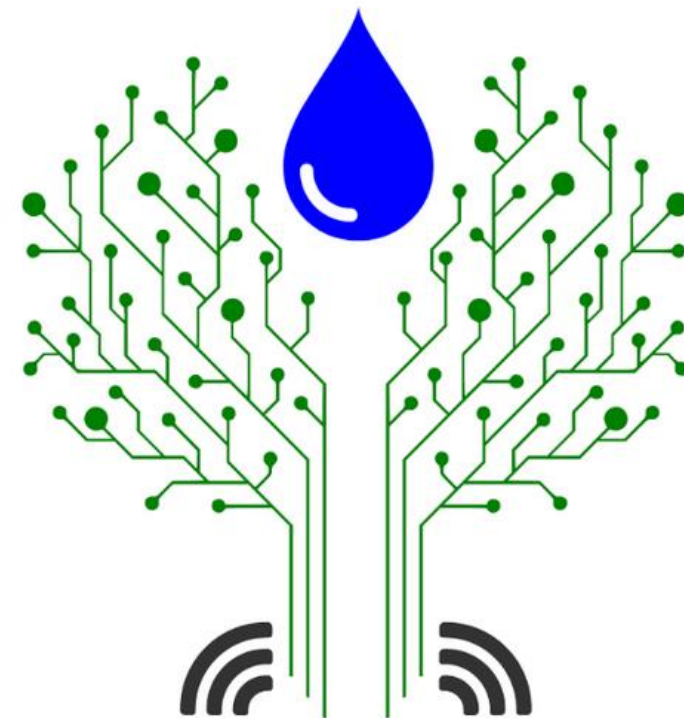




FEASR Fondo europeo agricolo
per lo sviluppo rurale: l'Europa
investe nelle zone rurali



WAPPFRUIT
Tecnologie Intelligenti
Applicate alla Gestione
Dell'acqua in Frutticoltura

Agrion

ASTEL
Electronics and automation



Politecnico
di Torino



**RETERURALE
NAZIONALE
20142020**

Algoritmo di gestione degli impianti e modellizzazione del suolo

Davide Canone

Davide Gisolo



Potenziale matriciale del suolo: disponibilità di acqua trattenuta nel suolo. Indica l'energia per unità di volume da usare per estrarre le molecole d'acqua dalla matrice del suolo (pori e superfici). Siccome energia per unità di volume è dimensionalmente una pressione, e poiché il potenziale matriciale è dato dalla pressione (negativa) con cui il suolo trattiene l'acqua, è indicato in termini di pressione (Pa e multipli/sottomultipli) o di altezza della colonna d'acqua equivalente (cm).

Il **contenuto idrico** indica sempre la quantità di acqua presente nel suolo ma non indica direttamente la disponibilità idrica per la vegetazione.

Contenuto idrico e potenziale matriciale sono legati da una relazione modellizzata (espressa matematicamente) in vari modi nel corso del tempo. Qui è utilizzato il modello (o curva) di van Genuchten.

Evapotraspirazione: vapore acqueo emesso tramite evaporazione dell'acqua dal terreno e vapore acqueo emesso tramite evaporazione dai tessuti delle foglie delle piante (traspirazione). Nel nostro caso la componente evaporativa è trascurabile.



Obiettivi

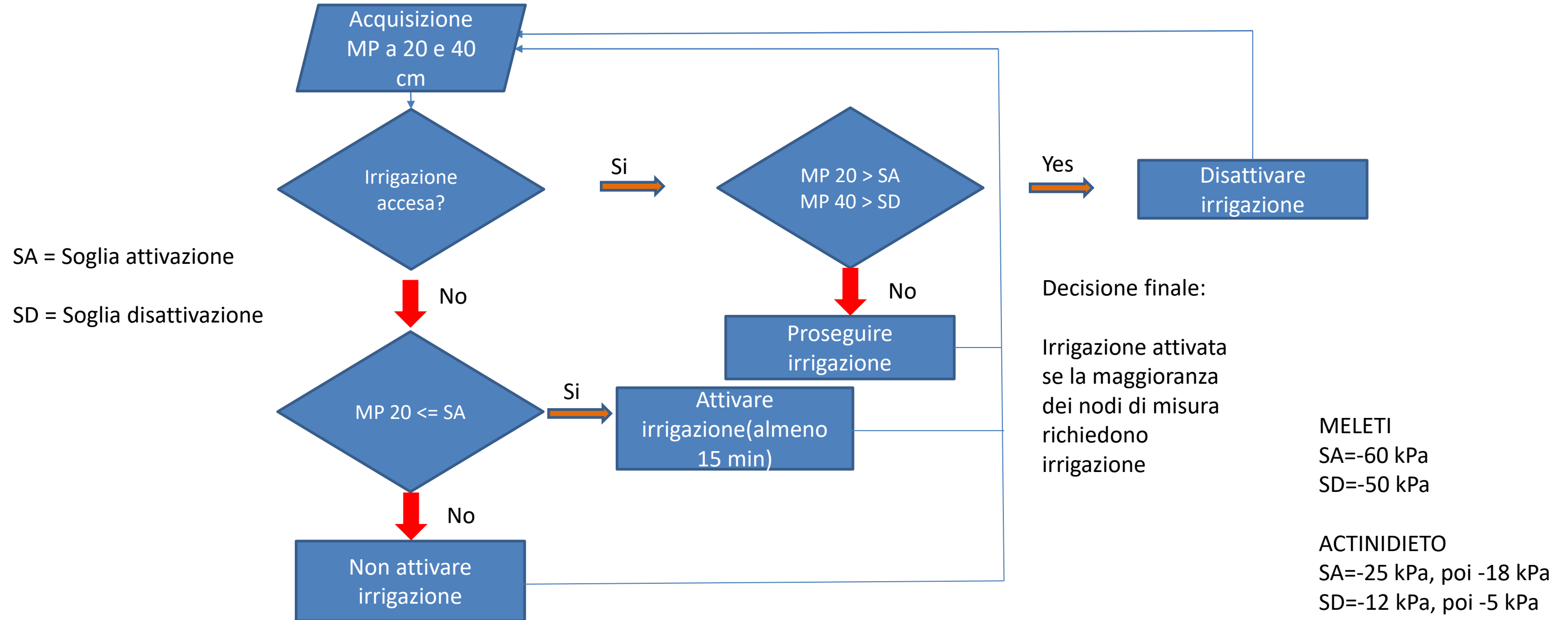
- Quantificare il **fabbisogno irriguo** ottimizzato in mele e actinidietti utilizzando sensori di potenziale matriciale nel suolo a varie profondità.
- Identificare le **soglie di potenziale matriciale** al di sotto delle quali la coltura potrebbe andare in stress idrico.
- Creare un **algoritmo** che controlli l'irrigazione basata sulle soglie precedenti.

Perché il potenziale matriciale?

- È un «driver» del flusso d'acqua nel tronco delle piante.
- È una misura spazialmente più omogenea rispetto al contenuto di acqua del suolo.



Algoritmo di gestione degli impianti





- L'algoritmo finale si basa su soglie di potenziale matriciale per l'accensione e lo spegnimento del sistema di irrigazione.
- L'accensione dell'impianto di irrigazione avviene se la maggior parte dei nodi di misurazione a 20 cm mostra valori di potenziale sotto la soglia di attivazione.
- La disattivazione è controllata sia dal potenziale matriciale a 20 e 40 cm (melo) o solo a 20 cm per i giovani esemplari di Actinidia.

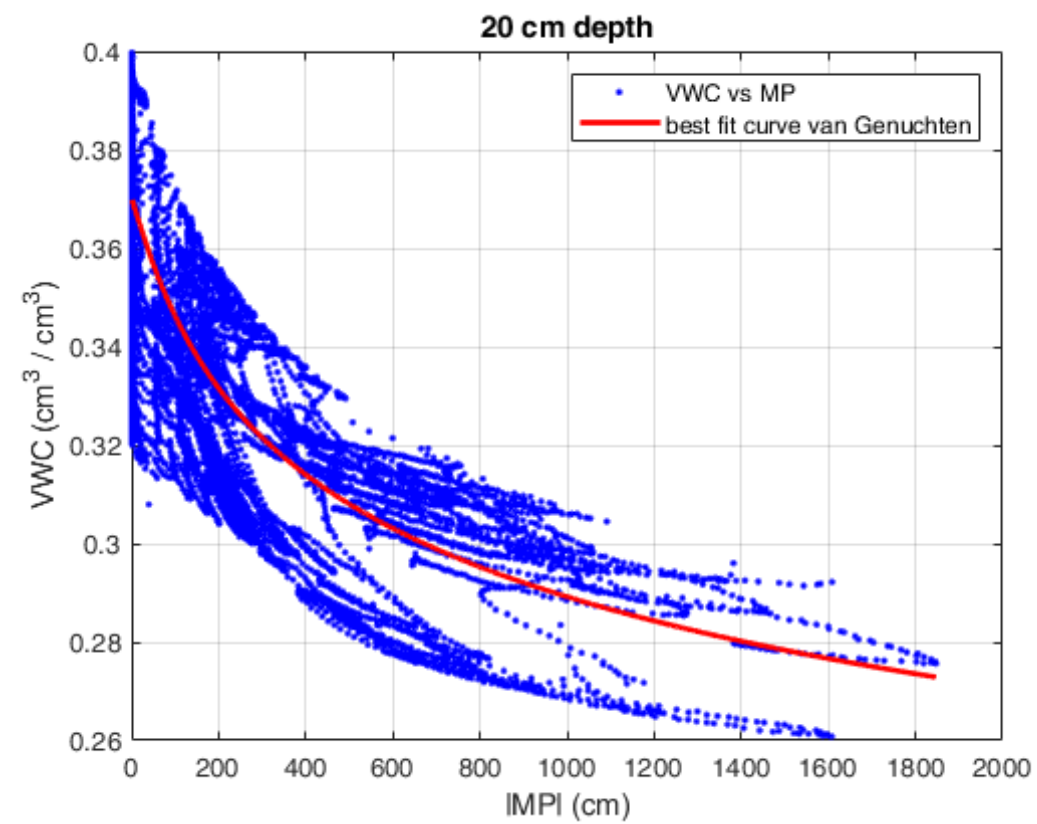


Modellare il potenziale matriciale con il modello
idrologico e di suolo «Hydrus 1D»



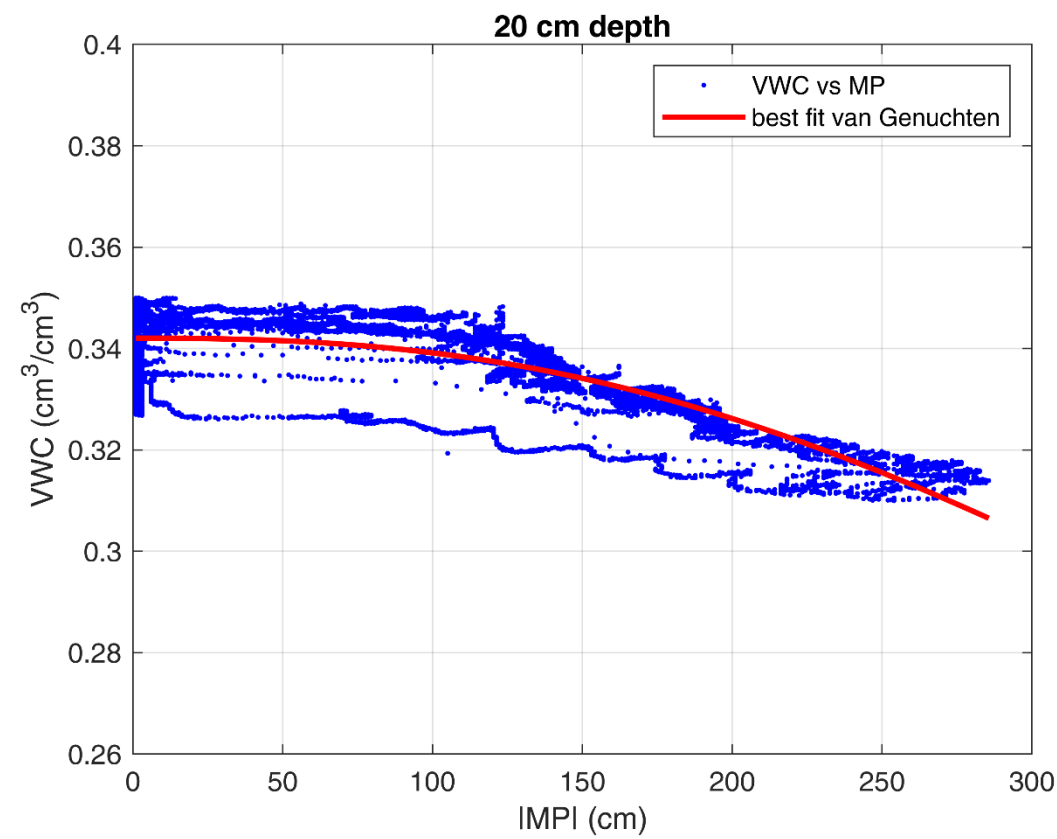
Curve di ritenzione idrica (esempio)

La Marchisa



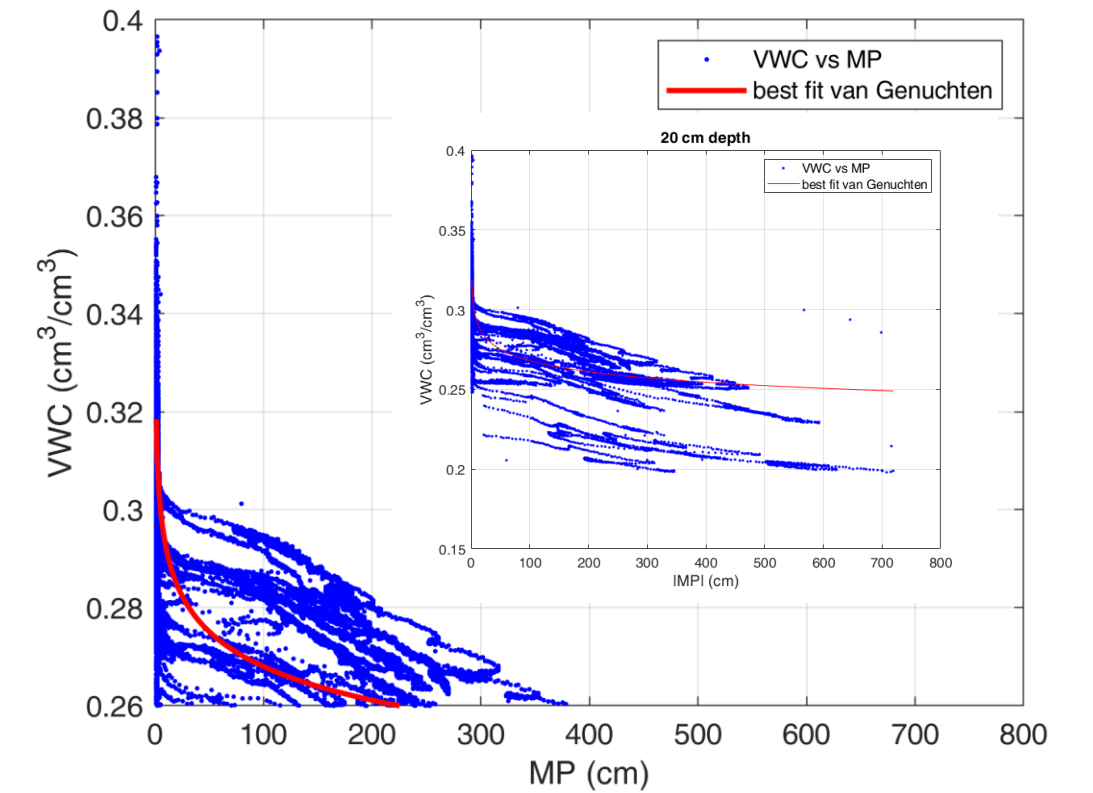
RMSE = 0.024

Vassallo



RMSE = 0.006

Sacchetto



RMSE = 0.021

Modello di van Genuchten

Fenomeno dell'isteresi nel suolo
presente in tutti i siti



Prove infiltrometriche e misure TDR

Il 28/03/2023 e giorni seguenti sono state eseguite prove infiltrometriche per determinare la conducibilità idraulica a saturazione del suolo e misure TDR del suolo saturo per determinare meglio il contenuto idrico del suolo a saturazione.



La Marchisa	Vassallo	Sacchetto
$K_s = 5 \text{ cm/h}$	$K_s = 2.2 \text{ cm/h}$	$K_s = 8.6 \text{ cm/h}$
$\theta_s = 0.42$	$\theta_s = 0.35$	$\theta_s = 0.36$





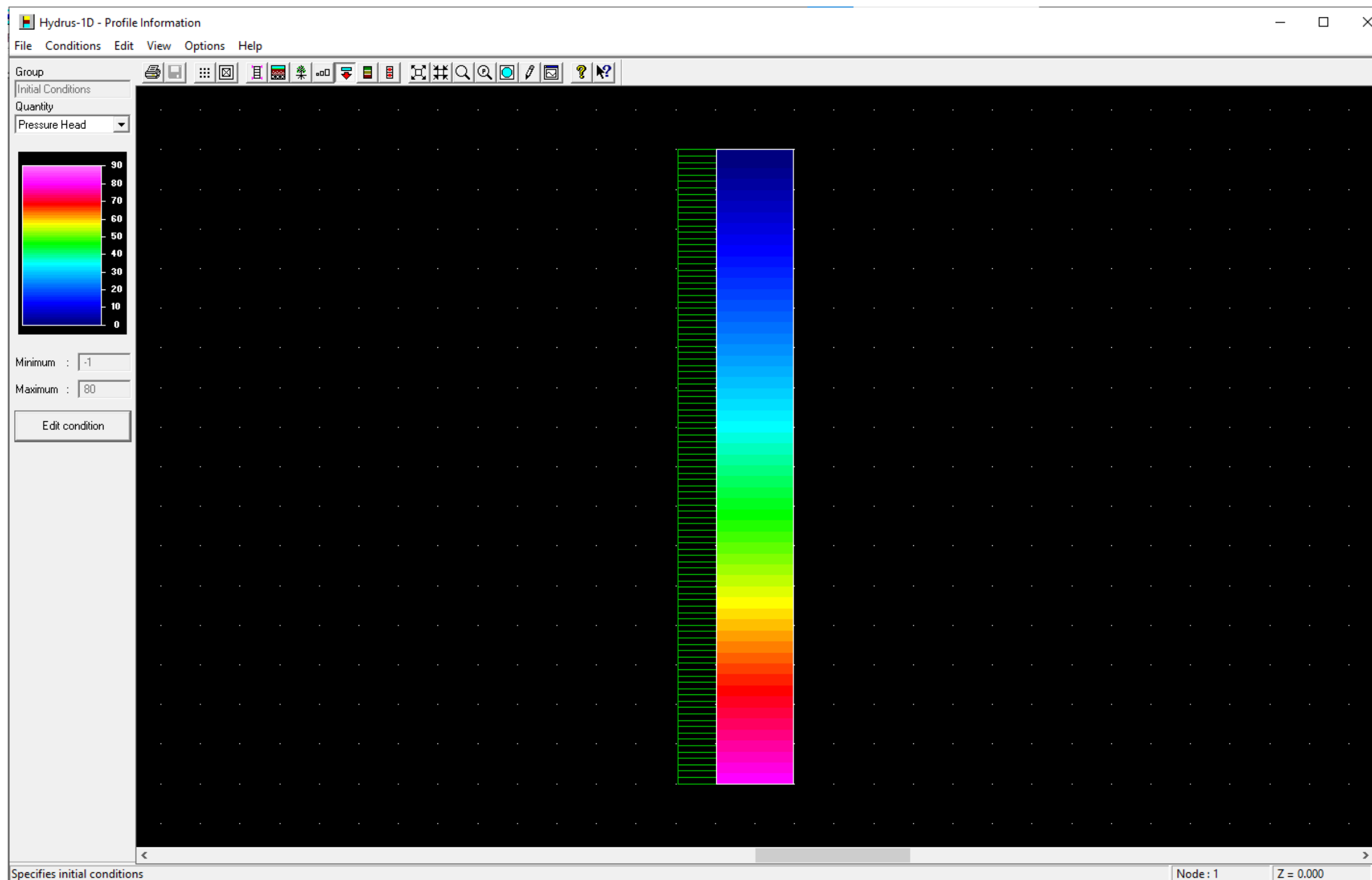
Modellizzare il suolo

Osservazioni sul ciclo fenologico della vegetazione presente.

Calcolo dell'evapotraspirazione potenziale (massima evapotraspirazione possibile in condizioni ideali). Dipende dalle condizioni meteorologiche come radiazione solare, temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento (tutti dati ottenuti da stazioni meteorologiche).

Input al modello: precipitazione ed evapotraspirazione potenziale.

Da specificare le proprietà idrauliche del suolo (contenuto idrico residuo, contenuto idrico alla saturazione, altri parametri legati alla relazione tra contenuto idrico e potenziale matriciale, conducibilità idraulica a saturazione).



Profondità del suolo (strato utile per la vegetazione): 80 cm

Condizioni iniziali: potenziale matriciale misurato il 01/01/2022 ore 00:00 a 20, 40, 60 cm. Negli altri nodi: interpolazione lineare

Simulazioni con passo temporale orario

Forzanti atmosferiche: velocità del vento, radiazione solare, temperatura dell'aria, umidità relativa, precipitazione ricostruite usando i dati delle stazioni meteorologiche più vicine ai siti



Caratteristiche del suolo

Parametri del suolo

- θ_r → Contenuto idrico residuo
- θ_s → Contenuto idrico a saturazione
- α → inverso della «air entry suction»
- $n > 1$ → misura della distribuzione delle dimensioni dei pori
- K_s → Conducibilità idraulica alla saturazione
- l → Parametro empirico

Soil type	θ_r (m ³ m ⁻³)	θ_s (m ³ m ⁻³)	α (cm ⁻¹)	n (-)	K_s (cm h ⁻¹)	l (-)
La Marchisa						
Sandy loam	0.05	0.42	0.008	1.121	5	0.5
Vassallo						
Sandy loam	0.02	0.35	0.01	1.14	2.2	0.5
Sacchetto						
Sandy loam	0.001	0.36	0.01	1.13	8.6	0.5

θ_s stimato tramite misure in campo, modellistica e misure in laboratorio

“air entry suction”: valore di potenziale matriciale a cui i pori maggiori iniziano a riempirsi d’aria e a svuotarsi di acqua

* Schaap, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, M.Th. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *J. Hydrol.* (2001), 251, 163–176. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00466-8)



Simulazione della vegetazione (Feddes)

P_0 : Valore del potenziale matriciale (in cm) le radici iniziano a estrarre acqua dal suolo.

P_{Opt} : Valore del potenziale matriciale al di sotto del quale le radici iniziano a estrarre acqua al massimo tasso possibile.

P_{2h} : Valore del potenziale matriciale al di sotto del quale le radici non possono più estrarre acqua al tasso massimo (assumendo un tasso di traspirazione potenziale pari a r_{2h}).

P_{2l} : Come sopra, ma a tasso di traspirazione potenziale pari a r_{2l}

P_3 : Valore del potenziale matriciale al di sotto del quale l'estrazione di acqua da parte delle radici cessa (solitamente pari al punto di appassimento permanente).

r_{2h} , r_{2l} : Tassi di traspirazione potenziale.

Traspirazione: set to 90%

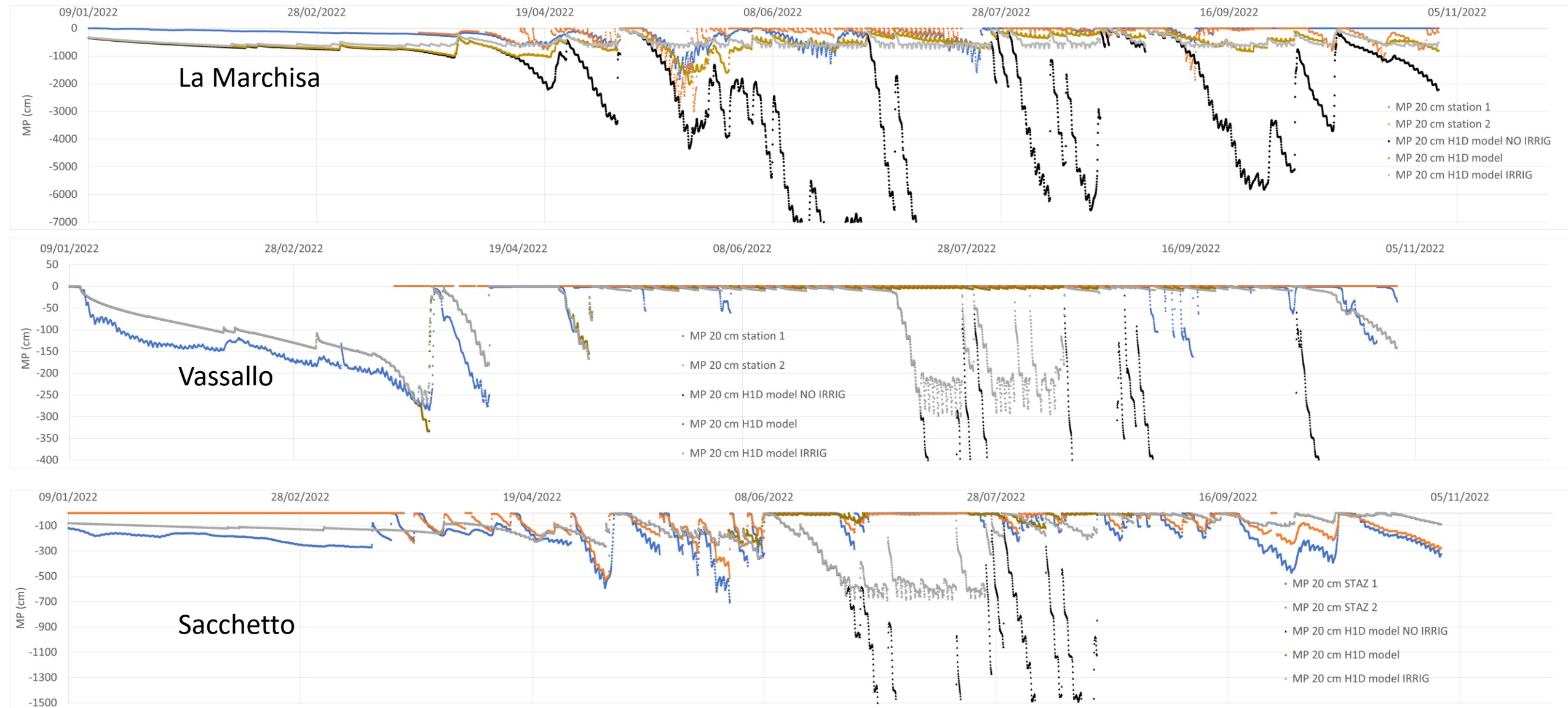
Evaporazione: set to 10%

Parametri di Feddes (*)	Deciduous fruit
P_0 (cm)	-10
P_{opt} (cm)	-25
P_{2h} (cm)	-500
P_{2l} (cm)	-800
P_3 (cm)	-8000
r_{2h} (l^{-1})	0.021
r_{2l} (l^{-1})	0.0042

* Feddes, R.A., Kowalik, P., Kolinska-Malinka, K., Zaradny, H. Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extraction function. J. Hydrol. (1976) 31 (1), 13–26, [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(76\)90017-2](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(76)90017-2).

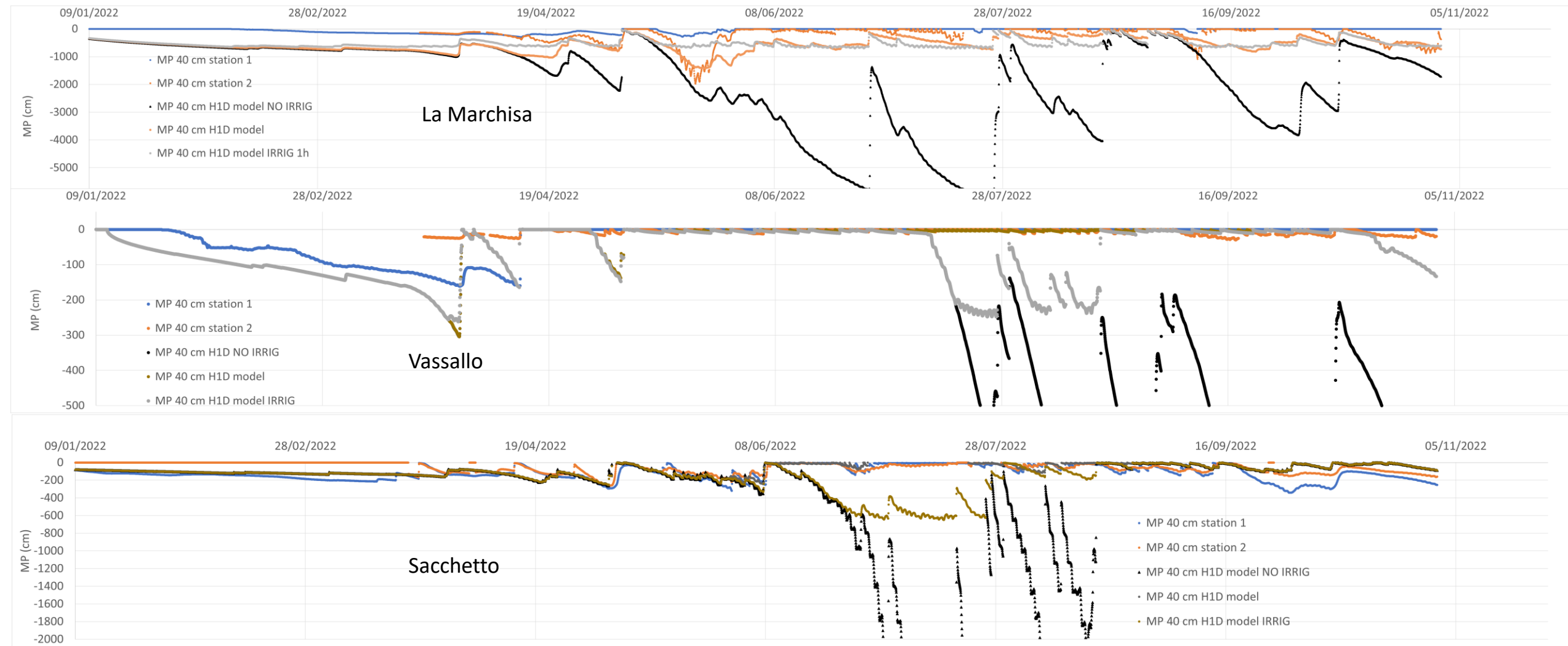


Potenziale matriciale a 20 cm





Potenziale matriciale a 40 cm





Modellare l'irrigazione (2022)

La Marchisa

- Soglia per attivare l'irrigazione: 600 cm (60 kPa)
- 1 ora per ogni irrigazione
- Irrigazione simulata: 356.0 mm/ha
- Irrigazione reale: 364.0 mm/ha

Vassallo

- Soglia per attivare l'irrigazione: 250 cm (25 kPa)
- 17 min per ogni irrigazione
- Irrigazione simulata: 52.4 mm/ha
- Irrigazione reale : 65.2 mm/ha

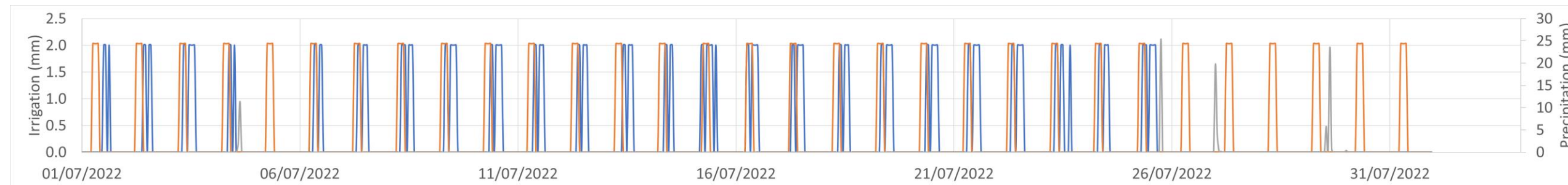
Sacchetto

- Soglia per attivare l'irrigazione: 600 cm (60 kPa)
- 1 ora per ogni irrigazione
- Irrigazione simulata: 51.3 mm/ha
- Irrigazione reale : 97.8 mm/ha

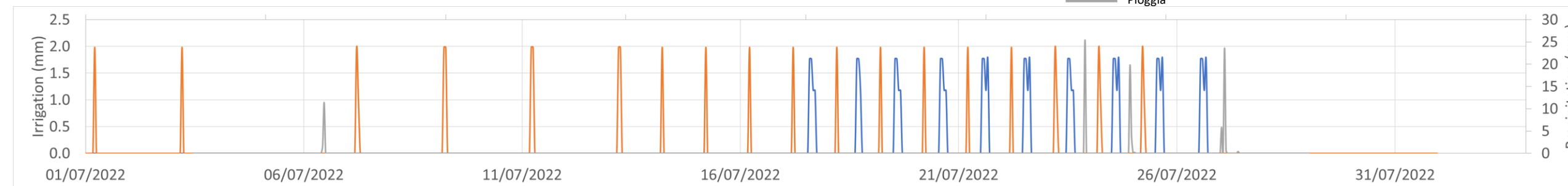


Irrigazione modellata: risultati

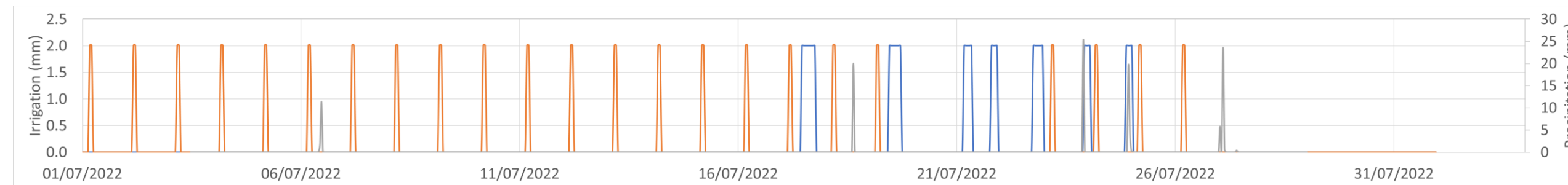
La Marchisa



Vassallo



Sacchetto



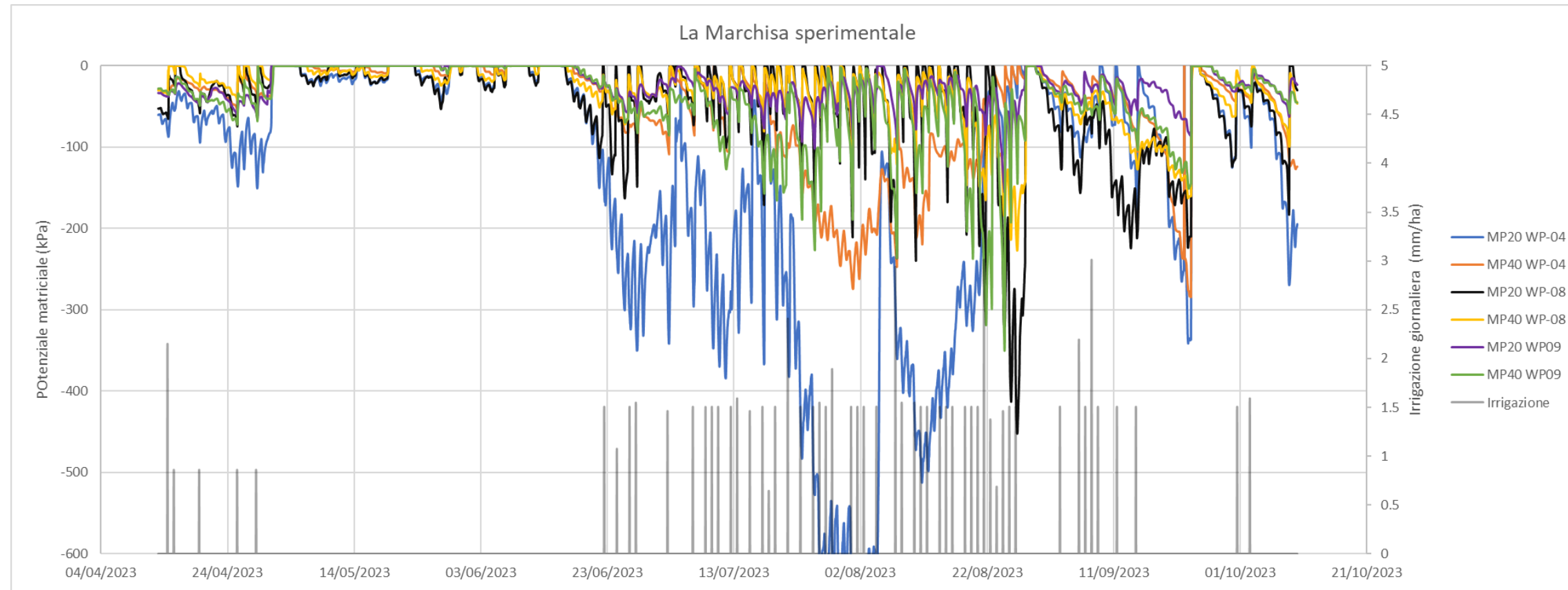


Validazione del modello nei tre siti

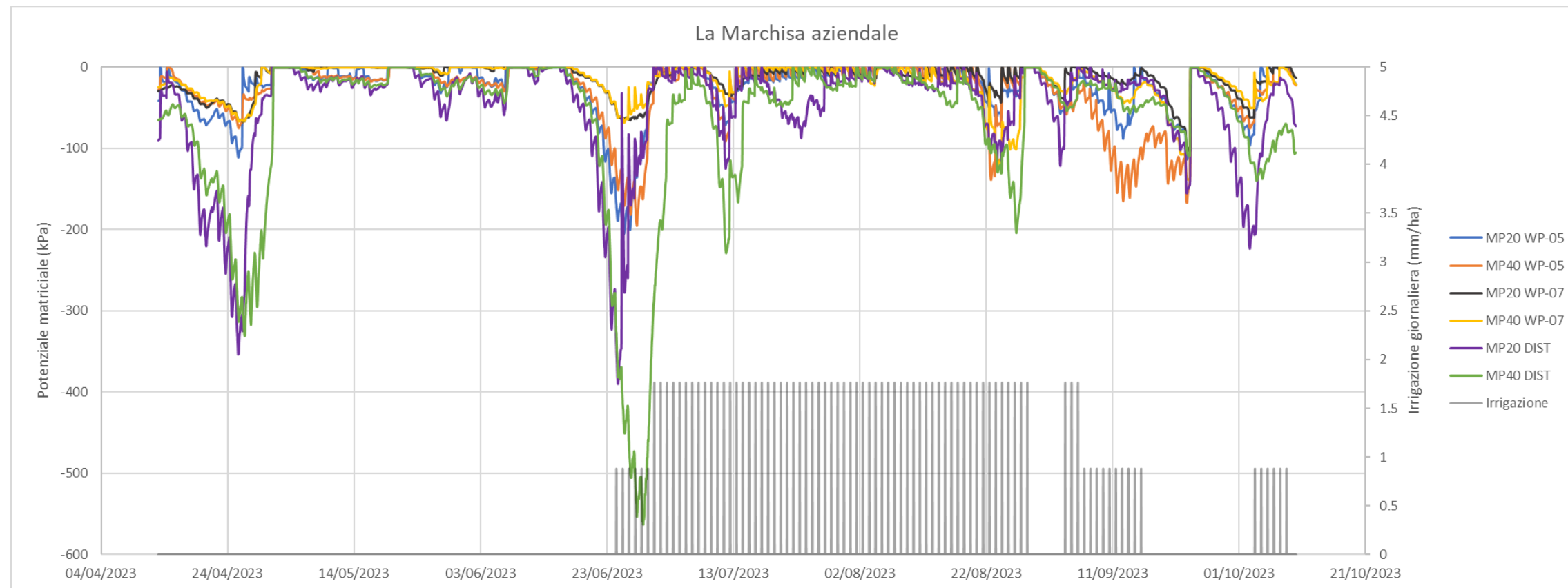
Site	MAE (cm)	R
La Marchisa 20 cm	373	0.62
La Marchisa 40 cm	496	0.64
Vassallo 20 cm	21.7	0.88
Vassallo 40 cm	23.1	0.82
Sacchetto 20 cm	83.5	0.57
Sacchetto 40 cm	56.4	0.51



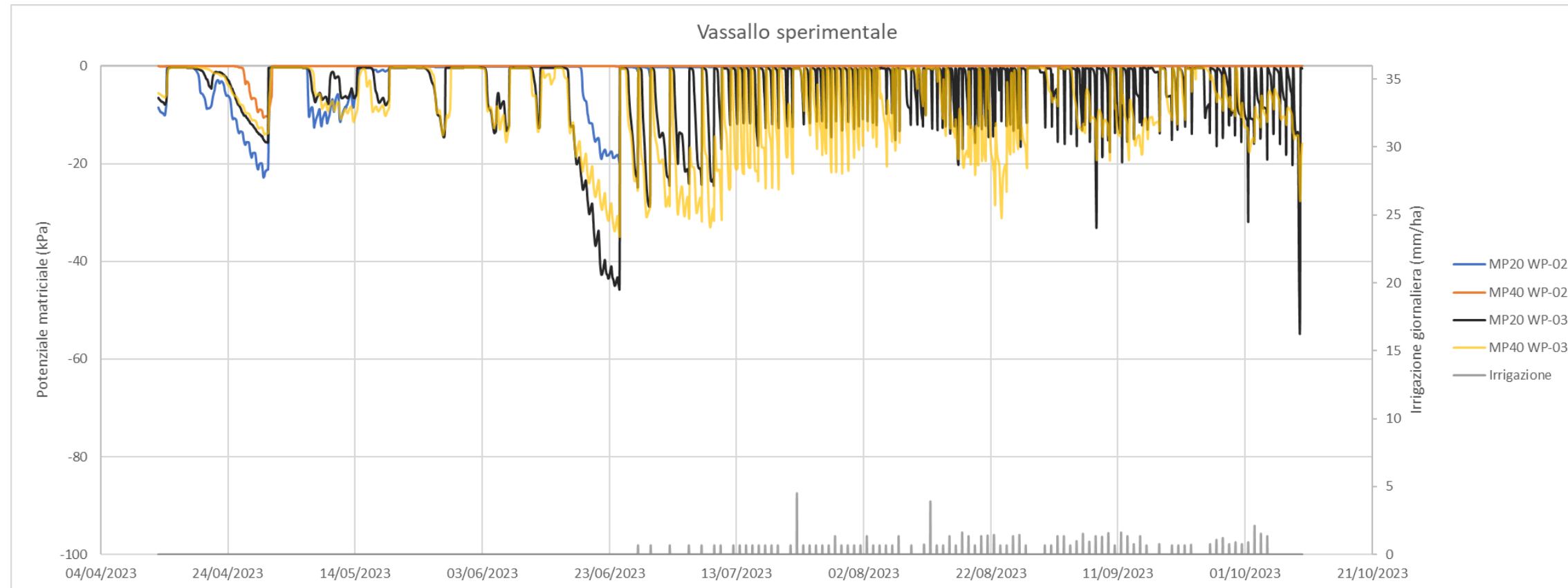
Stagione 2023: confronto dati aziendali e sperimentali



Solo irrigazione a goccia



Solo irrigazione a goccia

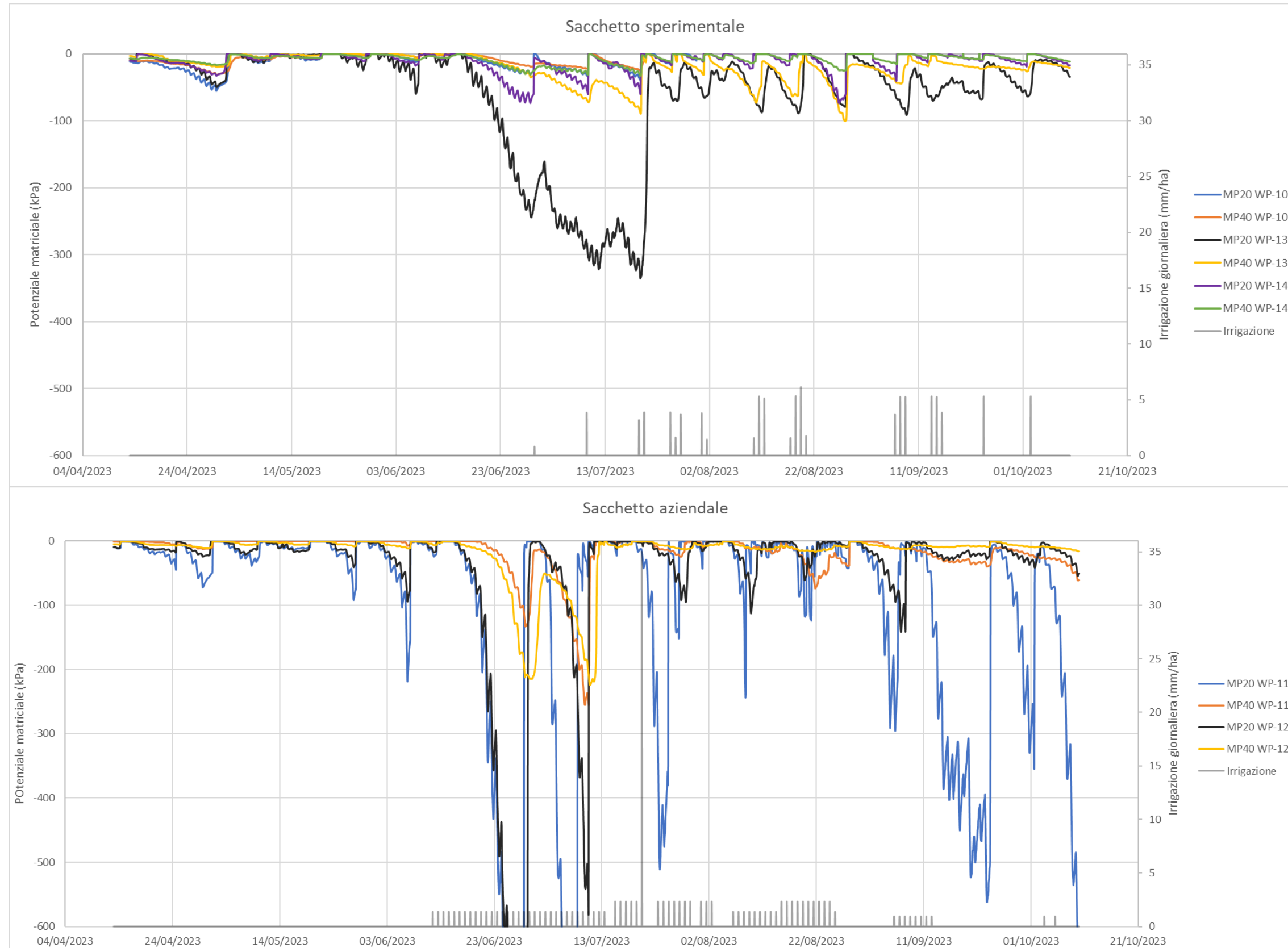


Irrigazione a goccia cui si aggiungono (**non** previsti dall'algoritmo di gestione ottimizzata):

- +19 mm di irrigazione ad aspersione il 19/07 (per ondata di calore)
- +35 mm di irrigazione a scorrimento il 08/08



Interventi comprensivi di irrigazioni a goccia e ad aspersione



Solo irrigazione a goccia

Irrigazione a goccia e scorrimento (1 intervento)



Irrigazione (stagione 2023)

La Marchisa

- Soglia per attivare l'irrigazione: -60 kPa
- Soglia spegnimento: -50 kPa
- Irrigazione su tempi variabili anche più volte al giorno
- Irrigazione campo sperimentale: 86.8 mm/ha
- Irrigazione aziendale: 130.4 mm/ha

Vassallo

- Soglia per attivare l'irrigazione: -25 kPa, POI -12 kPa dal 10/07/2023
- Soglia spegnimento: -18 kPa, POI -5 kPa (dal 10/07/2023)
- Irrigazione su tempi variabili anche più volte al giorno
- Irrigazione campo sperimentale: 83.3 mm/ha
- Irrigazione aziendale : 258.4 mm/ha

Sacchetto

- Soglia per attivare l'irrigazione: -60 kPa
- Soglia spegnimento: -50 kPa
- Irrigazione su tempi variabili anche più volte al giorno
- Irrigazione campo sperimentale: 92.3 mm/ha
- Irrigazione reale (goccia + scorrimento) : 163.3 mm/ha

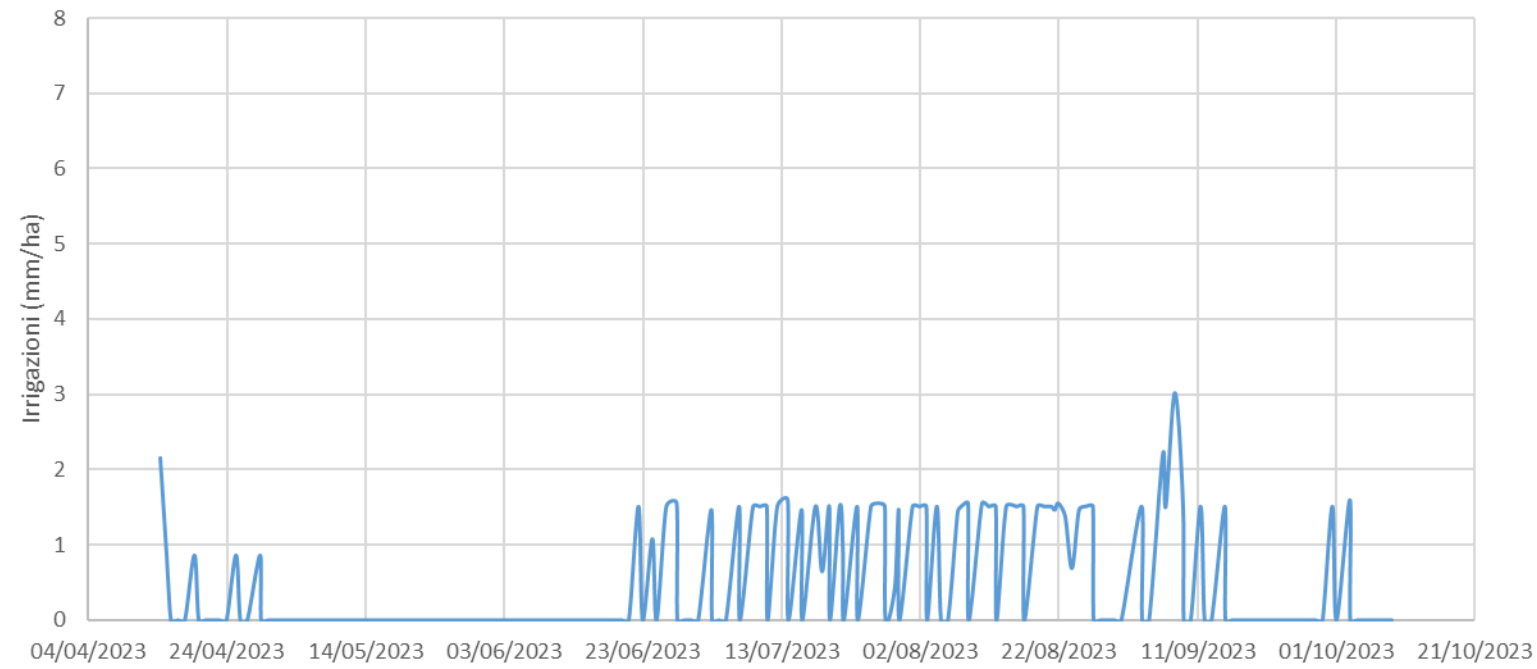


L'azienda ha deciso di irrigare per ulteriori 5 ore il 19/07 (+19 mm) + 35 mm di irrigazione a scorrimento. TOTALE 137.3 mm/ha

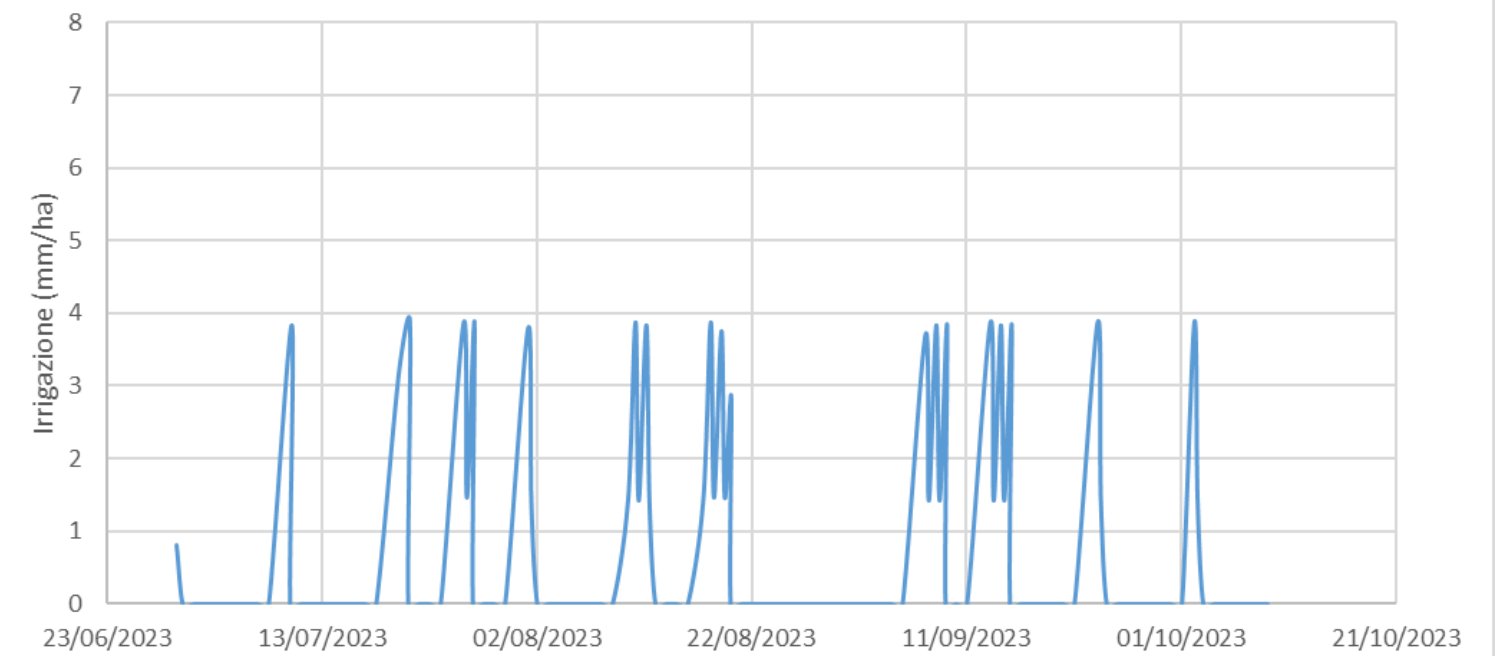
Ondata di calore!



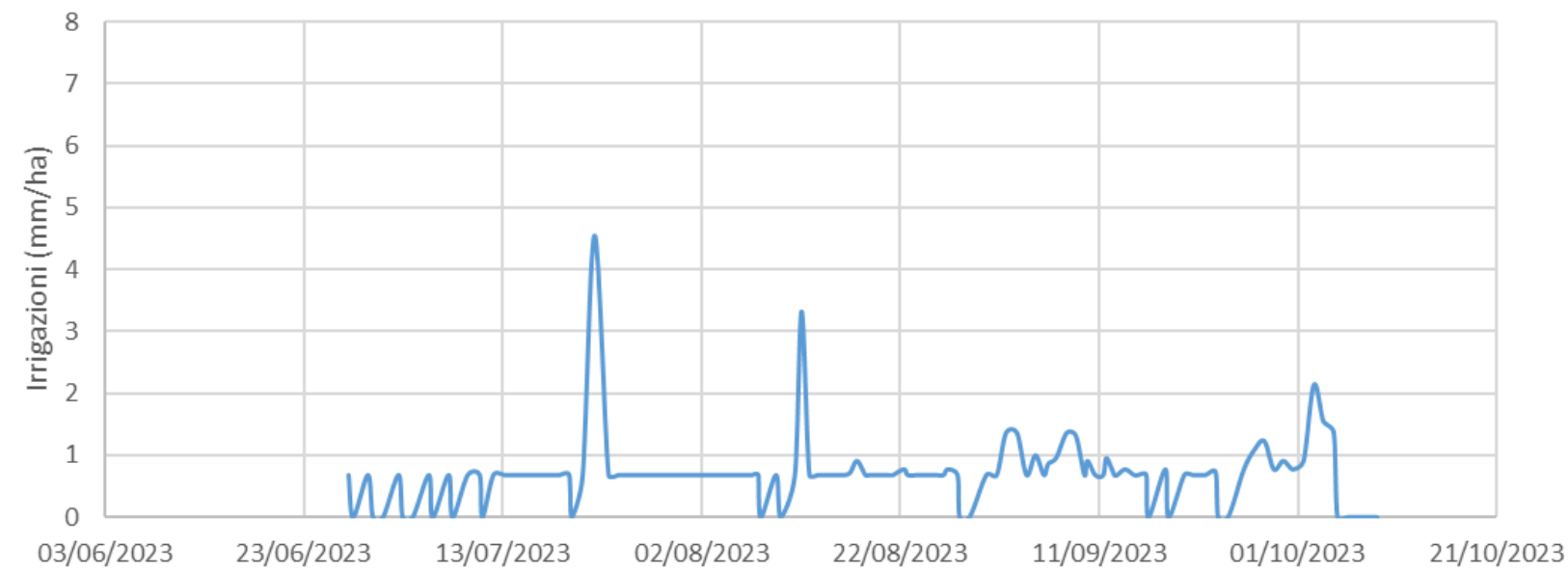
Irrigazioni lato sperimentale La Marchisa



Irrigazioni lato sperimentale Sacchetto



Irrigazioni lato sperimentale Vassallo





Conclusioni

- Simulazioni modellistiche 2022 hanno dato buoni risultati e hanno consentito di sviluppare con maggior precisione l'algoritmo e definire meglio le soglie di attivazione/disattivazione degli impianti irrigui.
- RISPARMIO IDRICO (stagione 2023)

La Marchisa: 43.6 mm/ha

Vassallo: 175.1 mm/ha (ca 121 mm/ha se si considerano gli interventi irrigui eseguiti anche sul campo sperimentale)

Sacchetto: 71 mm/ha

Per il futuro

- tenere conto delle ondate di calore! Inserire un indice di temperatura?
- Dato di precipitazione: per una maggiore consistenza con le misure nel suolo inserire pluviometri nelle aziende?



Grazie per l'attenzione



Material supplementare



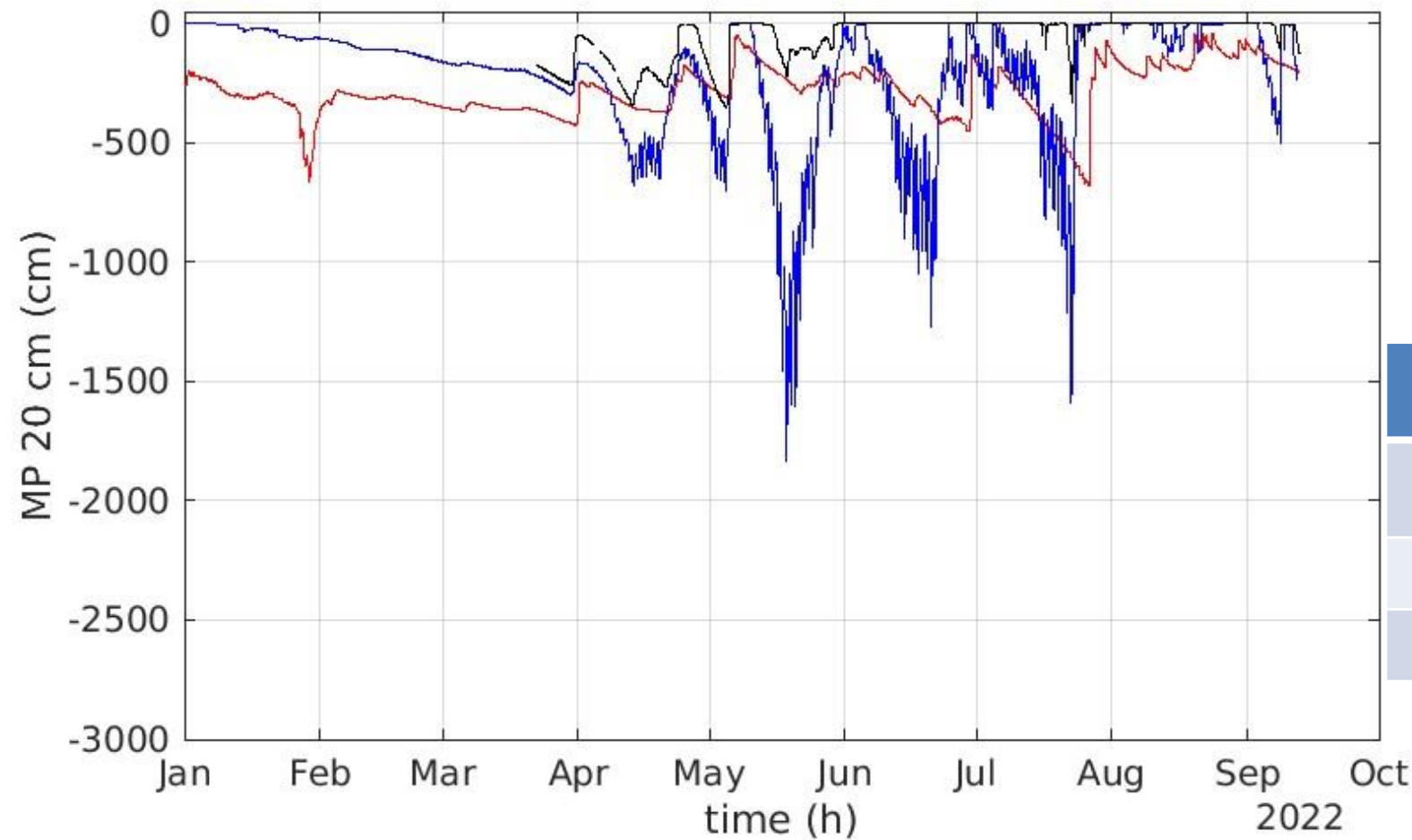
Fit van Genuchten – Dati di potenziale matriciale

Sito	Profondità	RMSE (-)
"La Marchisa"	20 cm	0.024
	40 cm	0.009
"Vassallo"	20 cm	0.006
	40 cm	0.003
"Sacchetto"	20 cm	0.021
	40 cm	0.009



Potenziale matriciale simulato con il modello CLM 5.0: un esempio

La Marchisa



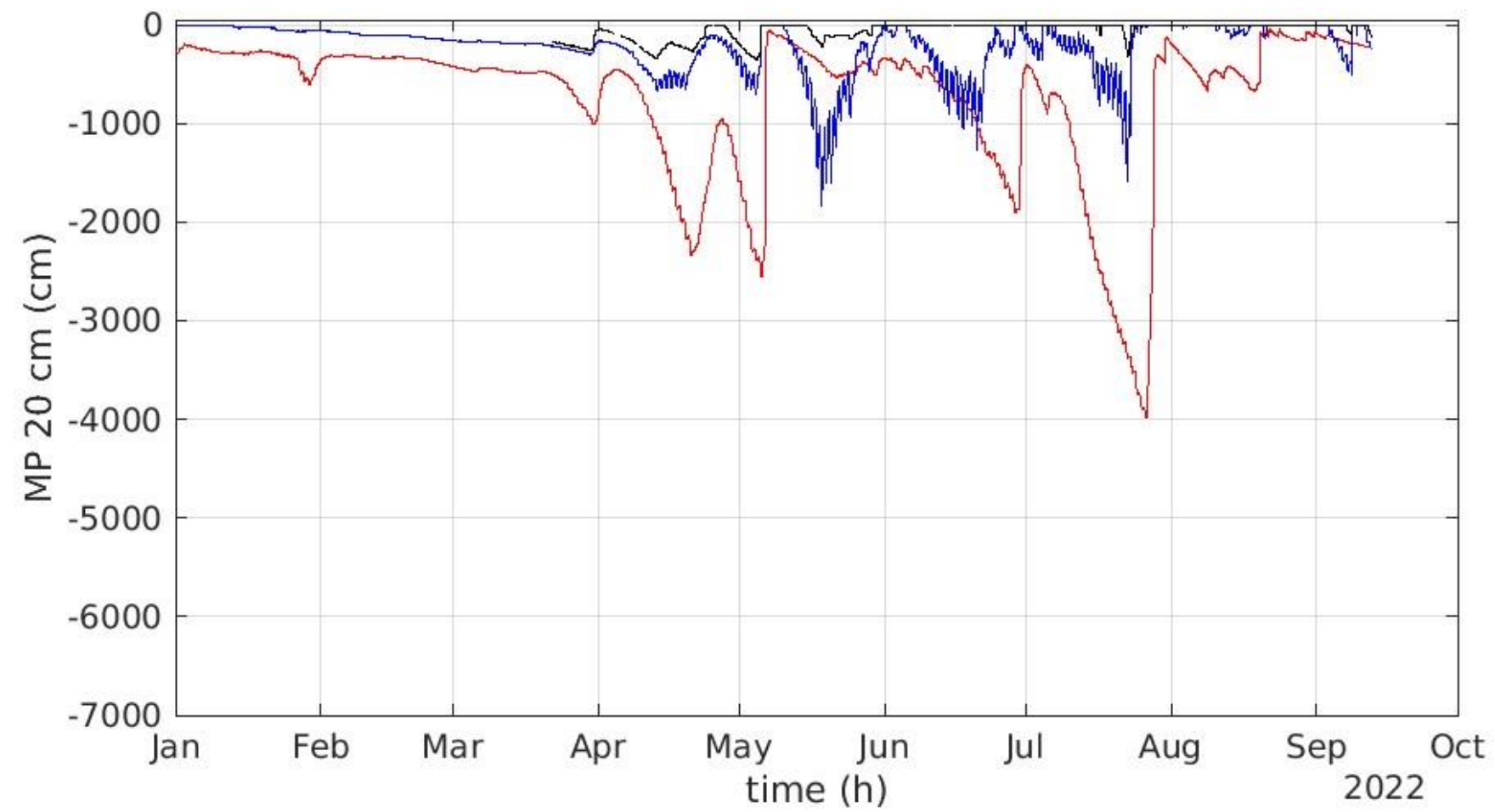
— MP CLM5.0
 — MP MEASURED STATION 1
 — MP MEASURED STATION 2

Reference MP: station 1

Profondità suolo	Hydrus 1D vs misure		CLM 5.0 vs misure	
	MAE (cm)	R (-)	MAE (cm)	R (-)
20 cm	373.2	0.62	201.1	0.27
40 cm	495.8	0.64	190.8	0.41



La Marchisa



— MP CLM5.0
— MP MEASURED STATION 1
— MP MEASURED STATION 2

Irrigazione da modello: 193.9 mm/ha

Irrigazione azienda: 364.0 mm/ha