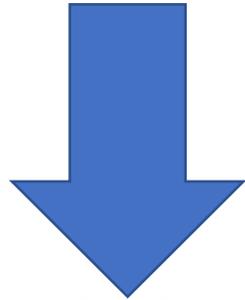
I sensori

Strumenti capace di misurare variabili fisiche o chimiche e trasformarle in altre variabili misurabili elettricamente (trasduttore)

1. Temperatura
2. Pressione
3. Volume
4. Umidità
5. Pluviometria
6. Contenuto idrico
7. Potenziale idrico
8. Dimensioni

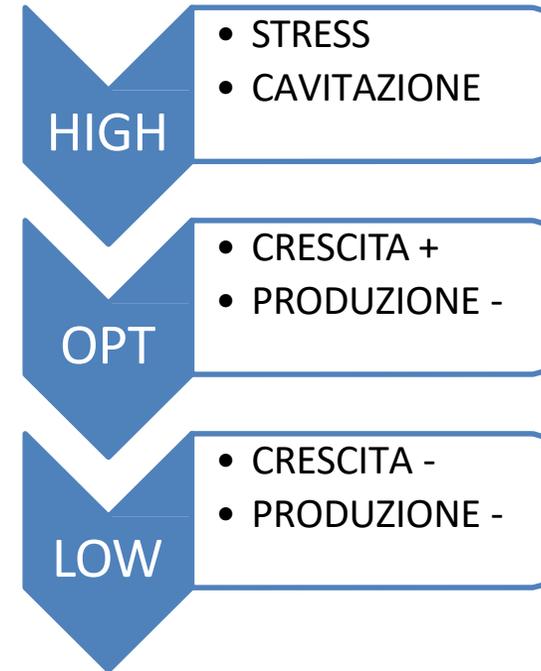
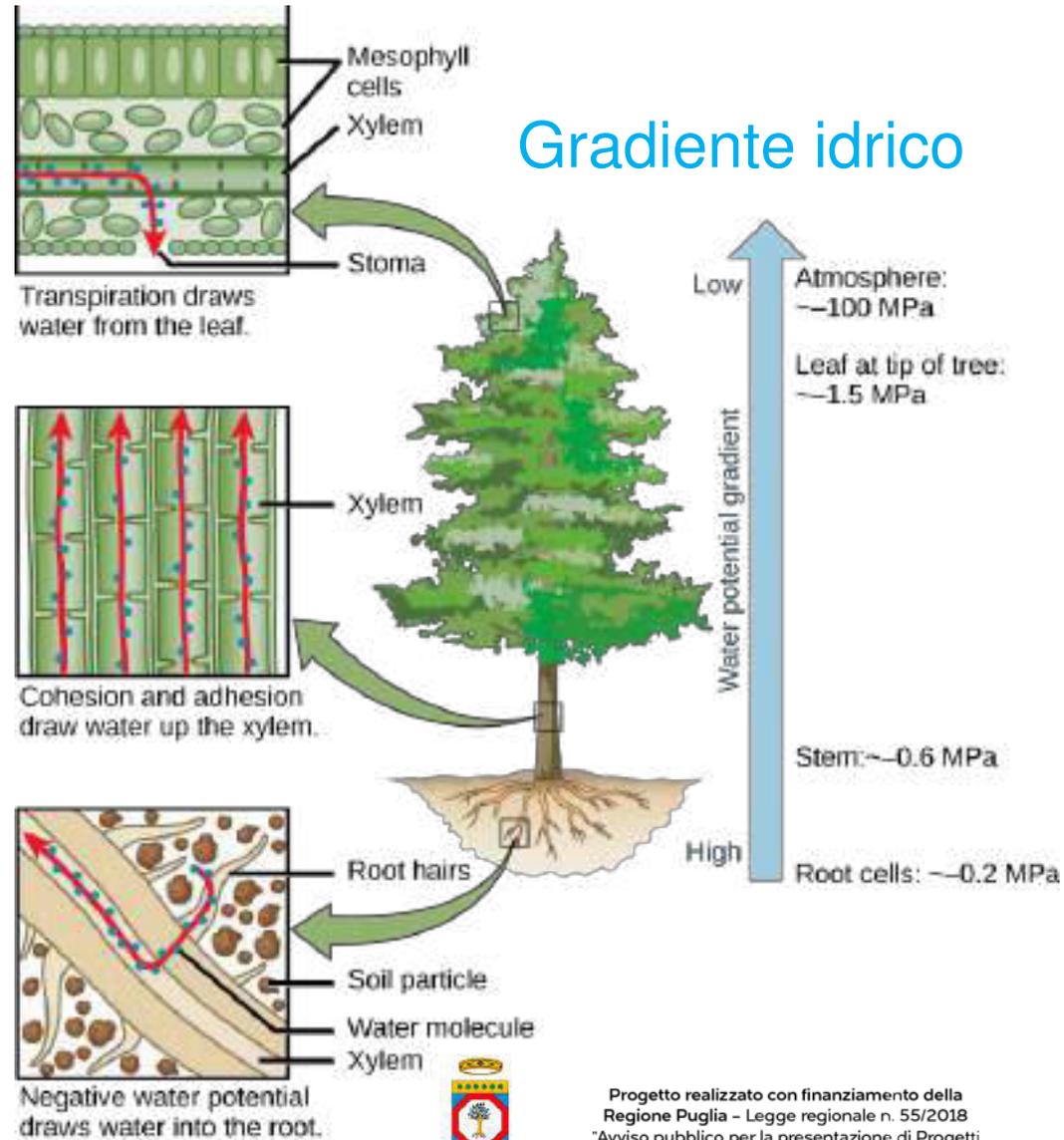
Vigneto e sensori

- Eterogeneità dei vigneti (caratteristiche pedo-climatiche, tecniche colturali, variabili climatiche, etc.)
- Sensori:
 - Prossimali.
 - Distali.



- Ottenere informazioni precise sul vigneto per descriverne la variabilità spaziale al fine di migliorarne la gestione (qualità, produzione, sostenibilità, etc.)

Acqua: relazioni idriche nella pianta



Fattori che influenzano il gradiente



Suolo



Acqua



Clima



Pianta



Frutto

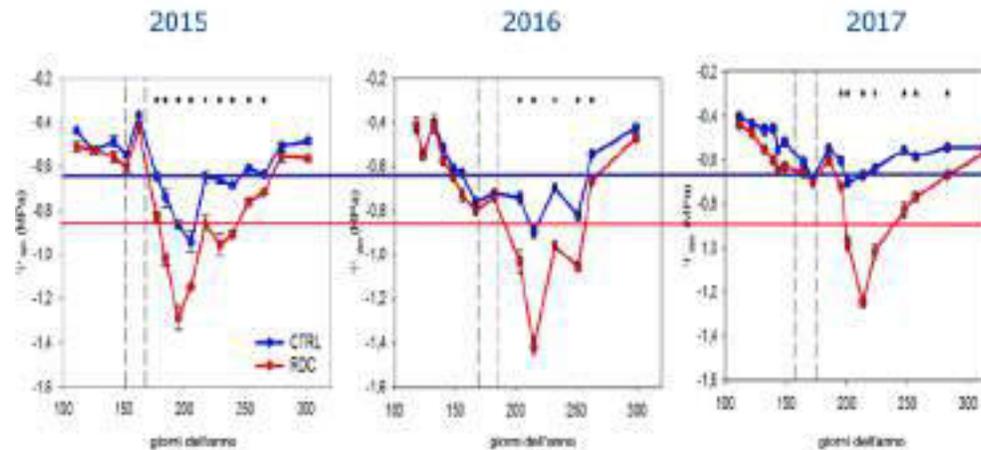
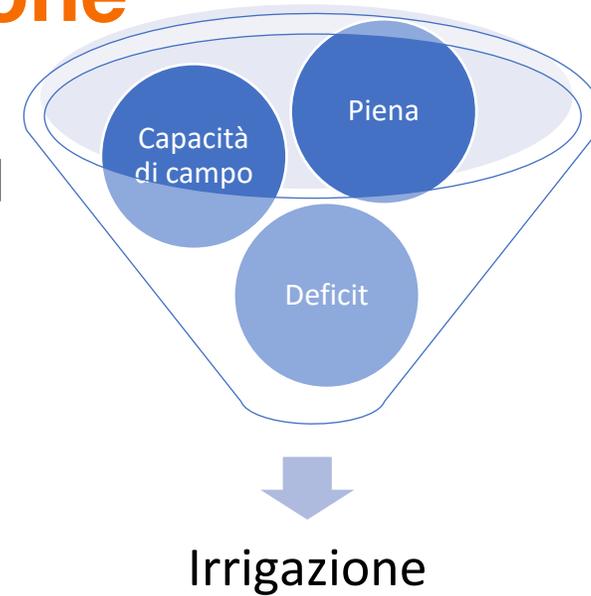
ET non controllabile (tranne nelle serre)

Fattori

VWC, kPa, controllabile con l'irrigazione

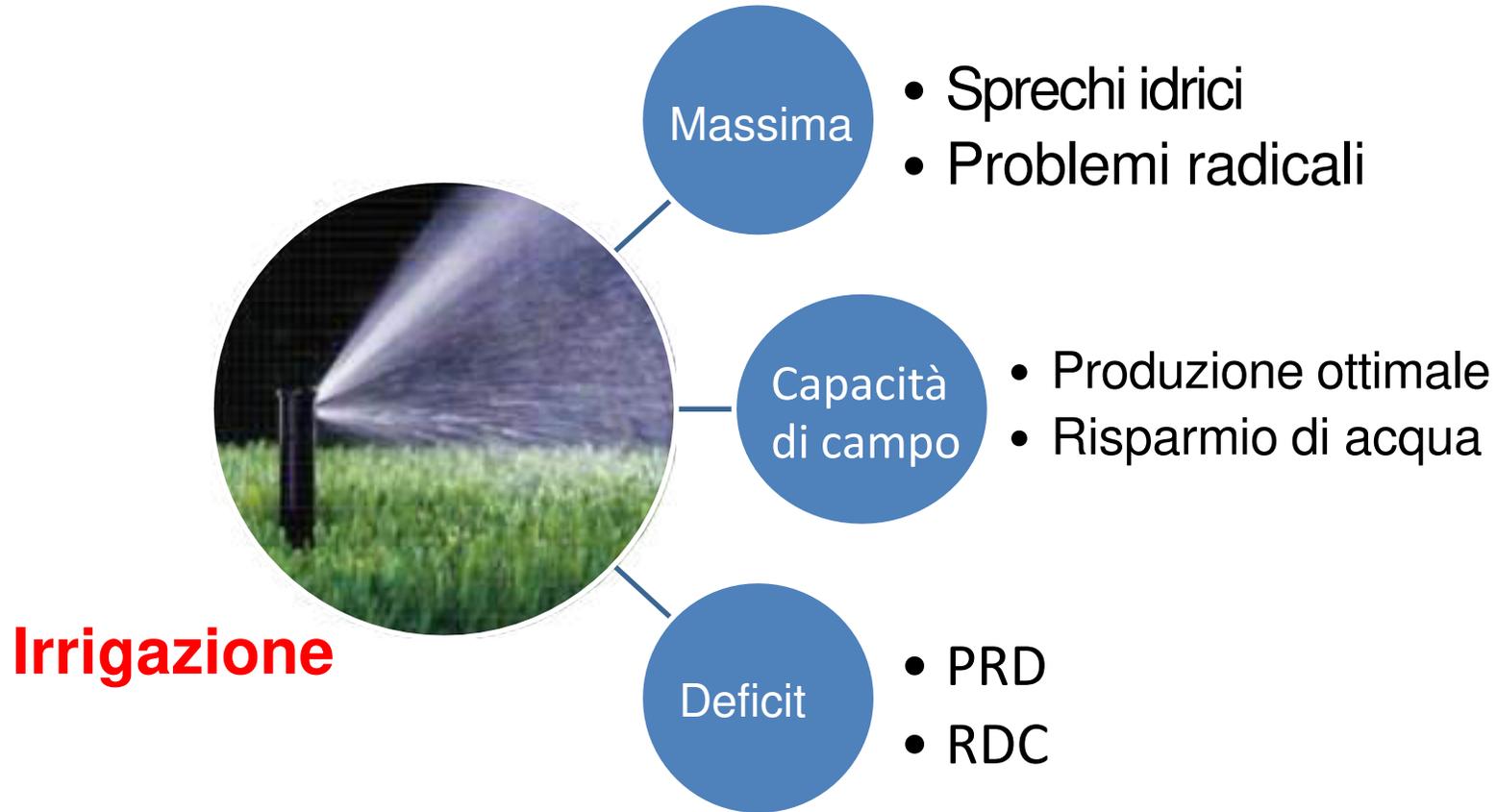
Gestione dell'irrigazione

- Capace di rispondere in 'tempo reale' alle variazioni del sistema.
- Affidabile e semplice da usare.
- Automatizzabile.
- A costo contenuto, sia per l'acquisto che per la gestione.

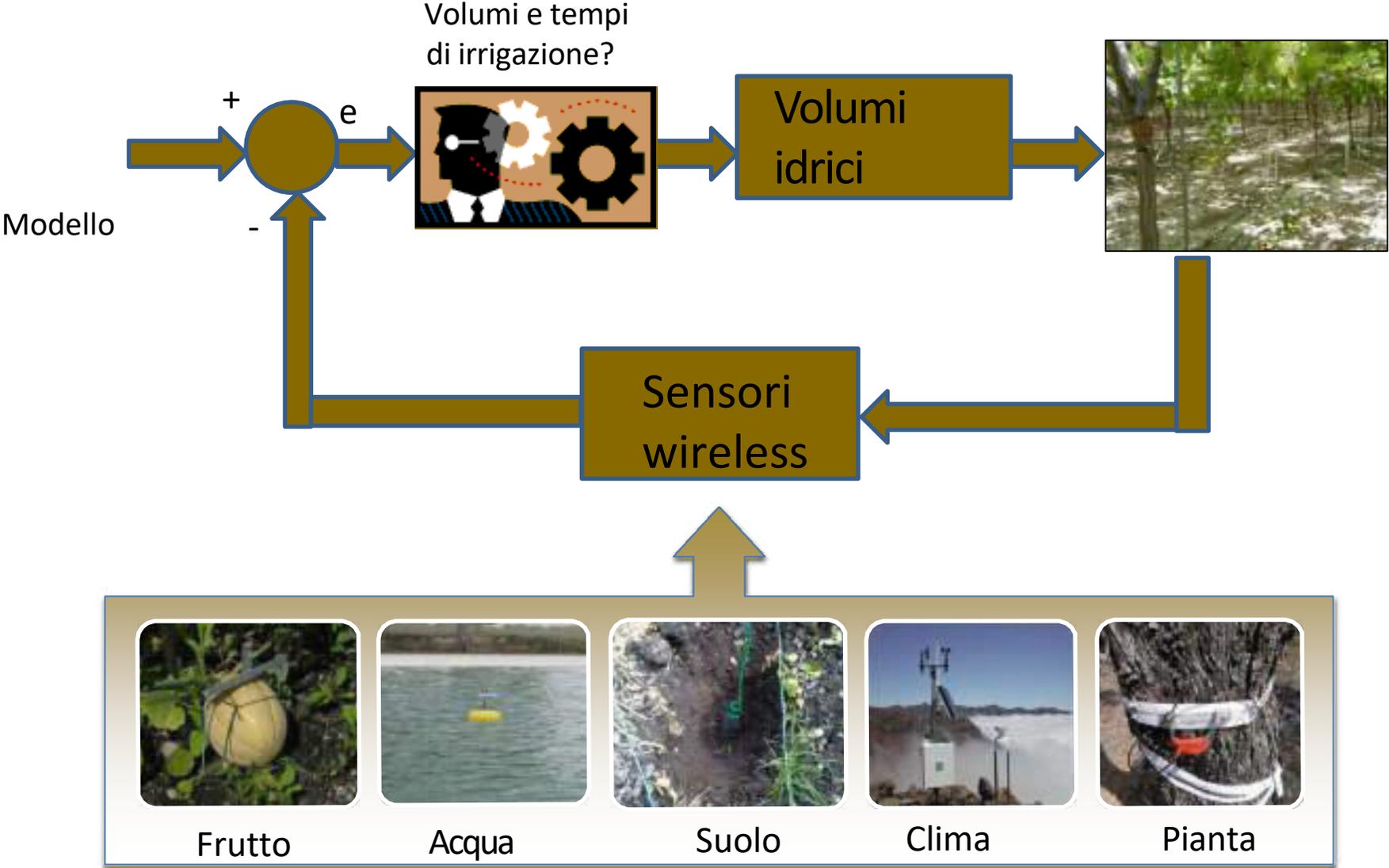


Gestione dell'irrigazione

Controllo dell'irrigazione → Controllo del gradiente



Gestione dell'irrigazione



Sistemi di monitoraggio



SENSORI PROSSIMALI

DETERMINARE LE PROPRIETÀ DEL SUOLO

DETERMINARE LO STATO DELLA COLTURA

1. Misura della **RESISTIVITÀ ELETTRICA** apparente (espressa in omega Ω) mediante elettrodi inseriti nel suolo ad una distanza di ~ 10 cm;
2. Misura della **CONDUCIBILITÀ ELETTRICA** apparente del suolo mediante induzione elettromagnetica da una bobina trasmittente ad una bobina ricevente attraverso un corpo conduttivo, il suolo.

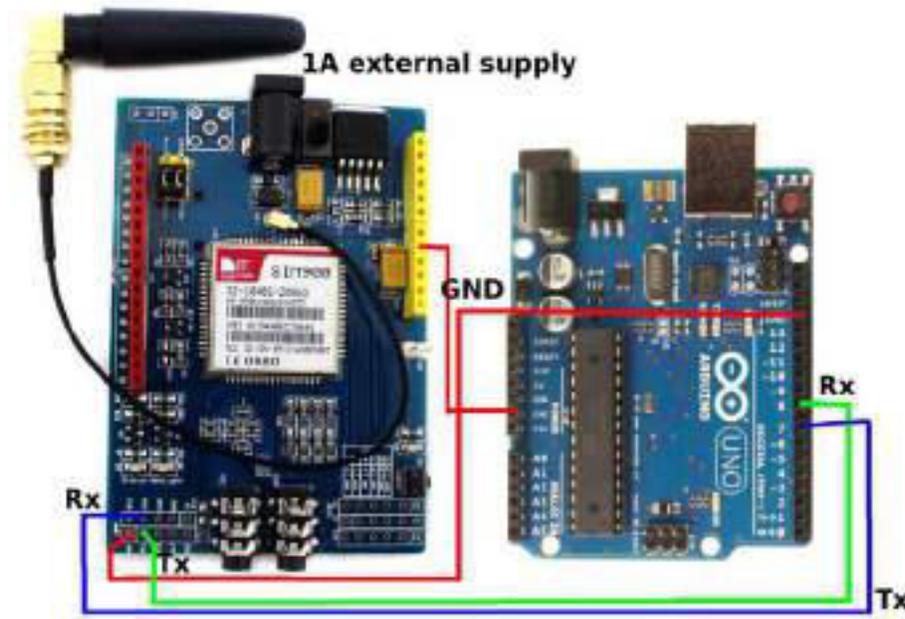
- Sensori che operano nel **dominio ottico** (0,4 - 2,4 μm)
 - o **CAMPO VISIBILE** = 400 – 700 nm
 - o **VICINO INFRAROSSO** = 700 - 2400 nm (NIR o Near Infra Red)
- Sensori che operano dell'**infrarosso termico** (4 -15 μm)
- Sensori che operano nelle **microonde** (3 mm - 1 m)

$$RIFLETTANZA (\lambda) = \frac{RADIACIONE RIFLESSA(\lambda)}{RADIACIONE INCIDENTE(\lambda)}$$

Datalogger

È un dispositivo elettronico digitale, di solito di piccole dimensioni, che **registra dei dati** attraverso un sensore interno oppure collegato ad uno esterno.

È alimentato da una batteria interna (e/o pannello solare) ed equipaggiato con un microprocessore ed una memoria per l'acquisizione dei dati e moduli interni di trasmissione dati.



Livelli di controllo

Stadio iniziale

Stadio intermedio



Stadio avanzato



Dati climatici

Stazione climatica

1. Dati (Eto, VPD, Radiazione netta, etc.);
2. Acqua (CE, pH, etc.);

Stazione climatica

1. Dati (Eto, VPD, Radiazione netta, etc.);
2. Acqua (CE, pH, etc.);
3. Suolo (volumetrico, potenziale matriciale, conducibilità, etc.);



Monitoraggio delle colture

VANTAGGI

- TEMPI RAPIDI
- COSTI BASSI
- NATURA NON INVASIVA

REMOTE & PROXIMAL
SENSING

SVANTAGGI

- CALIBRAZIONI SITO - SPECIFICHE
- COMPLESSA ANALISI DATI
- DIFFICILE INTERPRETAZIONE

SENSORI OTTICI
MULTISPETTRALI

FLUORIMETRI

DENDROMETRI

MISURATORI DI PRESSIONE
DI TURGORE

MISURATORI DEL GRADO
DI MATURAZIONE DEI FRUTTI

Spettroradiometri Vis-NIR-SWIR

Raccolta dati microclimatici



La stazione meteorologica è un componente fondamentale per l'utilizzo dei sistemi di supporto alle decisioni (DSS). Essa permette di rilevare il microclima che circonda la pianta ed in generale del vigneto aziendale.



Stazione climatica

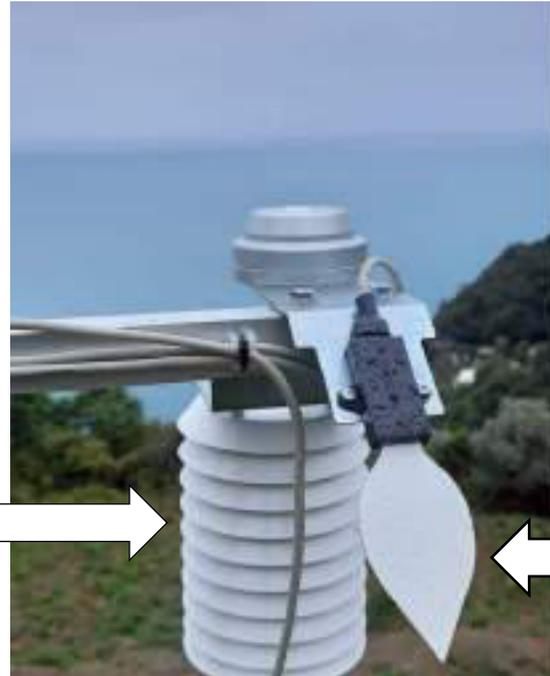
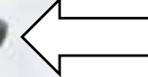
1. Dati (Eto, VPD, Radiazione netta, etc.);
2. Acqua (CE, pH, etc.);
3. Suolo (Volumetrico, potenziale matriciale, conducibilità, etc.);
4. Pianta (camera a pressione, turgore, dendrometria, etc.)
5. Frutto (dendrometria, temperatura) etc.)

Raccolta dati microclimatici

PLUVIOMETRO
(quantità di acqua
dalle precipitazioni)



ANEMOMETRO
(velocità e direzione
del vento)



TERMO-IGROMETRO
(temperatura e
umidità dell'aria)

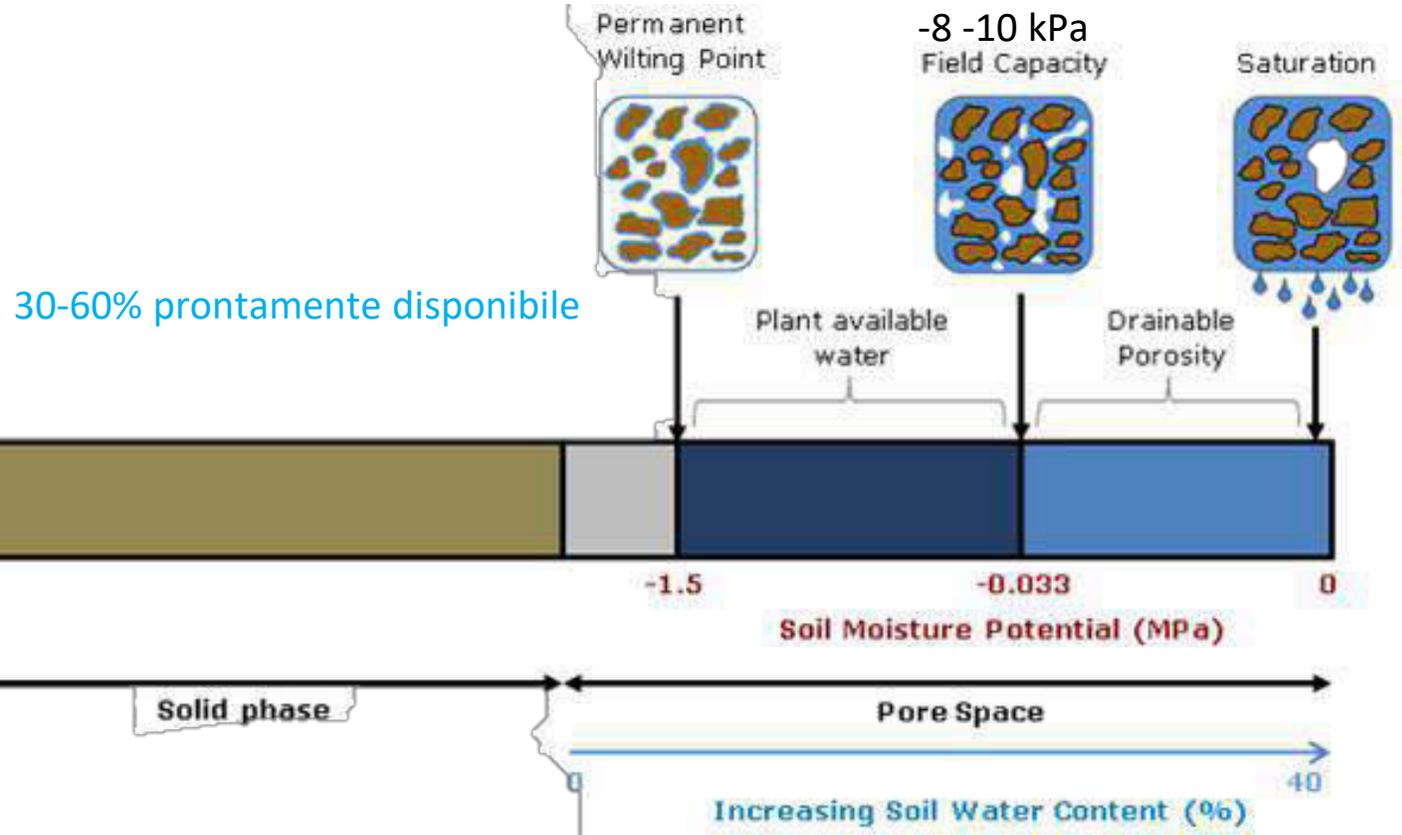
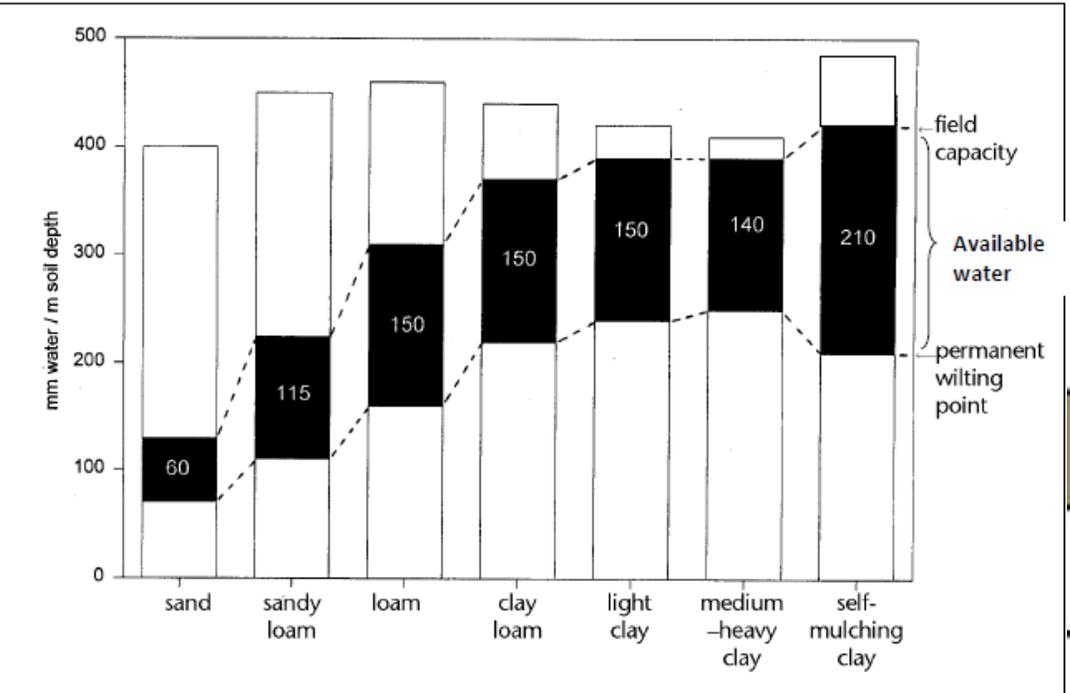


SENSORE DI
BAGNATURA
FOGLIARE
(ore di bagnatura
delle foglie)



Acqua disponibile?

Il volume di acqua disponibile alla capacità di campo è 15-25% per suoli sabbiosi, 35-45% medio impasto e 45-55% argillosi.



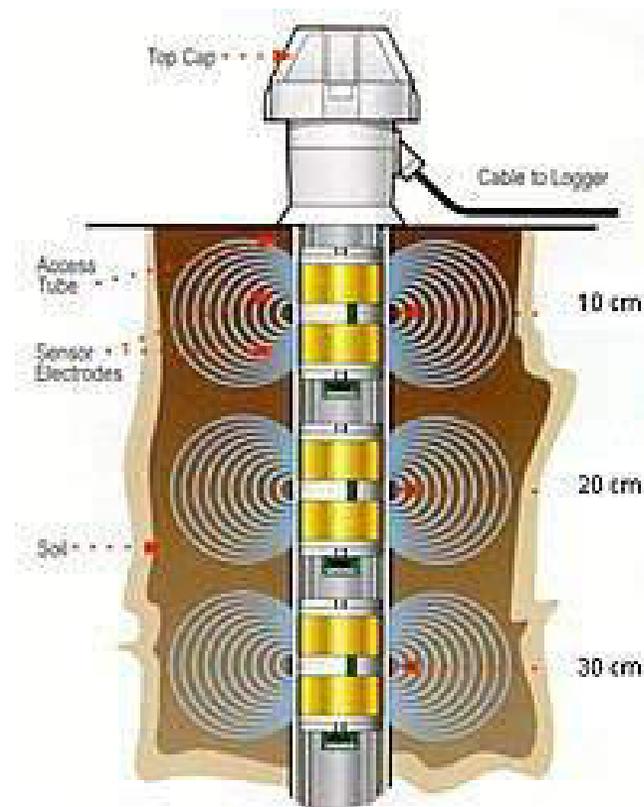
(Cotching, 2011)

Acqua nel suolo

EnviroSCAN (Sentek). Capacity Sensor (Frequency Domain)



- Configurazione modulare
- Misure a diverse profondità
- % umidità del suolo
- Water = 80; Dry Soil < 10; air = 1



Acqua nel suolo

EnviroSCAN (Sentek)



Acqua nel suolo

10HS (HOBO)

- % Umidità del suolo
- VWC Range: da 0 a 57%
- Output: 300 a 1250 mV DC



Acqua nel suolo

WaterScout SM100 (Spectrum)

- % Umidità del suolo
- VWC Range: da 0 a 55%
- Output: 0 a 1500 mV DC



Acqua nel suolo

Watermark (IRRROMETER)



- 0-200 cbar
- Variazione resistenza elettrica

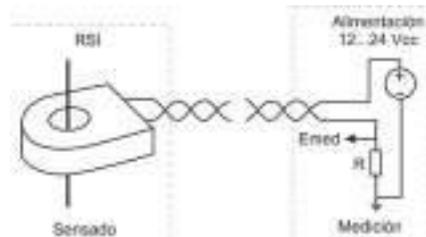
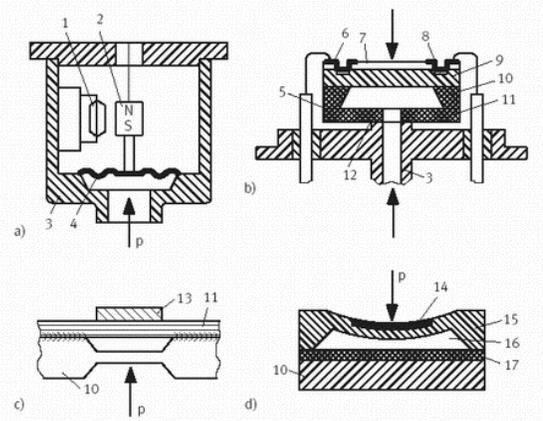


Acqua nel suolo

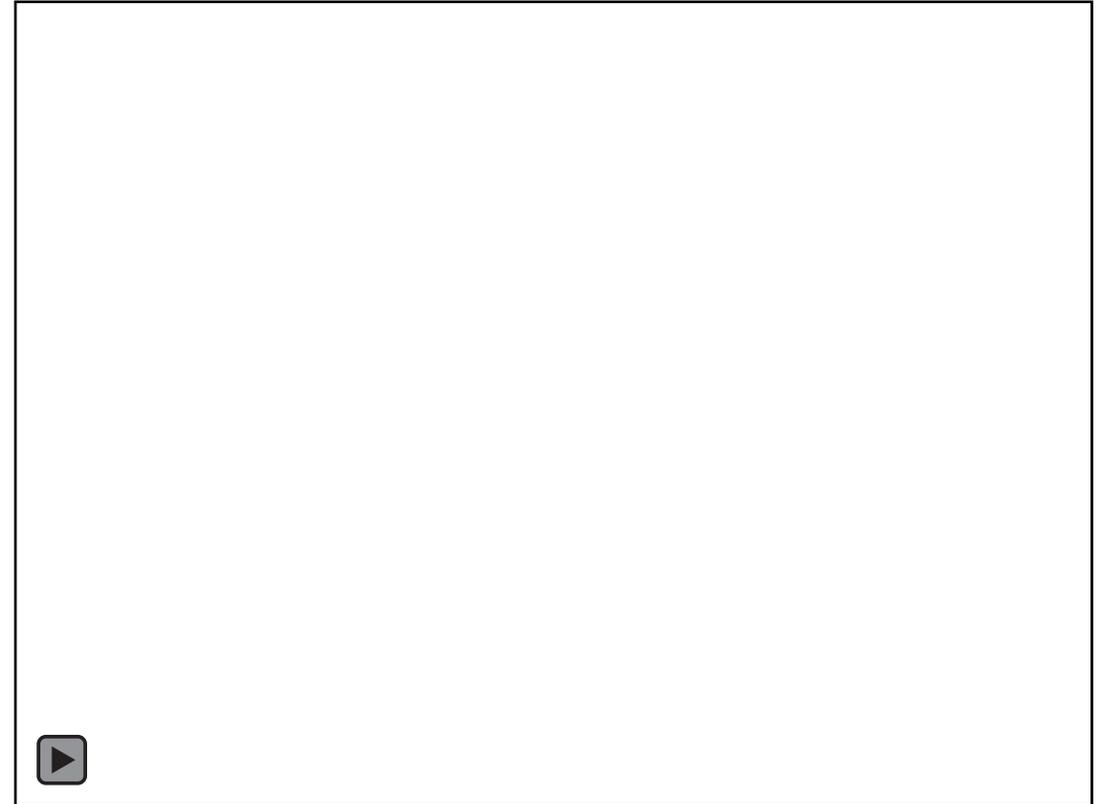
Tensiometer (IRROMETER)



Centibars / KPa



Output 4 – 20 mA



Acqua nel suolo



- SWP and Temp
- SWP: from -9 to -100000 kPa/ T: -40 a 60 °C
- Output: Bus Digital SDI12



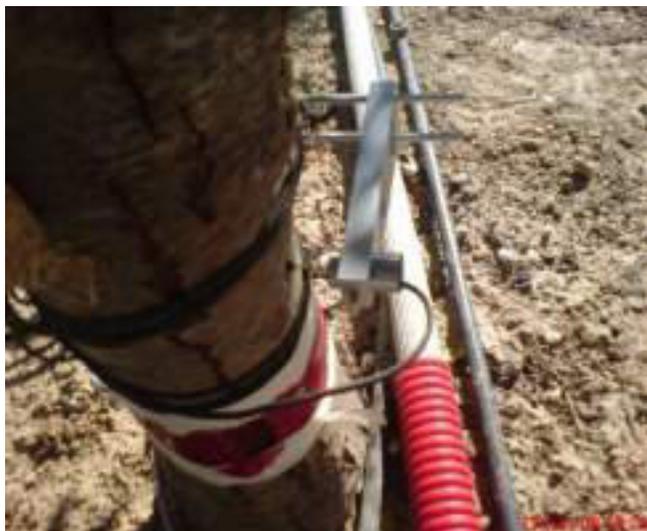
Conducibilità



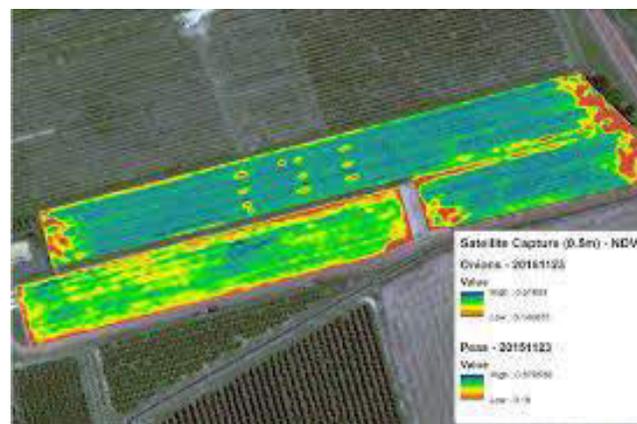
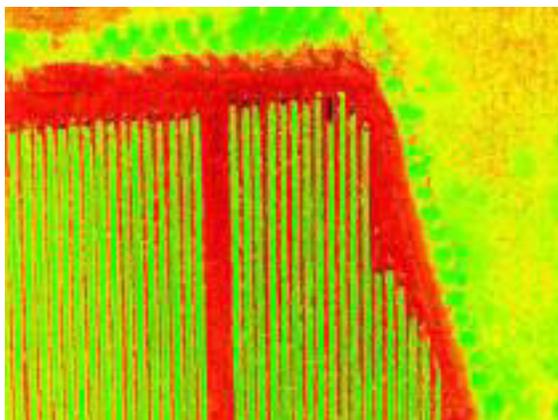
- **Sensore wireless EC:** Misura la conducibilità del terreno. Il valore di conducibilità dipende dalla salinità e dai nutrienti presenti nel suolo. Conoscerne la quantità è fondamentale per decidere la dose, la composizione e i tempi di concimazione.



Parametri della pianta



Parametri della pianta



Parametri della pianta

Termocamera

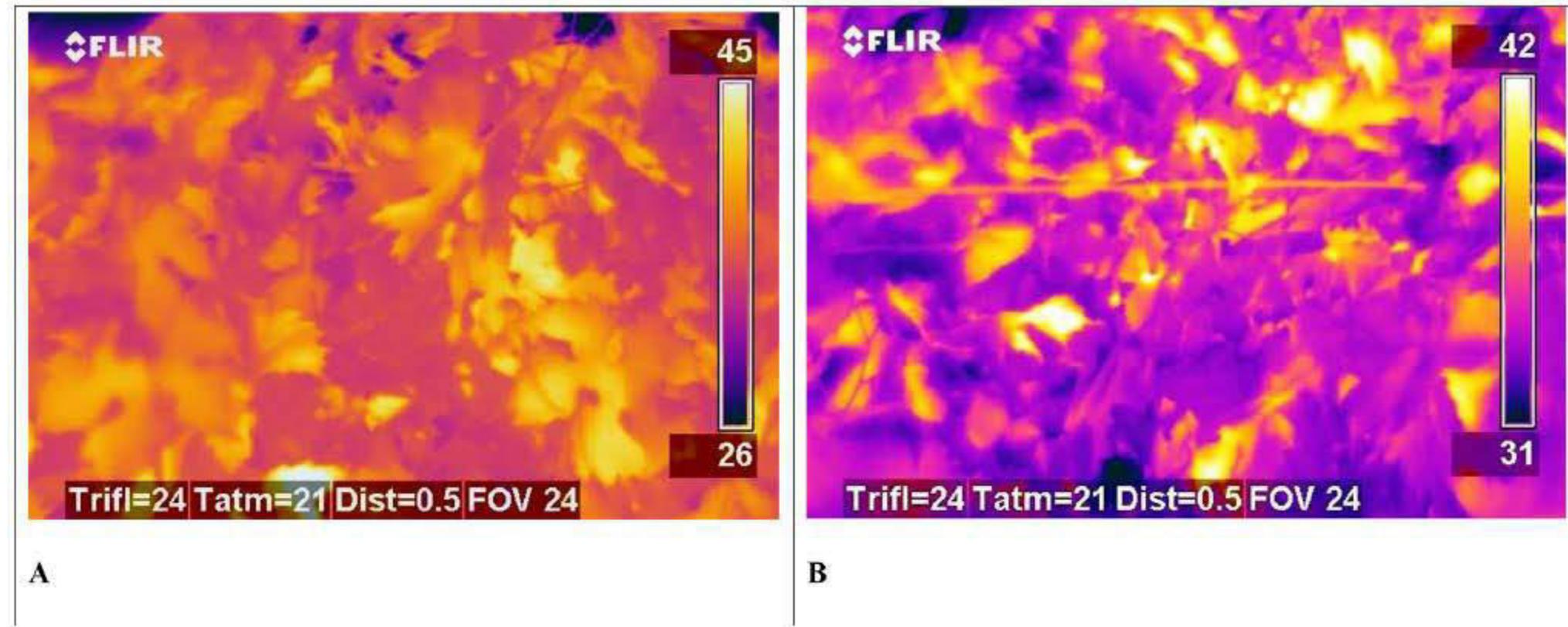
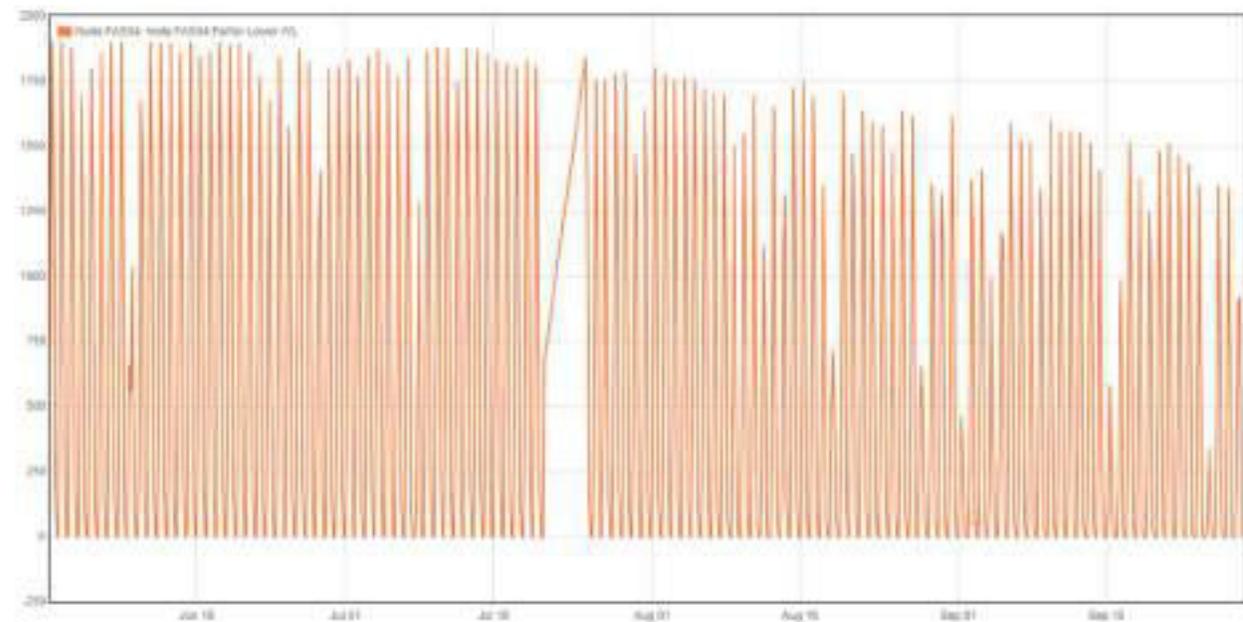
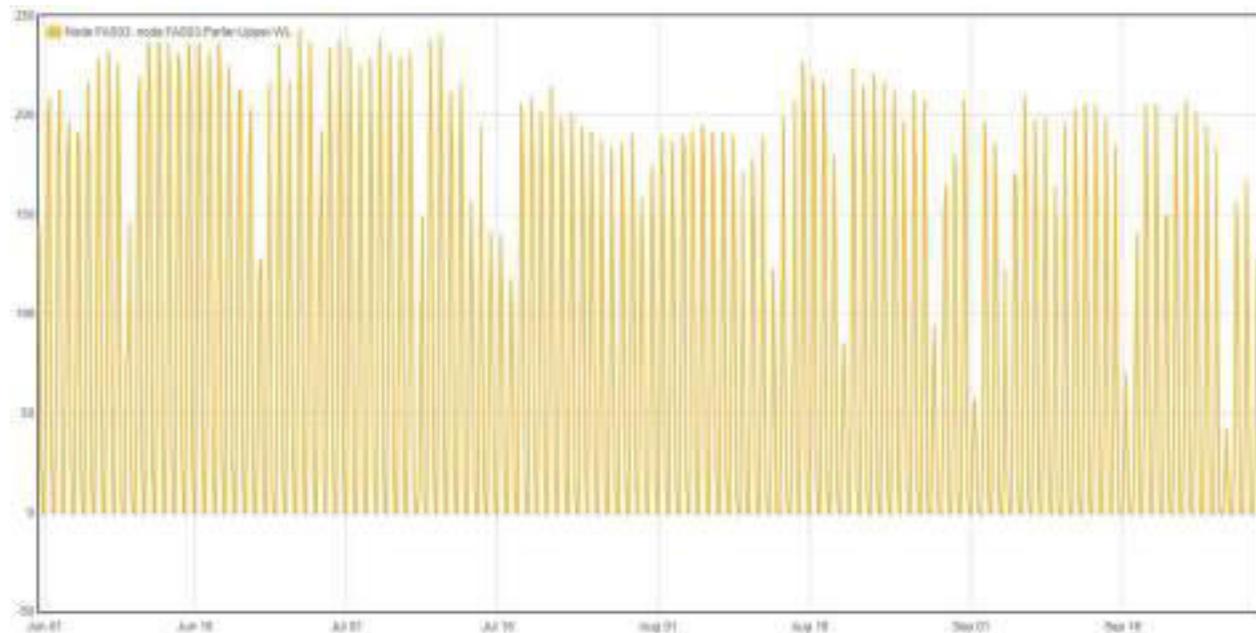


Fig. 3. Pictures obtained by the infrared camera of fines in full sun (A) and under the photovoltaic panels (B) at midday.

Parametri della pianta

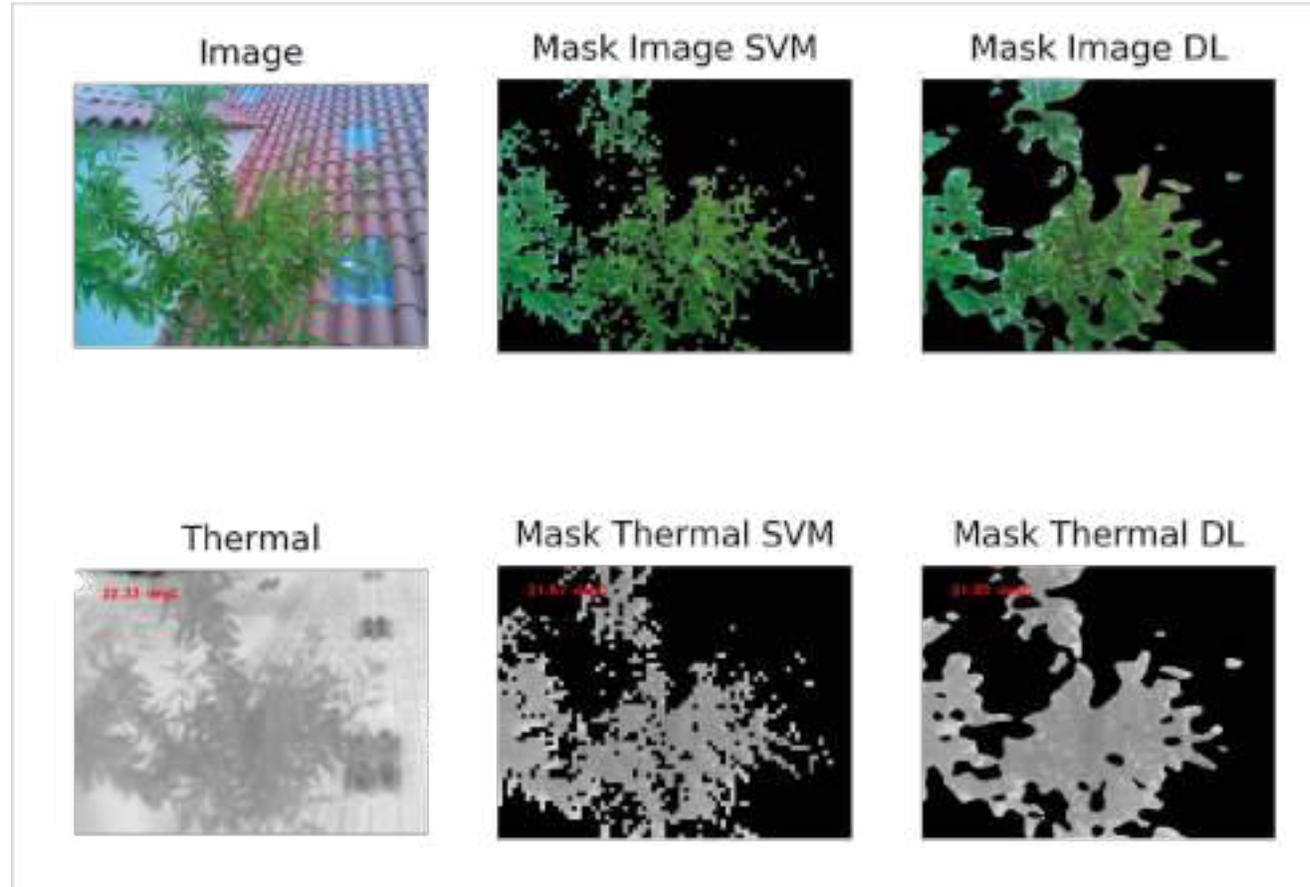


PAR



Parametri della pianta

Machine learning

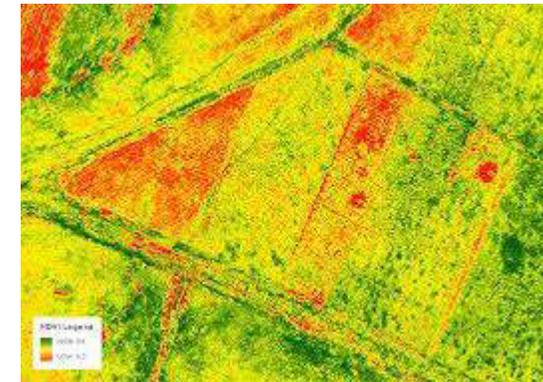


Parametri del frutto



Geolocalizzazione e sensori distali

- Geolocalizzazione per:
 - Mappatura del vigneto.
 - Guida automatizzata dei mezzi agricoli.
 - Distribuzione a rateo variabile dei concimi.
- Remote sensing:
 - Descrizione della fisiologia da remoto, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) con valori da -1 a +1.
 - Mappe di vigore (relazione tra NDVI e stato nutrizionale, stato idrico, etc.).
 - Termici, spettrali.



Droni



Dettagli del layer

Acquisizione	23/10/23 10:00:50 ora legale Europe occidentale Durata: 00:06:20
Centro	40.0831660, 16.9989696 (WGS84)
Area	~3,082 ha
GSD	2,773 cm/px
Bande	1 (Gray)

Istogramma e legenda



Impostazioni di visualizzazione

Equalizzazione istogramma: On
Valore minimo selezionato: -0,418
Valore massimo selezionato: 0,927
Valori fuori range: Trasparente

Statistiche

Area del layer (ha): 3,082 ha
Media indice: 0,634
SD indice: 0,160
Media indice (visible): 0,634
SD indice (visible): 0,160

Sistemi di telerilevamento

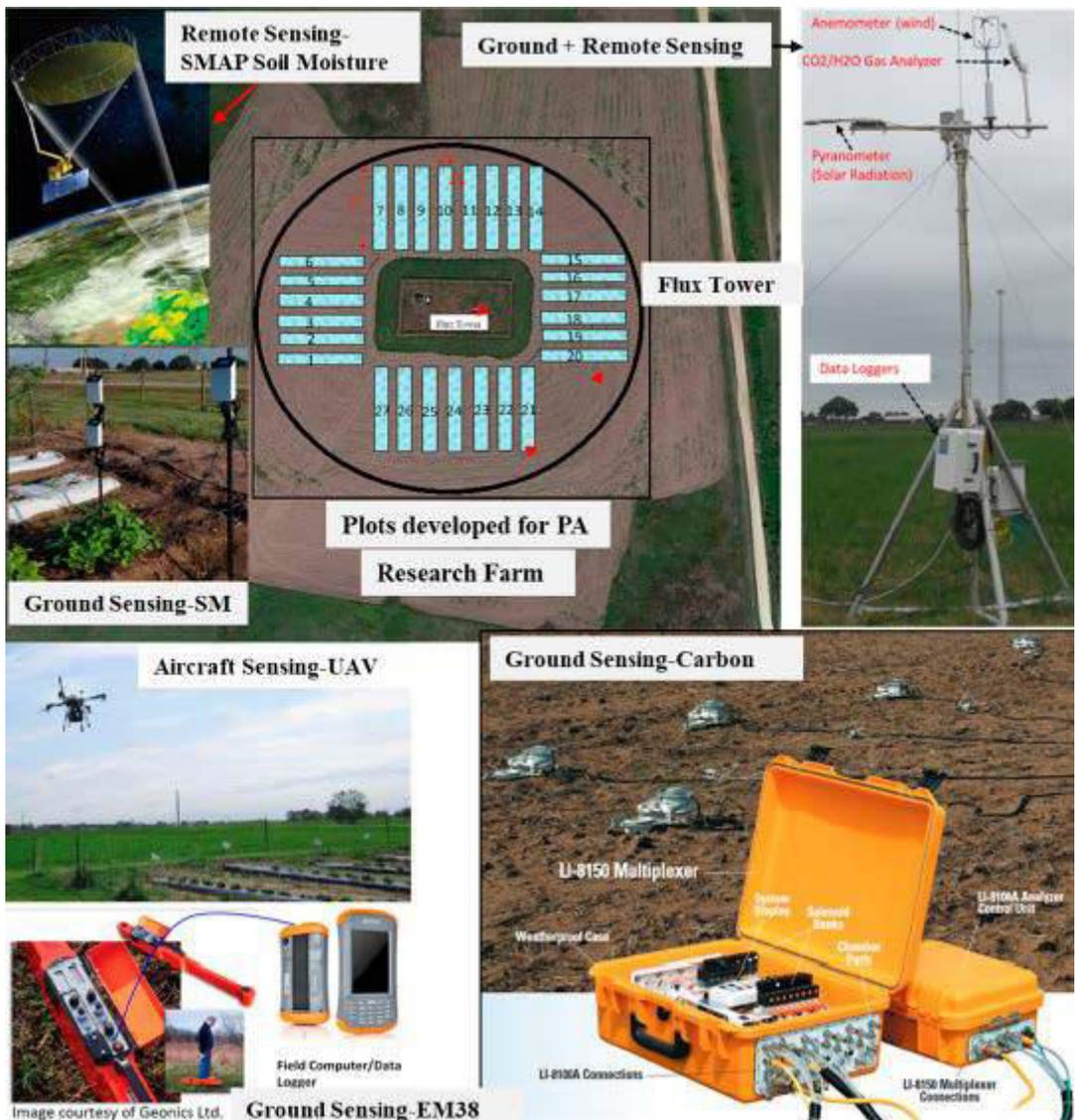
- MONITORAGGIO DELLE COLTURE
- GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE
- APPLICAZIONE DI NUTRIENTI
- CONTROLLO DI MALATTIE E PARASSITI
- PREVISIONE RESA PRODUTTIVA

I sistemi di telerilevamento sono classificati in base a:

PIATTAFORMA DI SENSORI



- SATELLITI
- PIATTAFORME AEREE
- PIATTAFORME TERRESTRI



Sistemi di telerilevamento

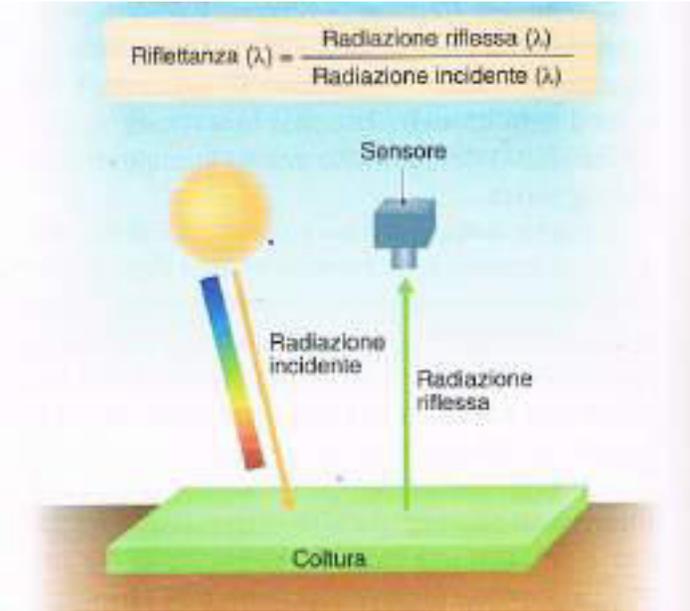
Caratteristiche delle diverse piattaforme				
Piattaforma	Risoluzione spaziale	Frequenza e tempestività	Risoluzione spettrale	Necessità elaborazione dati
	sentinel-2 10-20 m	5 gg download dal giorno successivo	12 bande ampiezza 15-70 nm	+/- corr. atmosferica indici vegetazionali Prodotti biofisici
	RAPIDEYE 5 m	A richiesta (Planet)	4 bande	Ortoregistrazione e radiometria con SW ad hoc
	WorldView-2 0,5 m	~3-4 gg	4 bande (8 a richiesta)	
	0.05 – 0.15 m	a richiesta	2-4 bande + termico	+ mosaicatura + ortoregistrazione + corr. radiometrica + corr. atmosferica + indici a richiesta
		consegna ~2-7 gg	ampiezza 50- 200 nm	
	0.5 – 5 m	a richiesta	2-4 bande	nessuna se sistema on-the-go
		consegna immediata	ampiezza 3- 20 nm	+ filtraggio se mappa

TIPO DI SENSORE

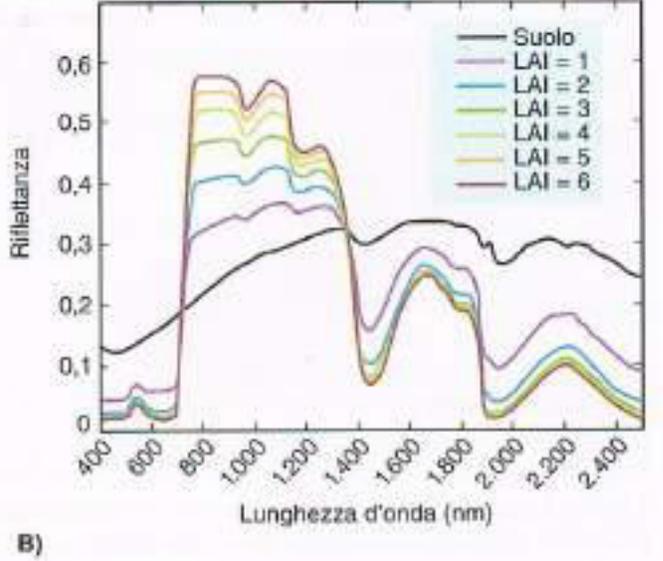
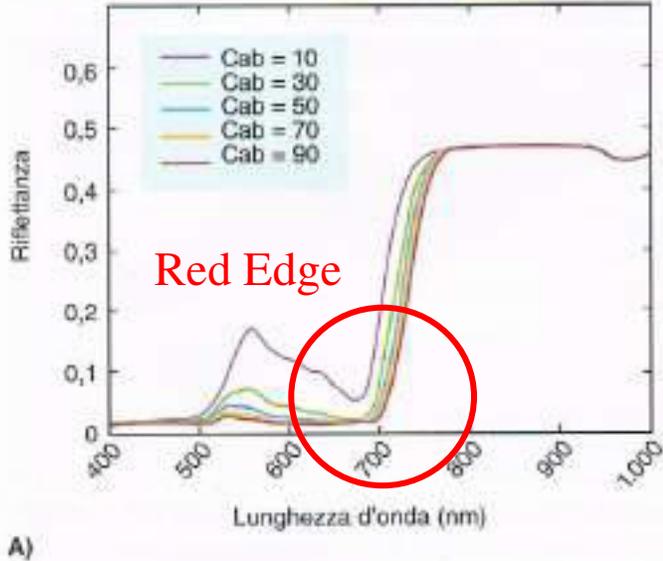


- RISOLUZIONE SPAZIALE
- RISOLUZIONE TEMPORALE
- RISOLUZIONE SPETTRALE

Monitoraggio delle colture



Schema di misura con un sensore per il telerilevamento nel dominio ottico (Ceccon, 2017).



Comportamento degli spettri di riflettanza al variare del contenuto di clorofilla a + b (Cab) (A) o del LAI da 1 a 6 (B), (Ceccon, 2017).

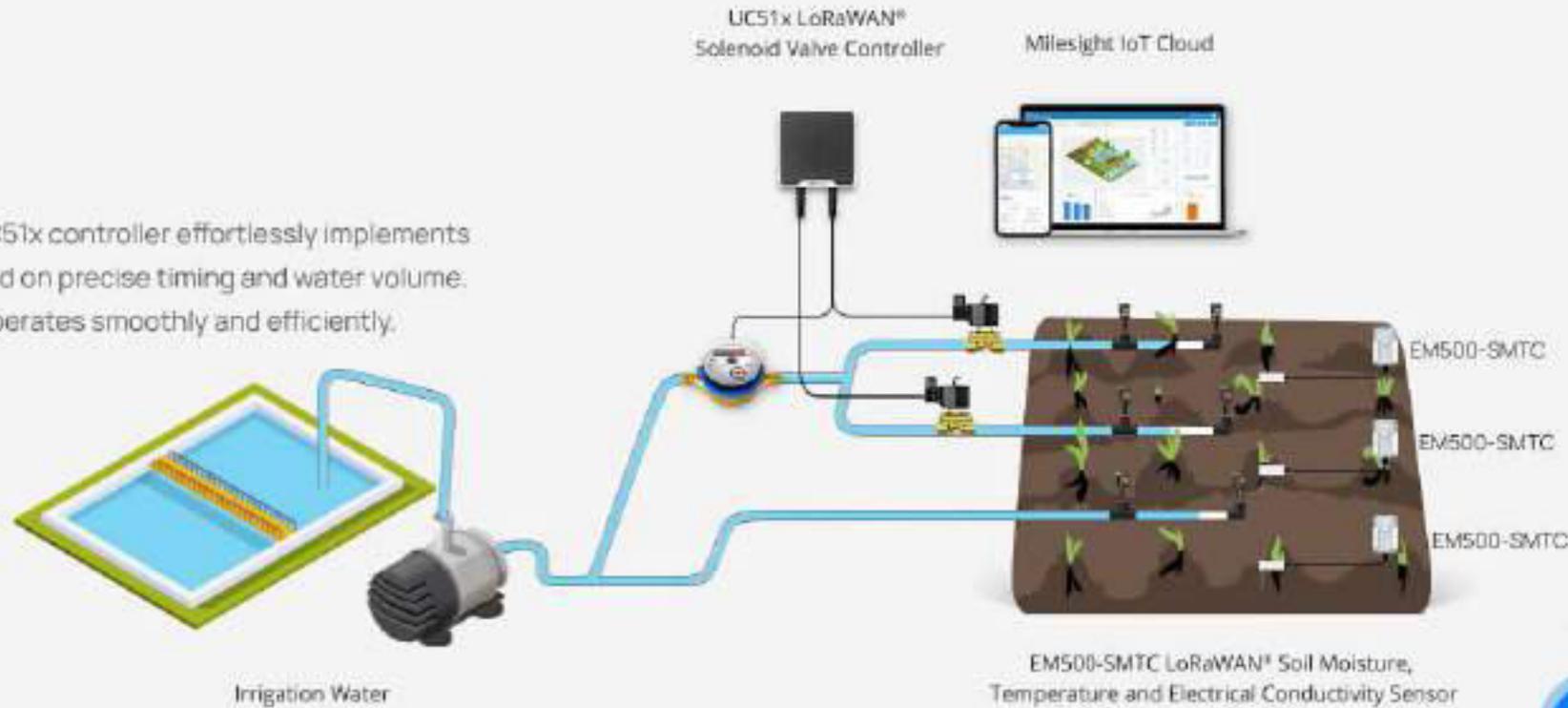
Typical Applications

Smart Irrigation

When the EM500-SMTC detects insufficient soil moisture, the UC51x controller effortlessly implements the predefined irrigation plan, enabling automated irrigation based on precise timing and water volume. This seamless integration guarantees an irrigation system that operates smoothly and efficiently.

Highlights

- Accurate and timely watering
- Save time, money, and water resources
- Data insights and analysis

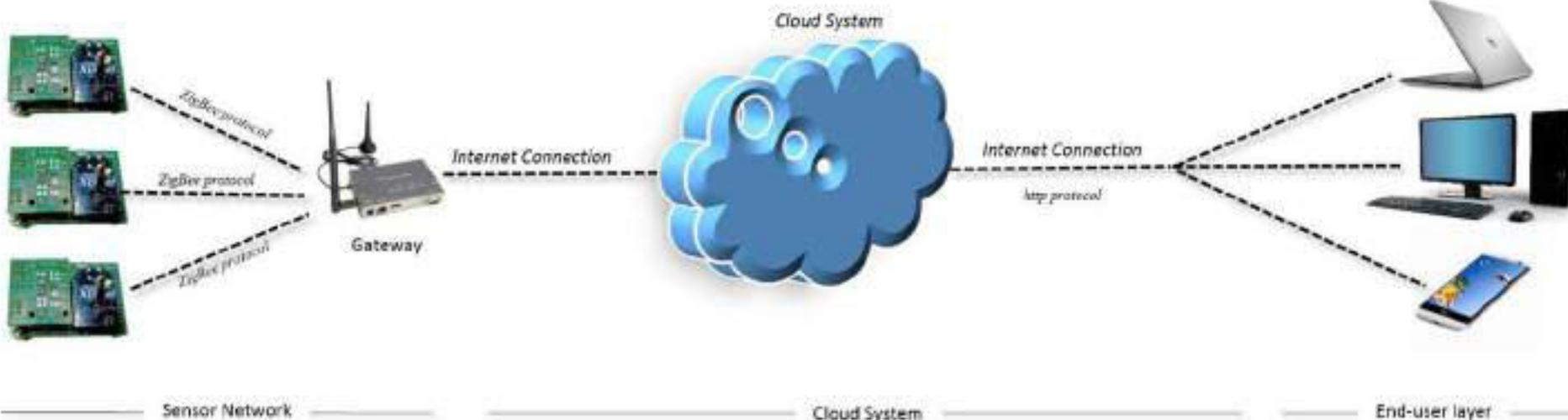
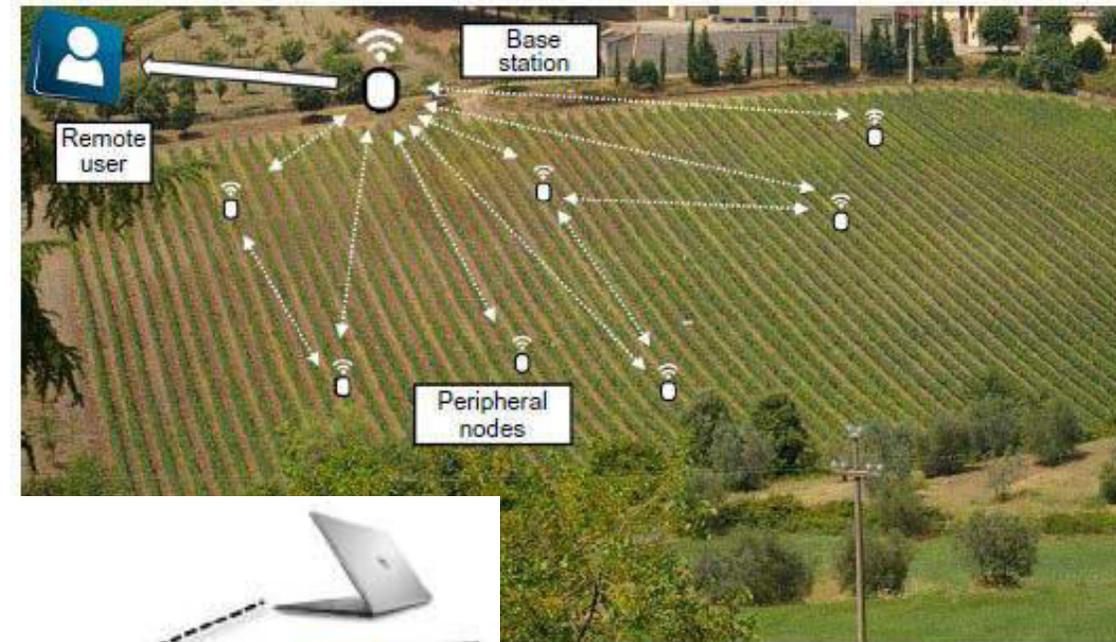


Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018
*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Wireless sensor network

- Un network di punti (nodi) collegati in wireless. Diversi sensori collegati ad un singolo datalogger che poi trasmettono i dati in wireless ad una postazione base.
- I diversi nodi vengono collocati in vari posizioni del vigneto.



Come usare le informazioni dei sensori?

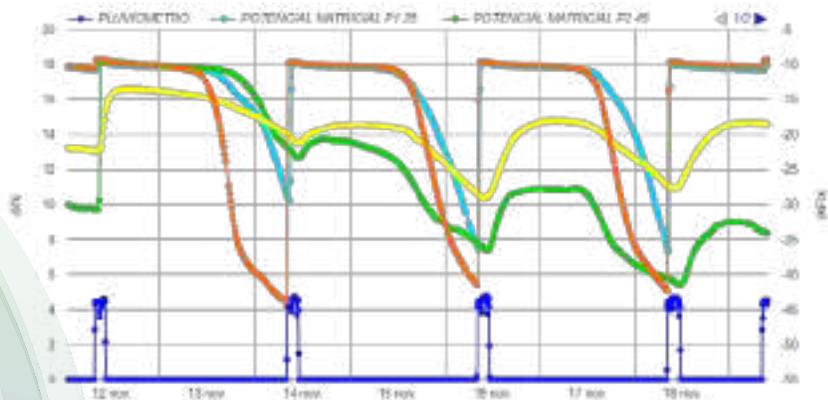


*SOIL AND PLANT DATA
ANALYSIS*

*IRRIGATION SETPOINT
(INCREASE OR DECREASE OF
WATER VOLUME %)*

Come usare le informazioni dei sensori?

Agronomo



Report

Datos registrados en la última semana		
CLIMA	ET ₀	79 m ³ ·ha ⁻¹ ·sema ⁻¹
	Lluvia	0,7 L·m ⁻² ·sema ⁻¹
	ETc	47 m ³ ·ha ⁻¹ ·sema ⁻¹
	NH ₂	52 m ³ ·ha ⁻¹ ·sema ⁻¹
	Predicción siguiente semana:	http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios/san-javier-id30035
Estado hídrico de suelo	Ψ _s (20 cm)	Valor promedio semanal en torno a -11 kPa (Suelo bien hidratado). Valor mínimo registrado en torno a -12 kPa (Suelo bien hidratado).
	Ψ _s (40 cm)	Valor promedio en torno a -16 kPa (Suelo bien hidratado). Valor mínimo registrado en torno a -17 kPa (Suelo bien hidratado).
	θ _v (50 cm)	El contenido volumétrico promedio de agua en el suelo a 50 cm de profundidad se encuentra a 0,39 (Suelo bien hidratado).
Riego aplicado	Nº de riegos	4
	Cantidad de riego	62 m ³ ·ha ⁻¹
	Caudal real de emisores	≈2,5 L·h ⁻¹ (caudal inferior al nominal)

Come usare le informazioni dei sensori?

G. Ferrara et al.

Scientia Horticulturae 308 (2023) 111595

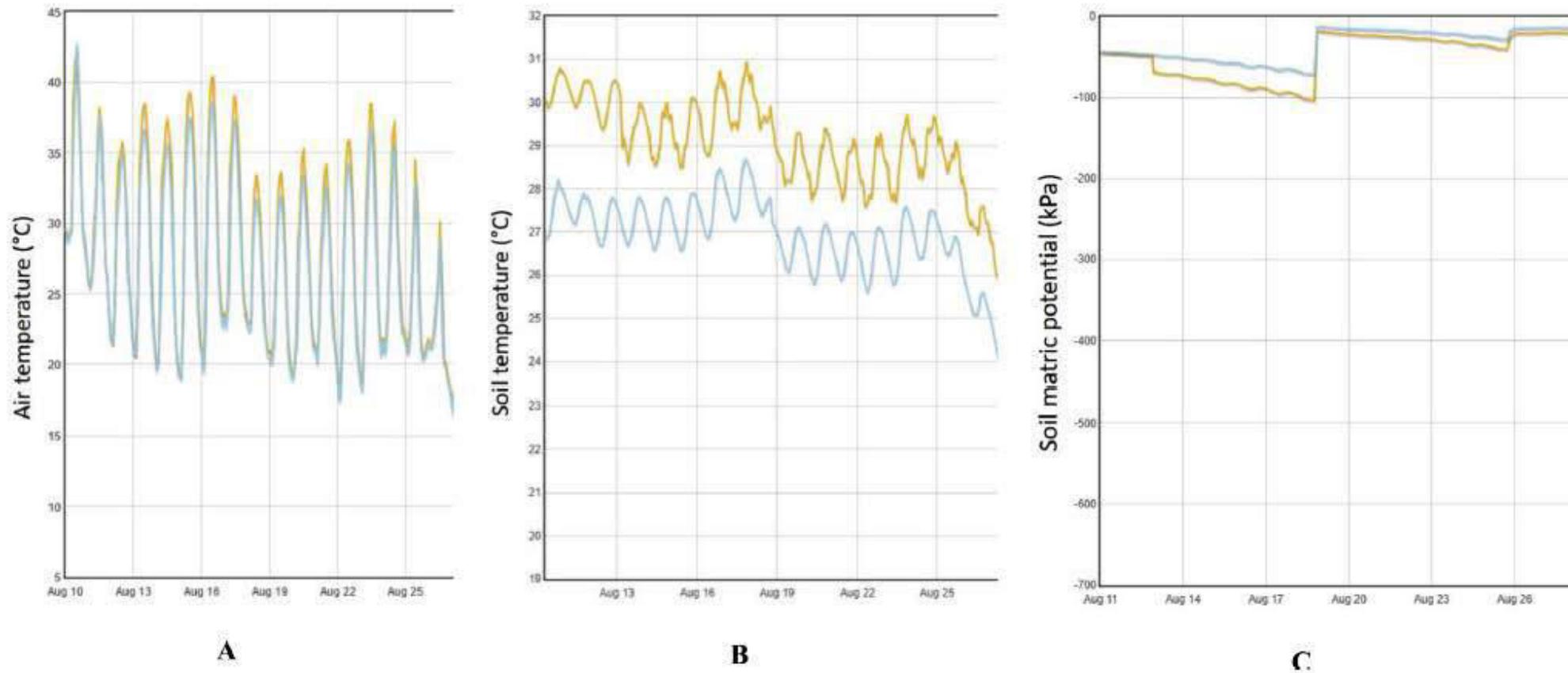


Fig. 2. Air temperature (A), soil temperature (B) and soil matric potential (C) in full sun (yellow line) and under the photovoltaic panels (blue line) in August 2019.

Come usare le informazioni dei sensori?

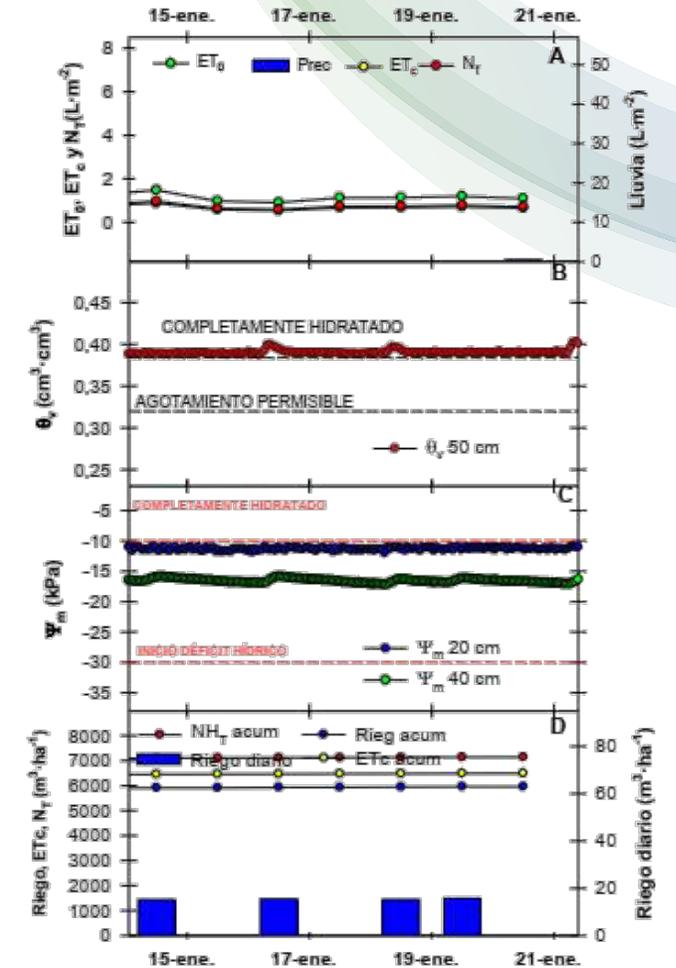


Automatizzare l'irrigazione

Irrigazione



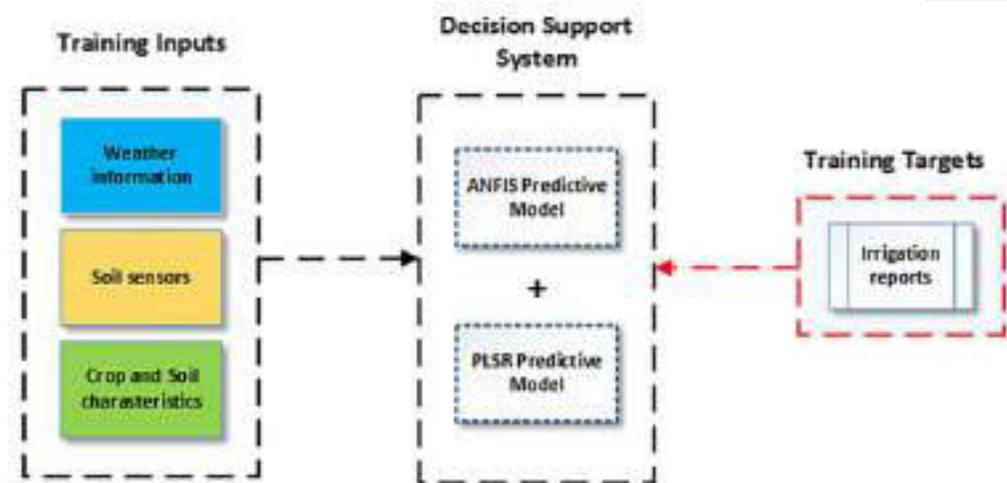
Valori di intervento



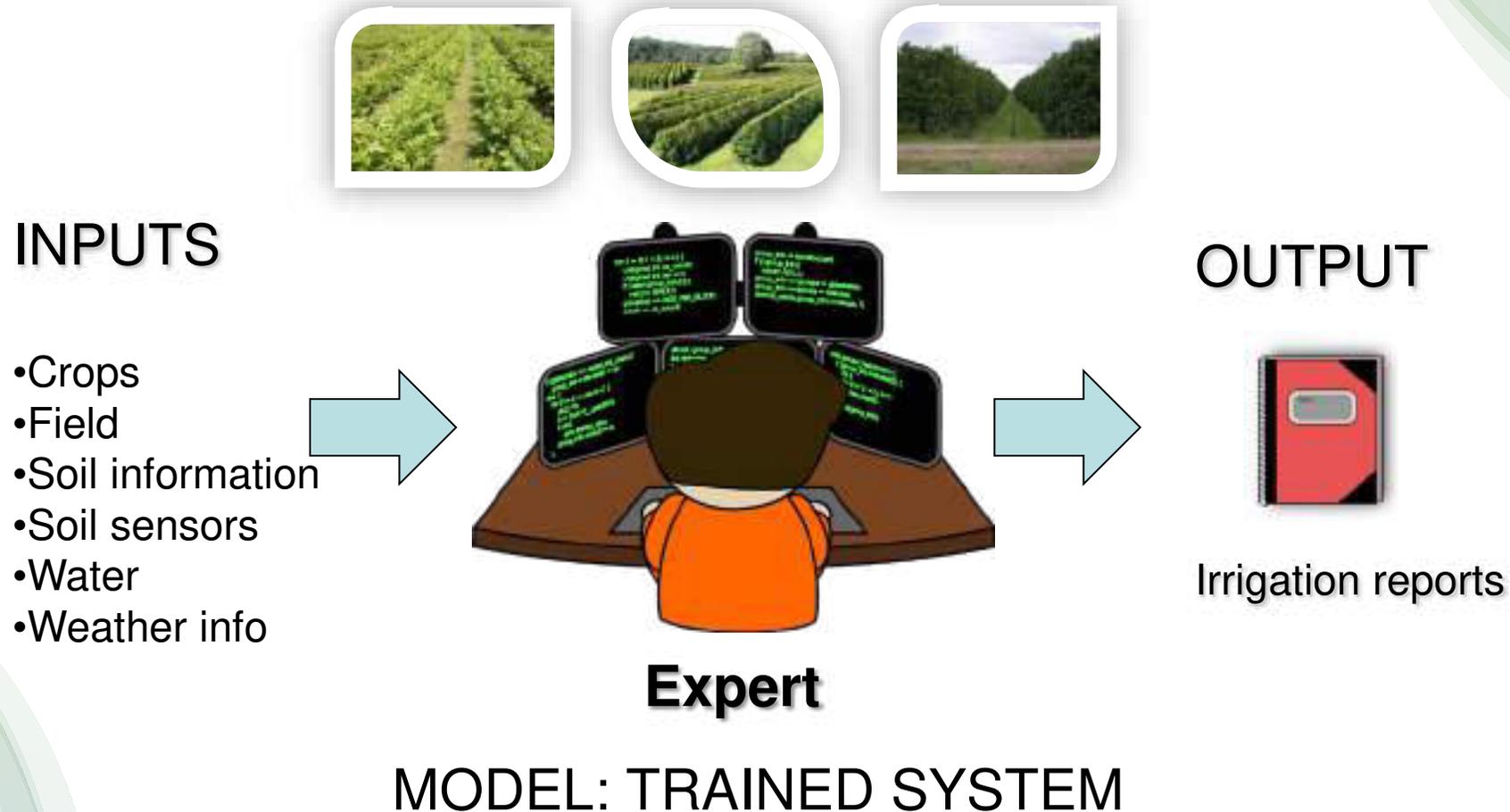
Sistema di supporto alle decisioni (DSS)



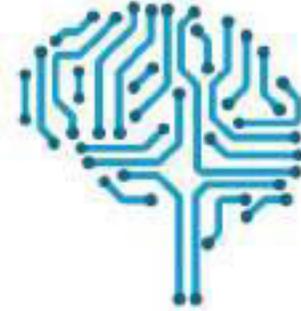
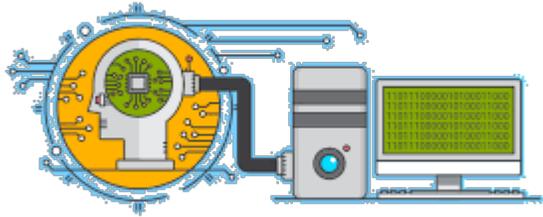
DSS



Sistema di supporto alle decisioni (DSS)

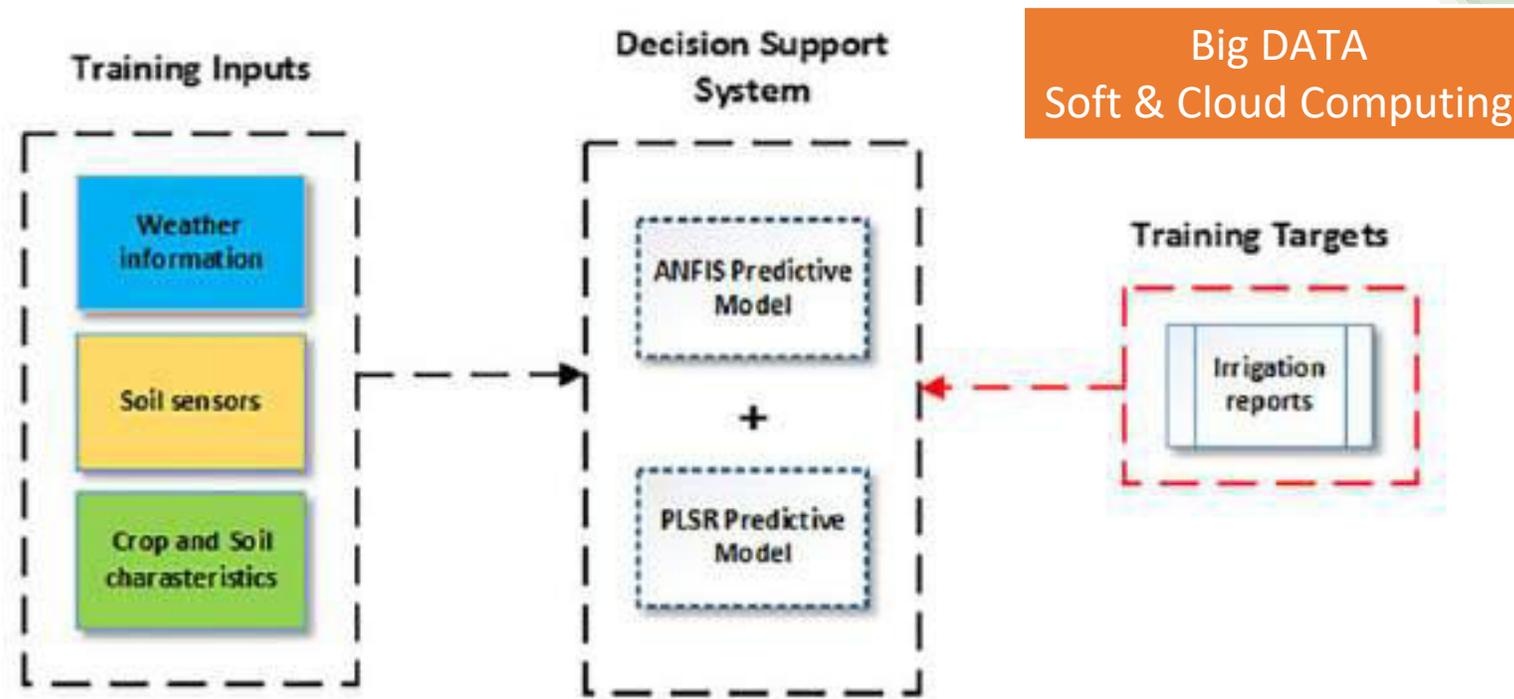


Sistema di supporto alle decisioni (DSS)

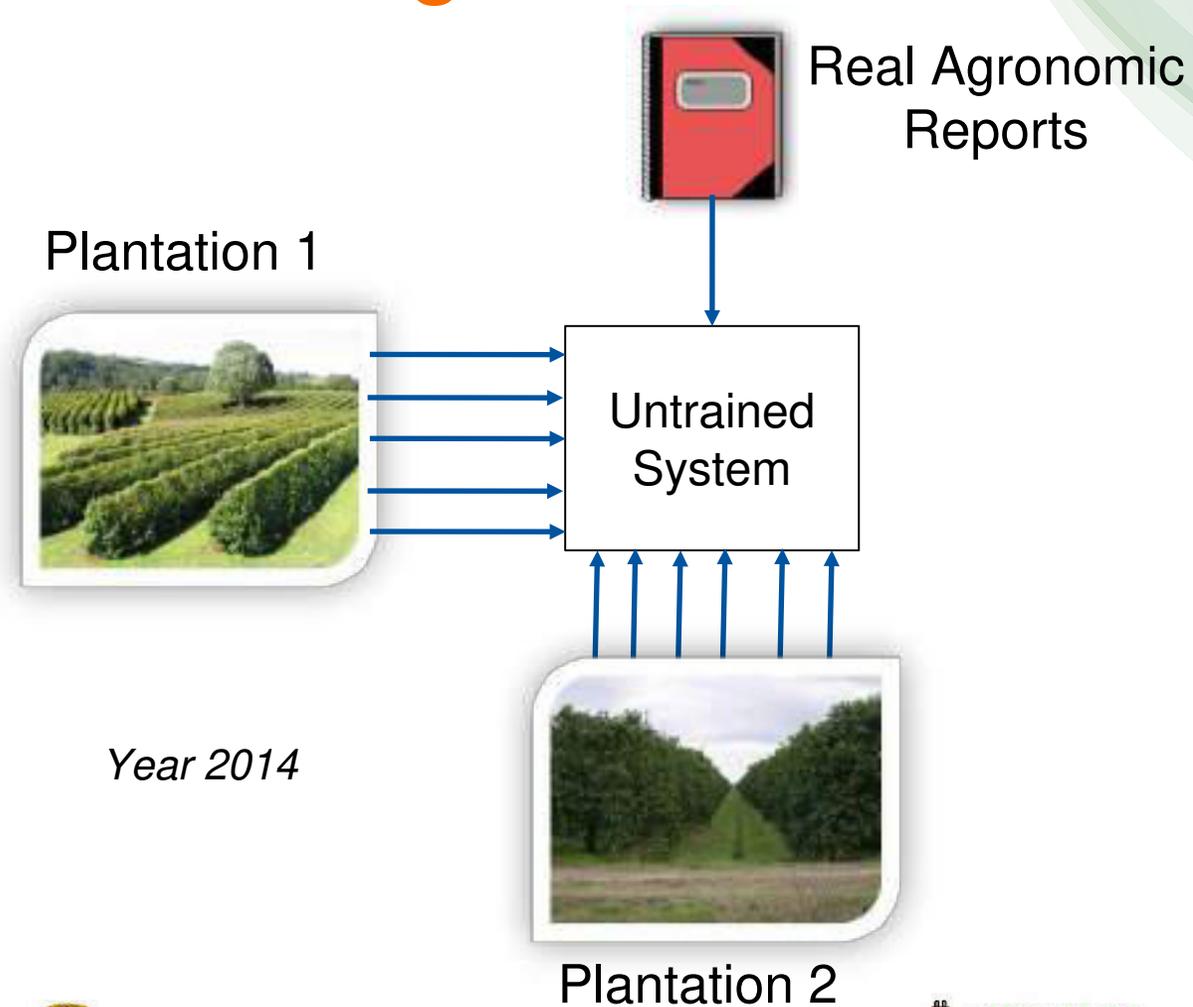


- Study and construction of algorithms that can learn from and make predictions on data
- Main applications: computing tasks where designing and programming explicit algorithms is unfeasible

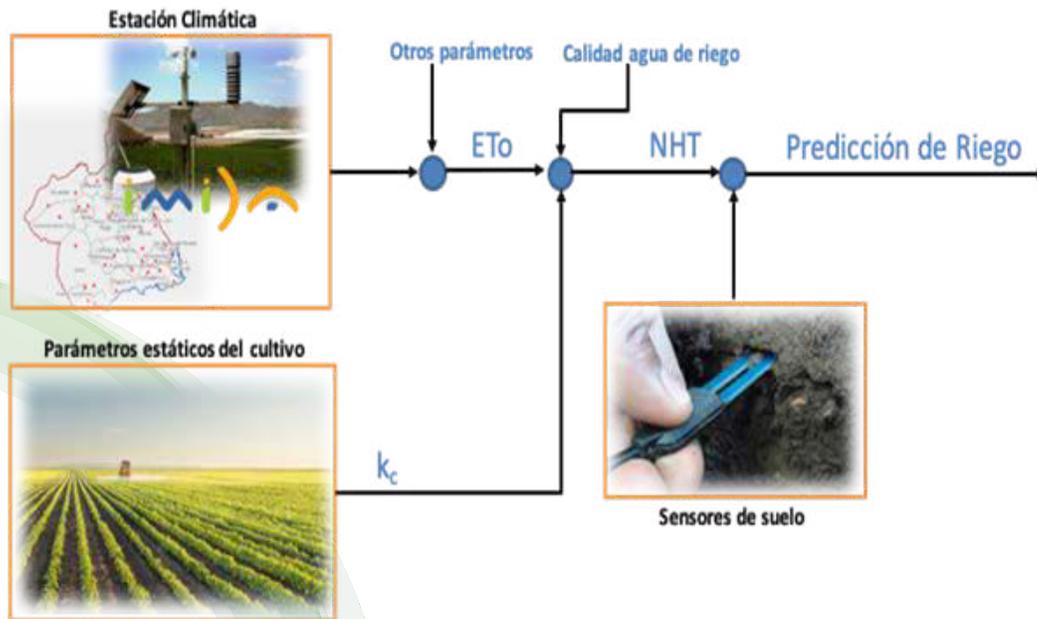
Sistema di supporto alle decisioni (DSS)



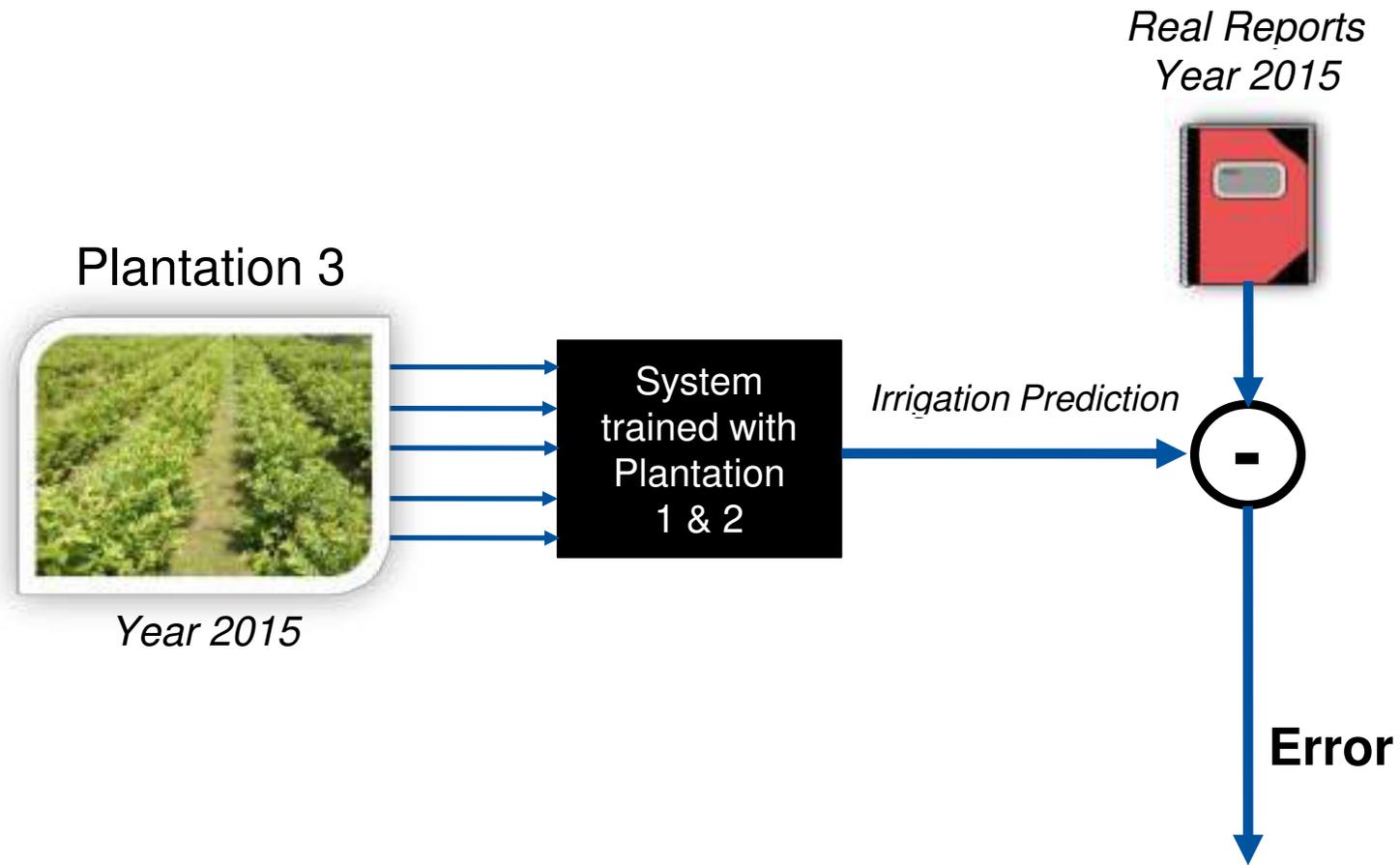
Sistema di supporto alle decisioni (DSS) Training



Sistema di supporto alle decisioni (DSS) Training

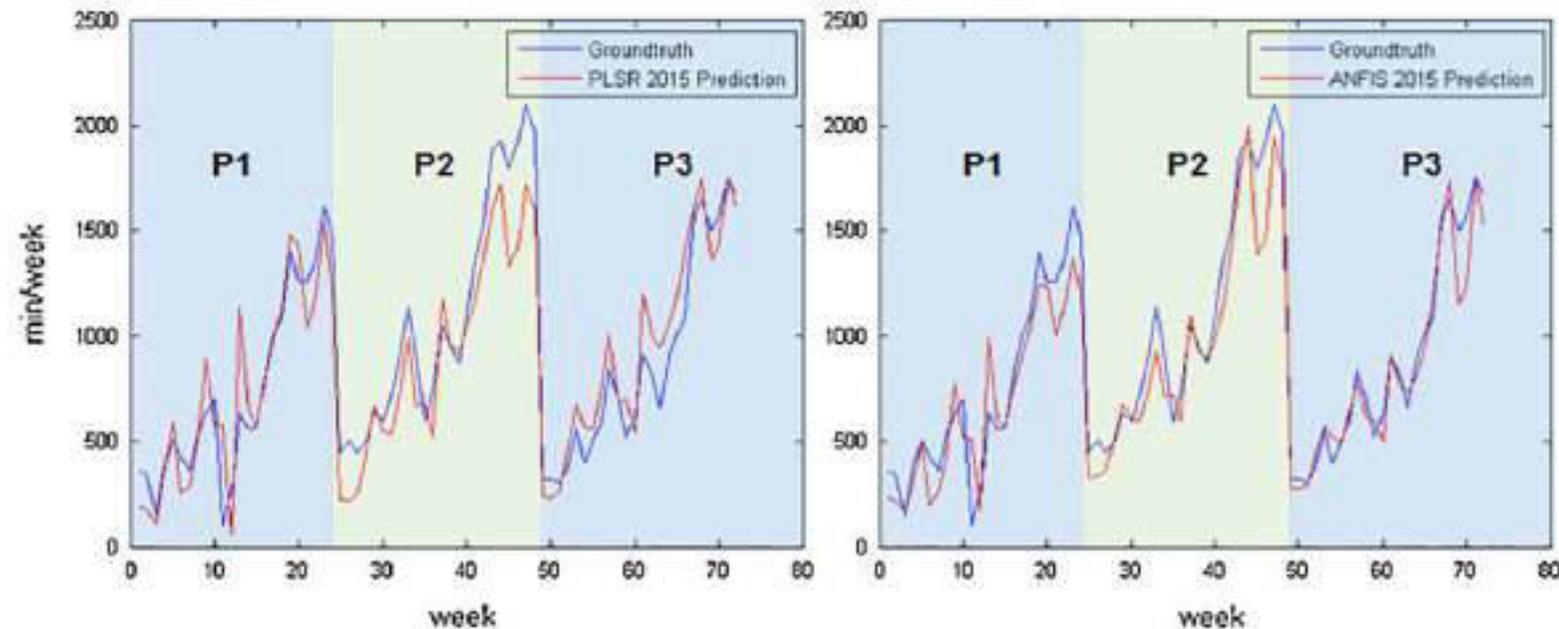


Sistema di supporto alle decisioni (DSS) Validazione

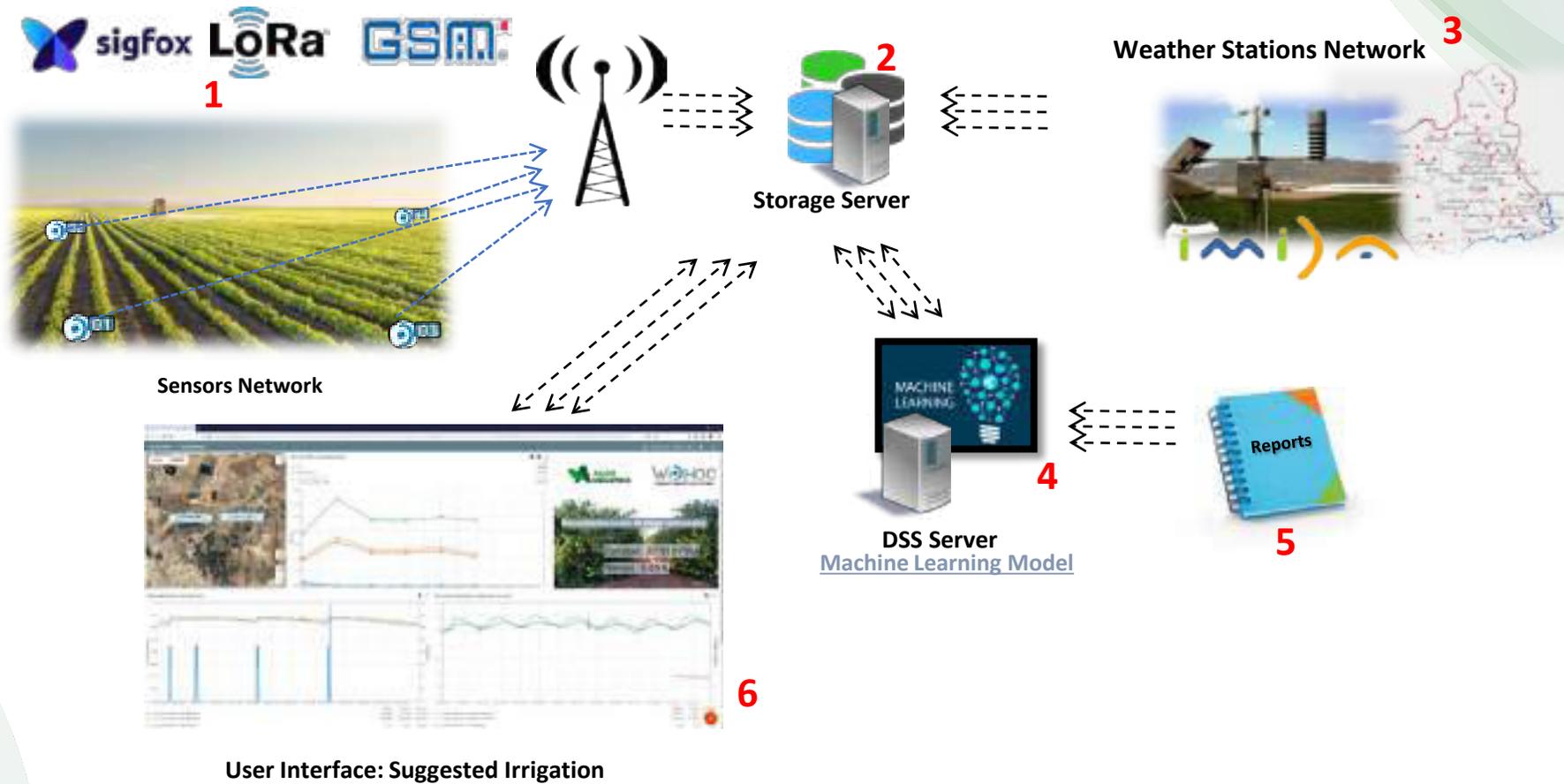


Sistema di supporto alle decisioni (DSS) Validazione

Training values = year 2014
DSS values = year 2015



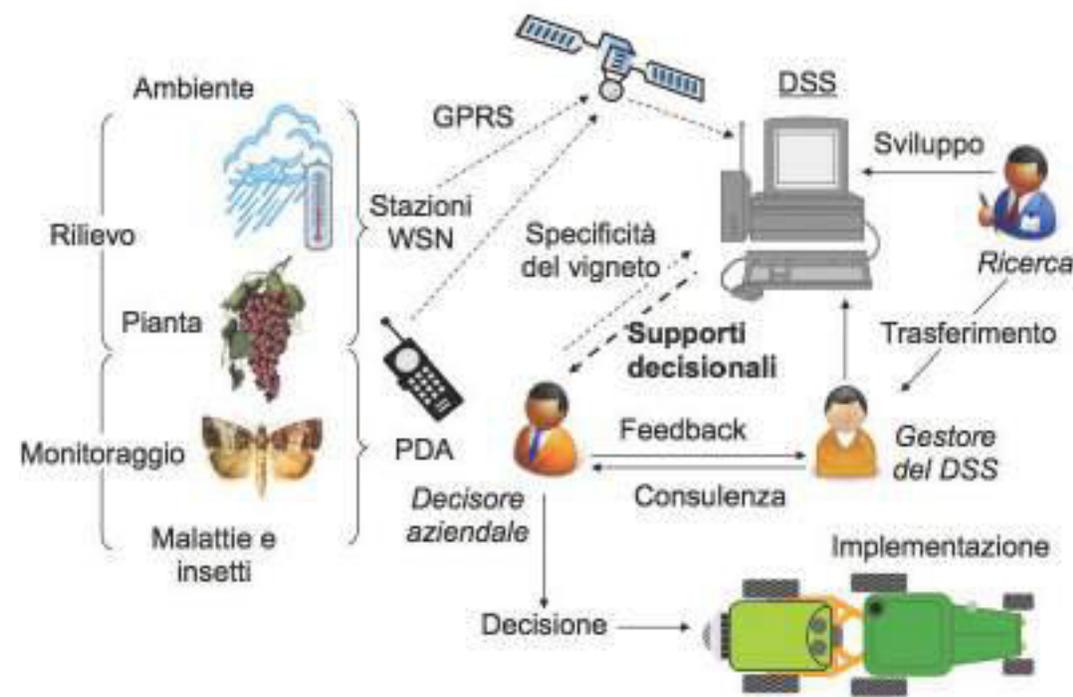
Sistema di supporto alle decisioni (DSS) In futuro....



Sistemi di supporto alle decisioni (DSS)

I DSS in agricoltura di precisione rappresentano un fattore chiave per gestire in modo efficiente l'azienda agricola e prendere le giuste decisioni nel momento più opportuno.

Lo scopo dei DSS non è quello di "imporre" una scelta, ma di fornire un supporto a tecnici e agricoltori nell'analisi per le decisioni da prendere.



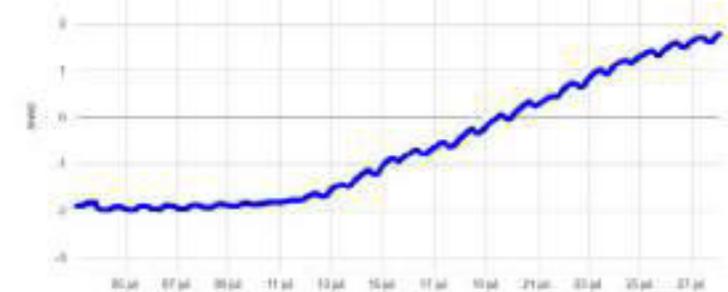
Vantaggi dei DSS

- ✓ Sostengono l'agricoltore o il tecnico nell'ottenere il controllo su tutte le variabili necessarie a prendere corrette decisioni.
- ✓ Forniscono previsioni numeriche, anche a brevissimo termine.
- ✓ Gestione da remoto.
- ✓ Conservano tutte le informazioni creando un database storico.
- ✓ Risparmi di input produttivi rispetto a programmazioni con metodi tradizionali attorno al 30-35%.

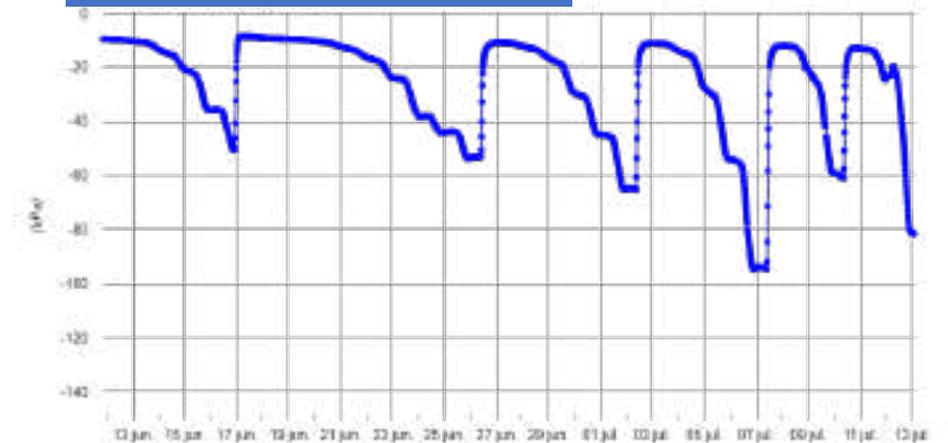
Rappresentazione dei dati

- I dati vengono rappresentati in **Dashboard analitiche**
 - Applicazione web o mobile.
 - Consentano la rapida aggregazione e visualizzazione dei dati.
 - Indicatori rapidi o diagrammi interattivi.
 - Possibilità di settare valori soglia (Trigger) associati ad allarmi.
 - Possibilità di confrontare i dati.

Crescita dell'acino

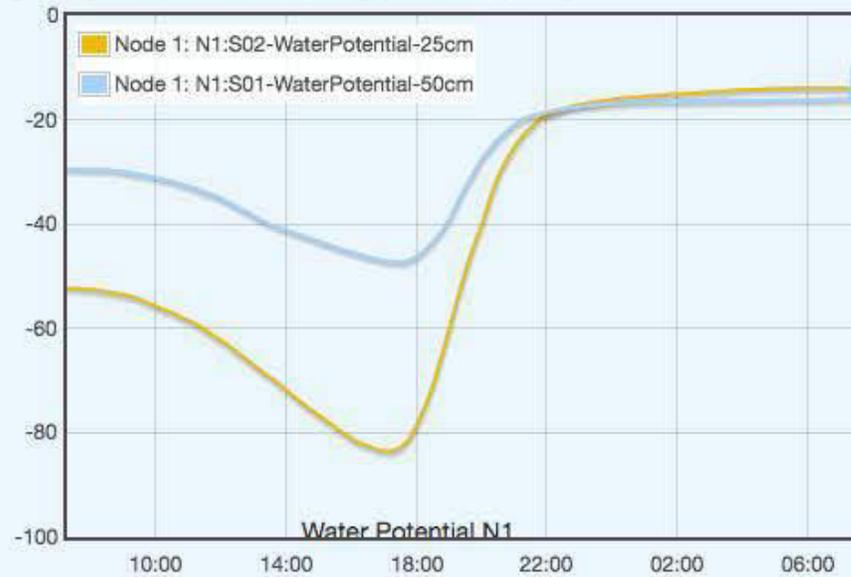


Potenziale matriciale

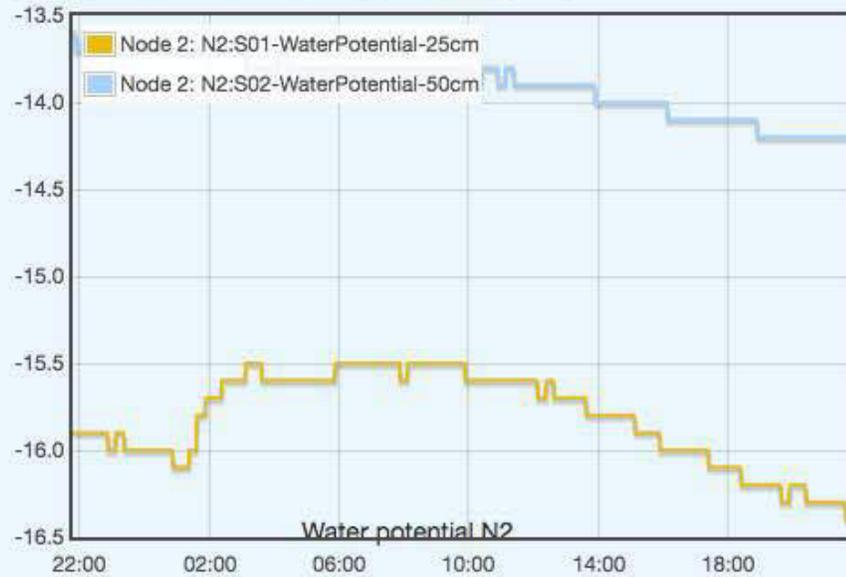


Rappresentazione dei dati

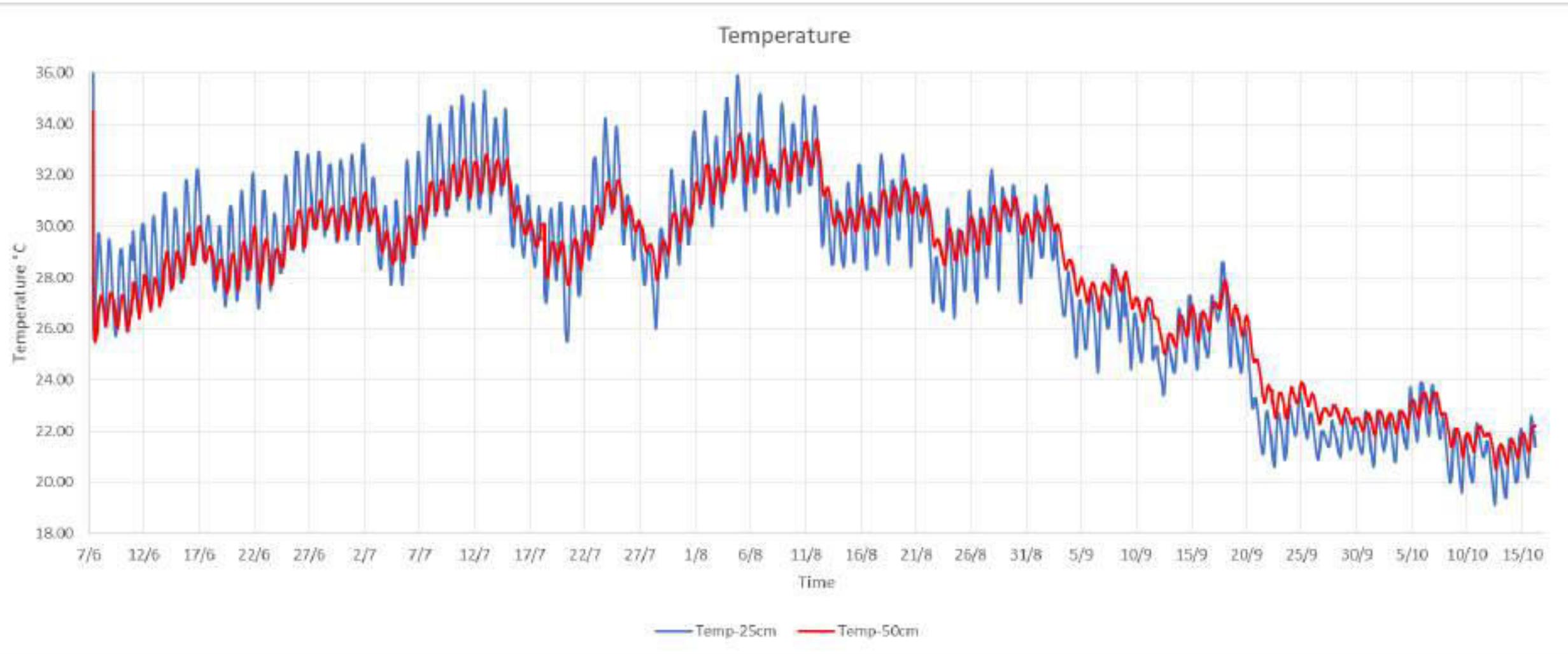
D W M Y + - < >



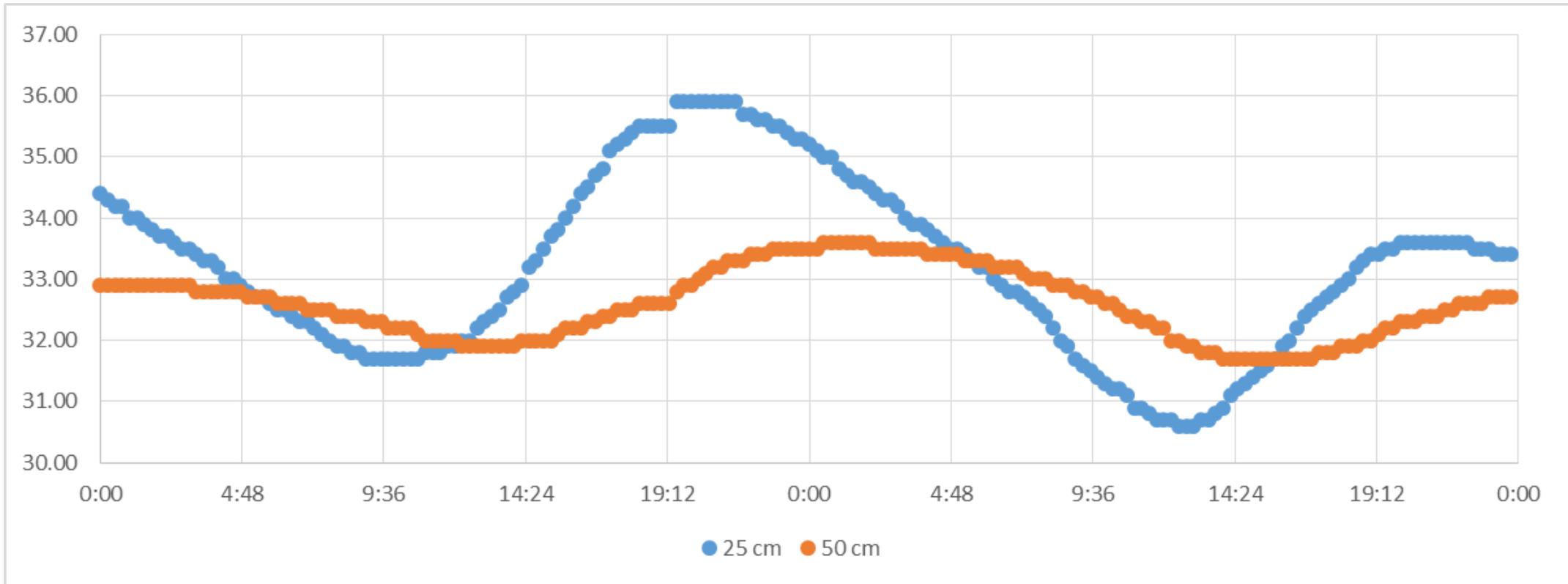
D W M Y + - < >



Rappresentazione dei dati



Rappresentazione dei dati

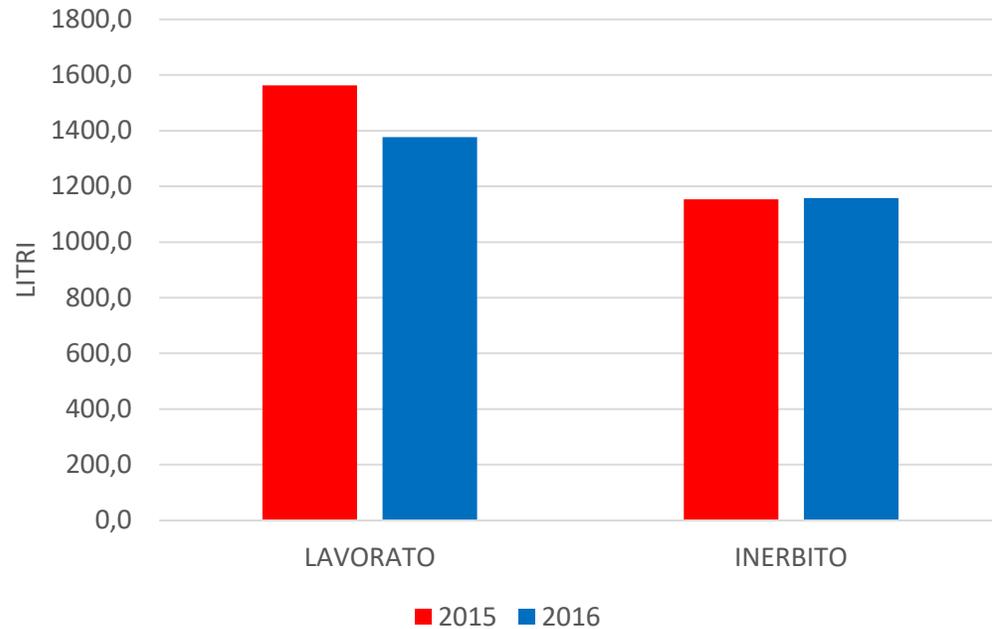


Rappresentazione dei dati

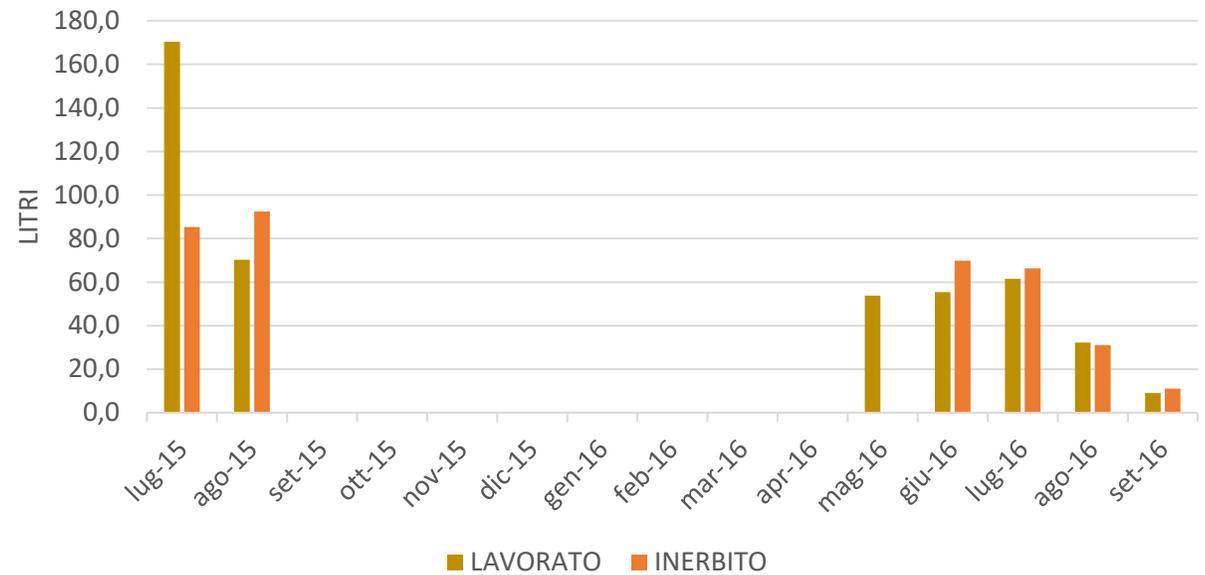


Risultati

VOLUMI IRRIGUI TOTALI

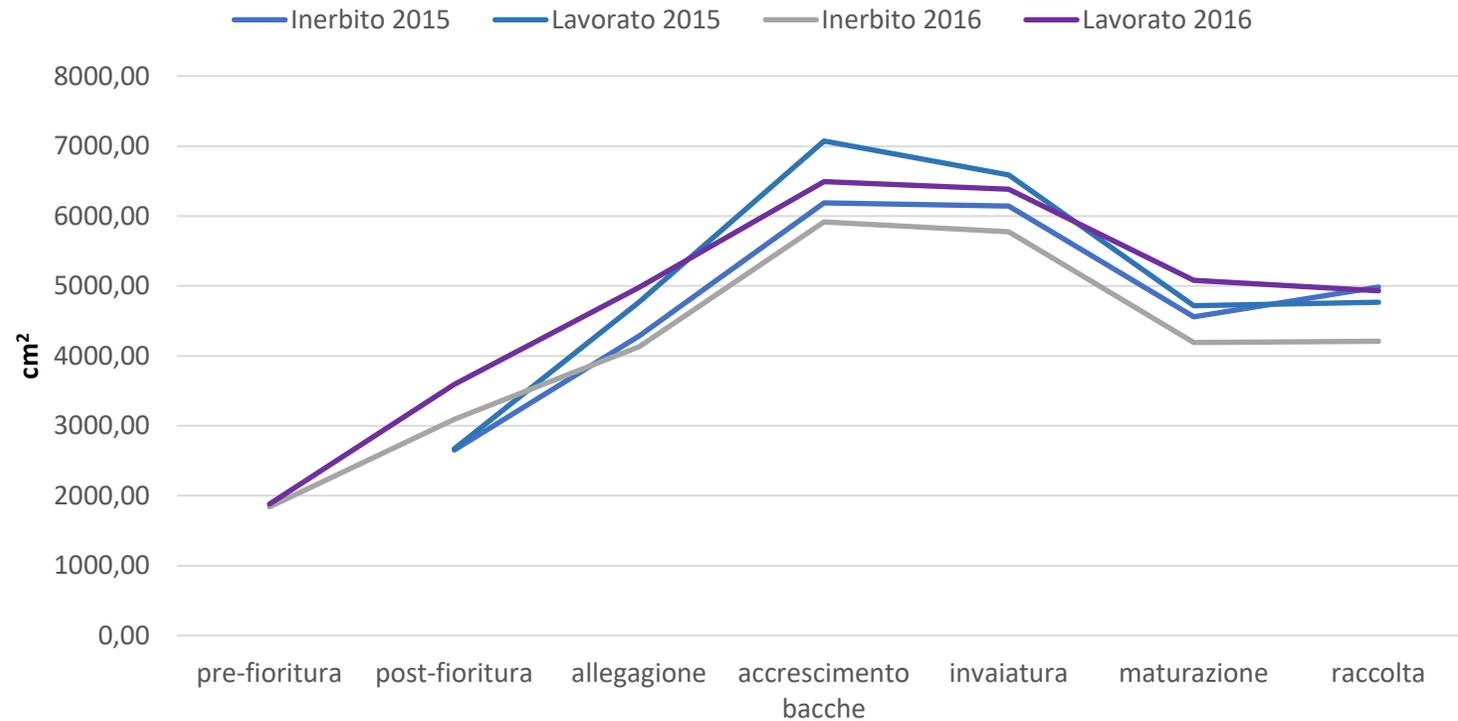


VOLUMI IRRIGUI MENSILI



Risultati

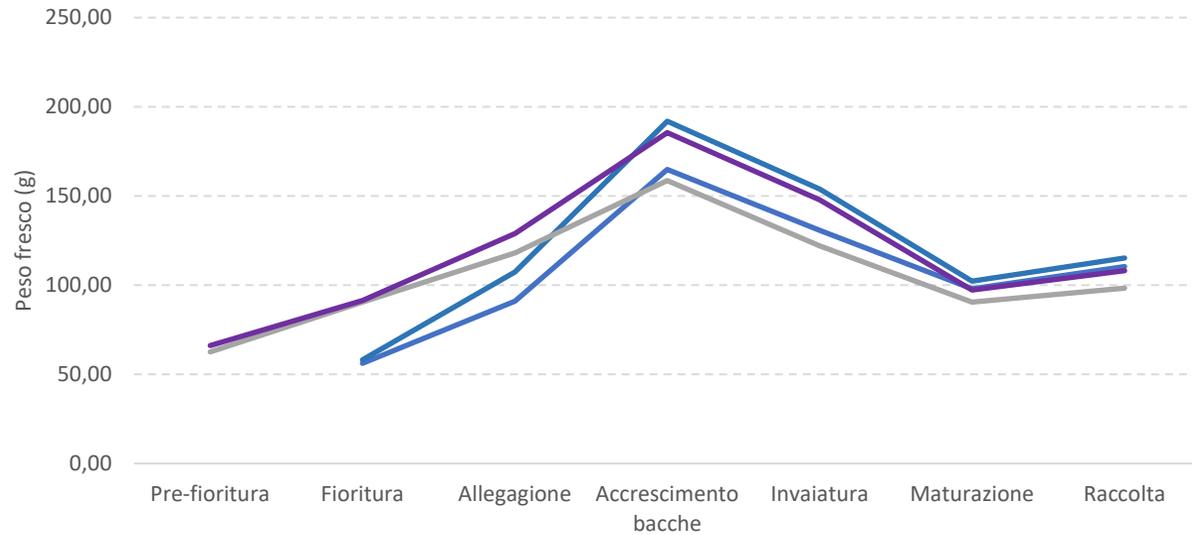
Superficie fogliare



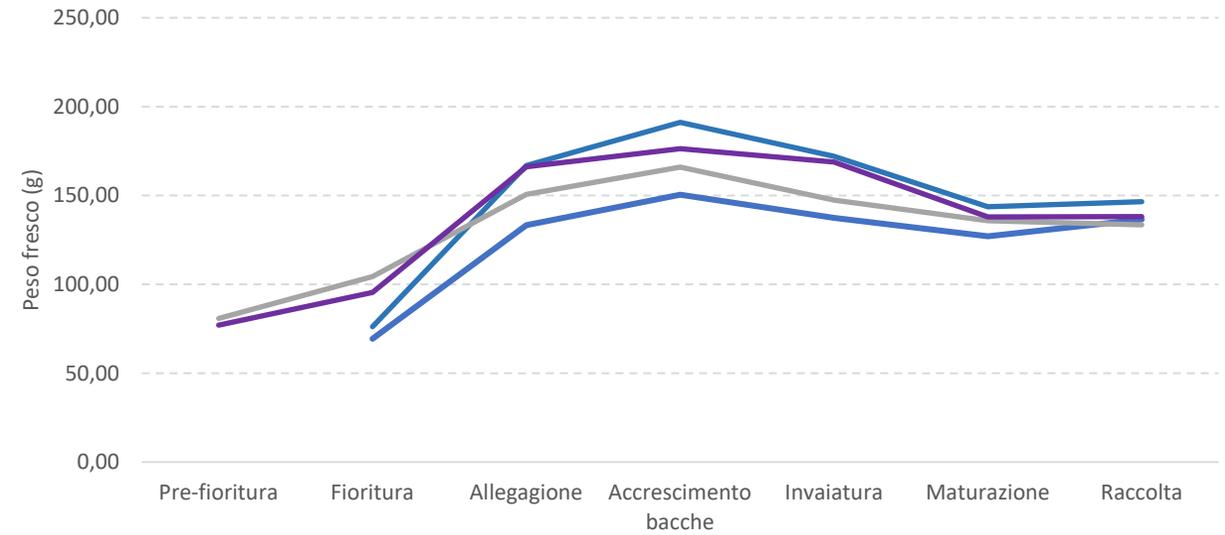
Risultati

— Inerbito 2015 — Lavorato 2015 — Inerbito 2016 — Lavorato 2016

Foglie principali



Asse principale



Risultati



Figure 3. Soil matric potential data and irrigation volume applied. The interface shown is used for irrigation managing with MPS-6 and pluviometer sensors. Courtesy of Widhoc Smart Solutions.

Risultati

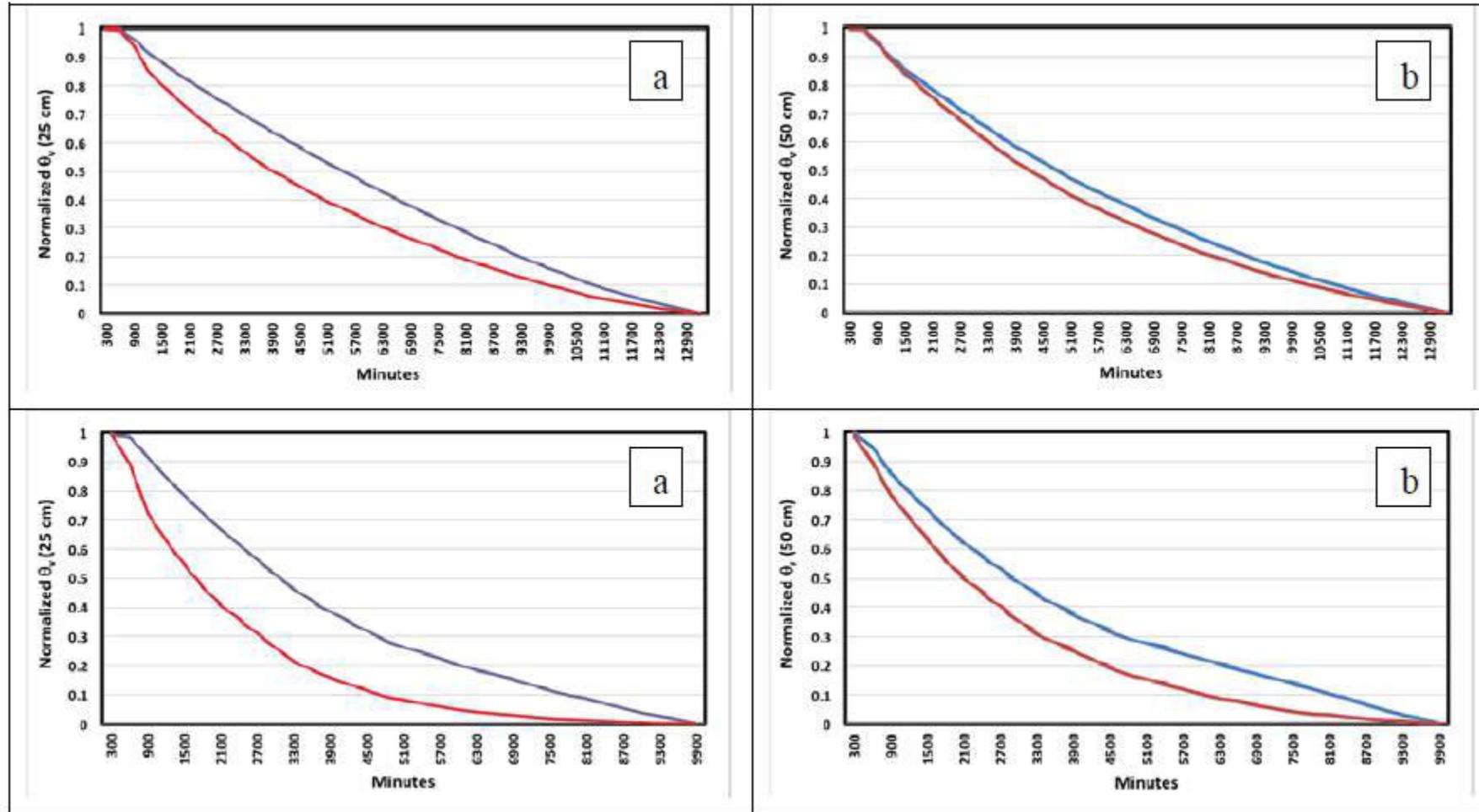


Figure 6. Normalized curves of soil water content values in the two irrigation episodes at 25 cm of depth (a) and at 50 cm depth (b). Blue for Mulching plot and red for Tilling plot.

GRAFICO 1 - Andamento della temperatura dell'aria (prova 2021)

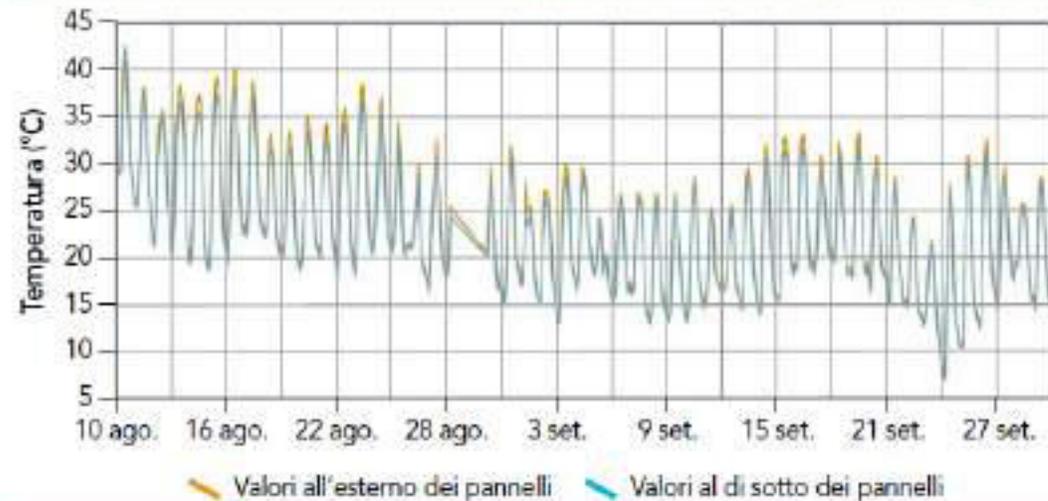


GRAFICO 2 - Andamento dell'umidità relativa (prova 2021)

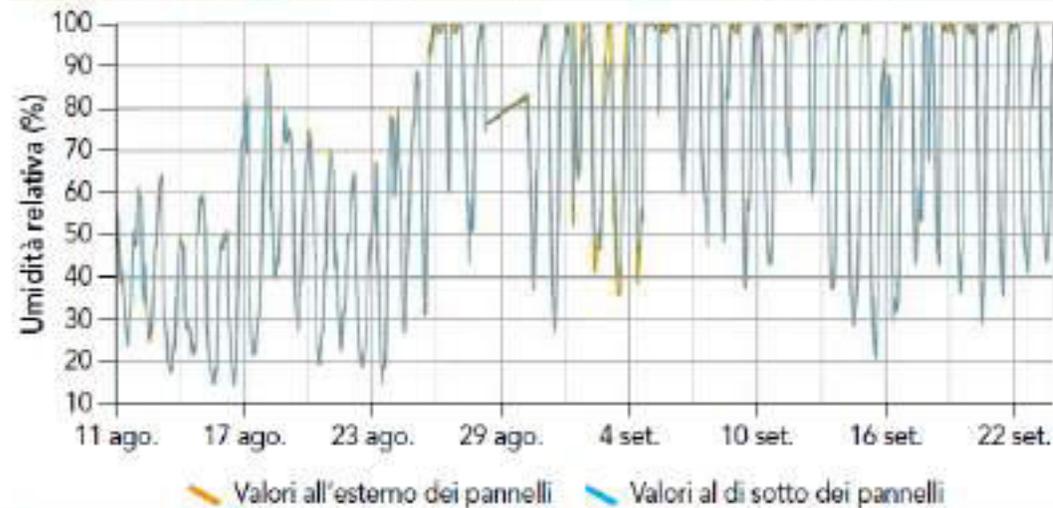


GRAFICO 3 - Andamento della temperatura del suolo (prova 2021)

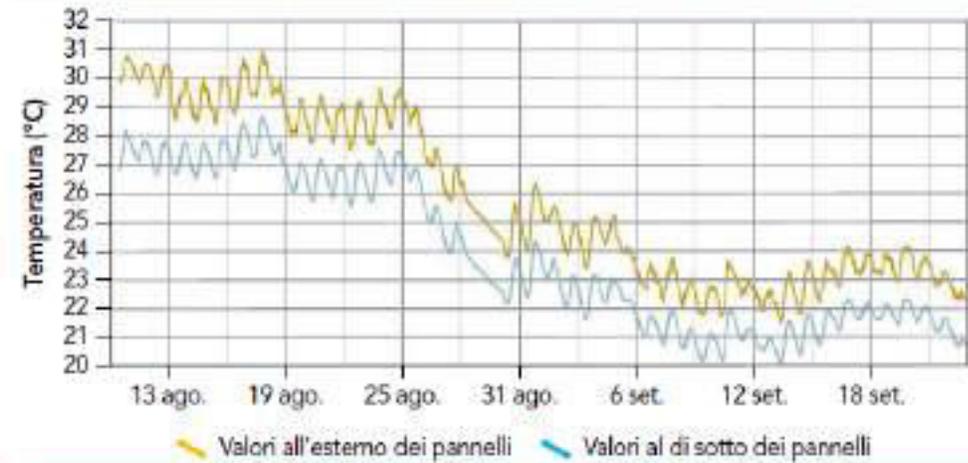
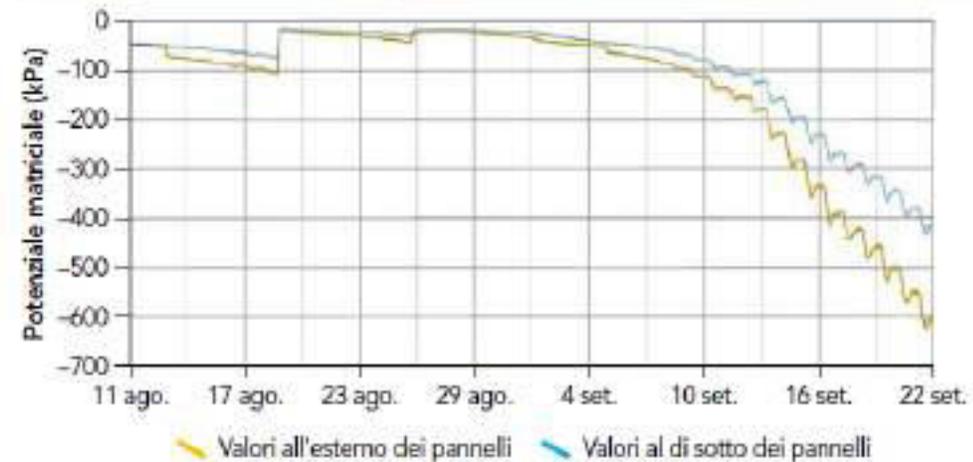
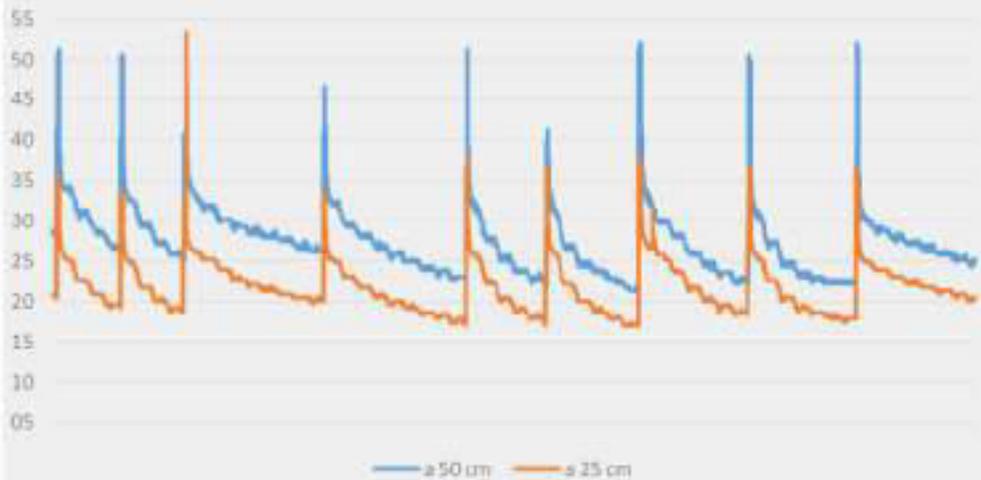


GRAFICO 4 - Andamento del potenziale matriciale del suolo (prova 2021)



Potenziale matriciale: forza con cui un terreno trattiene l'acqua legata alla sua parte solida e quindi, indirettamente, forza necessaria alla pianta per assorbire l'acqua mediante le radici. Potenziale matriciale più negativo significa più forza da impiegare da parte della pianta e meno acqua disponibile per le radici.

% Agua en el suelo "Tilling"



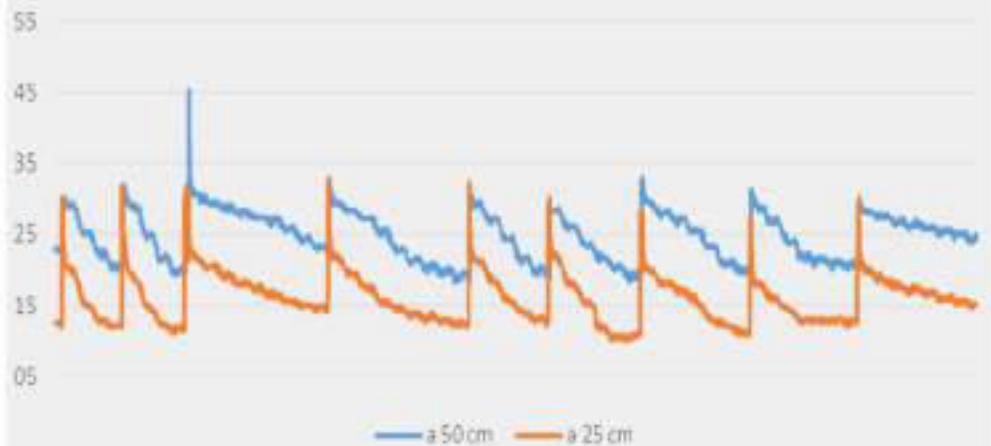
L/kg uva = 64



L/kg uva = 53

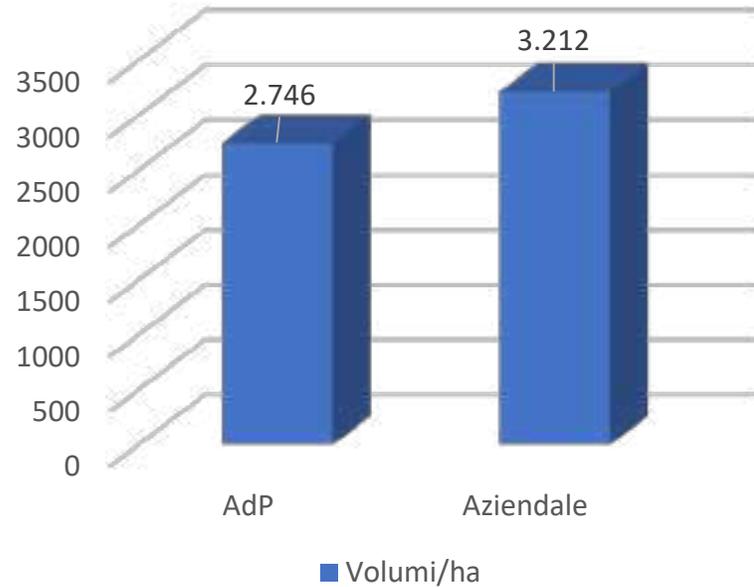


% Agua en Suelo "Mulching"

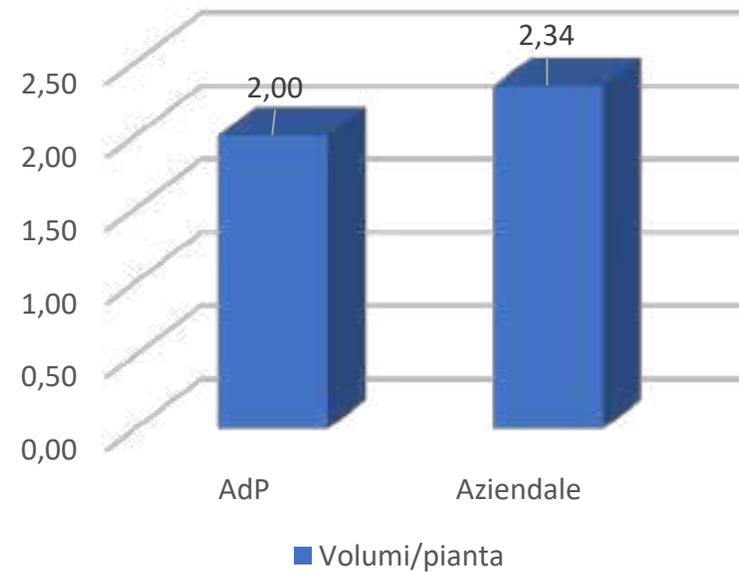


Volumi irrigui

Volumi irrigui m³/ha

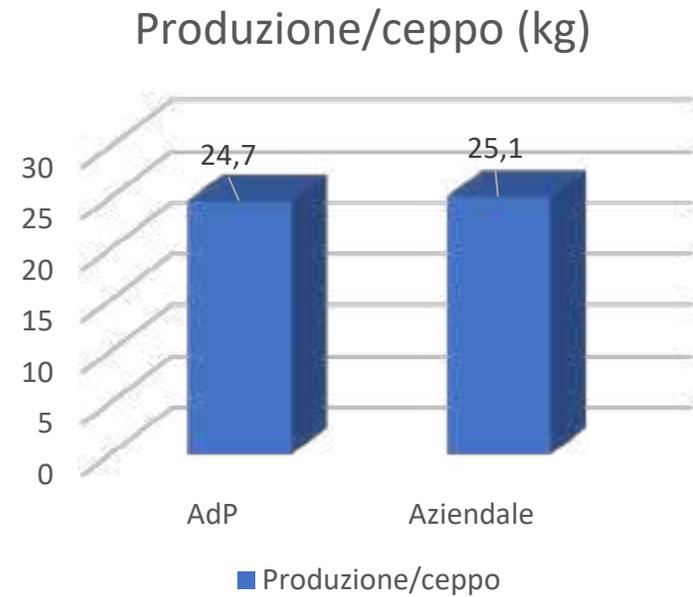
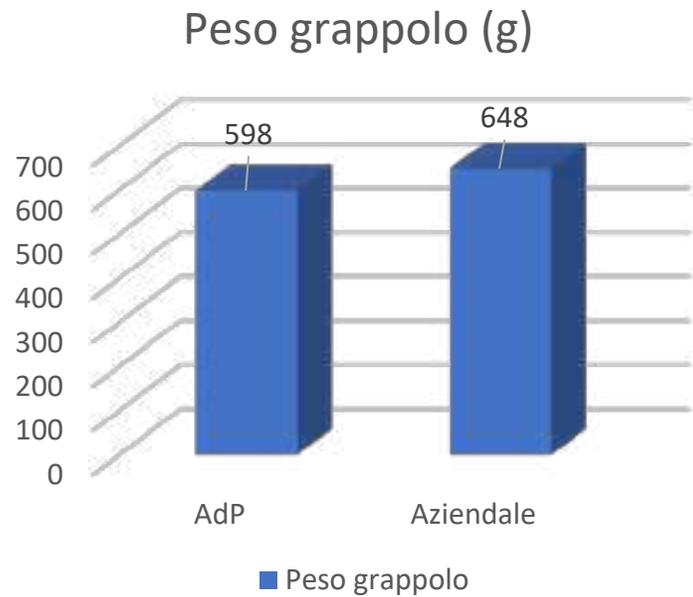


Volumi irrigui m³/pianta



AdP: ≈-15% di volumi irrigui

Aspetti produttivi



AdP: 12,35 kg di uva/m³ di acqua
Aziendale: 10,73 kg di uva/m³ di acqua

Grazie per l'attenzione