Implementazione di un modello di bilancio idrologico giornaliero a supporto della previsione dei fabbisogni irrigui

PROGETTO TETI - ASI (Agenzia Spaziale Italiana)

Margherita Lombardo

Politecnico di Bari

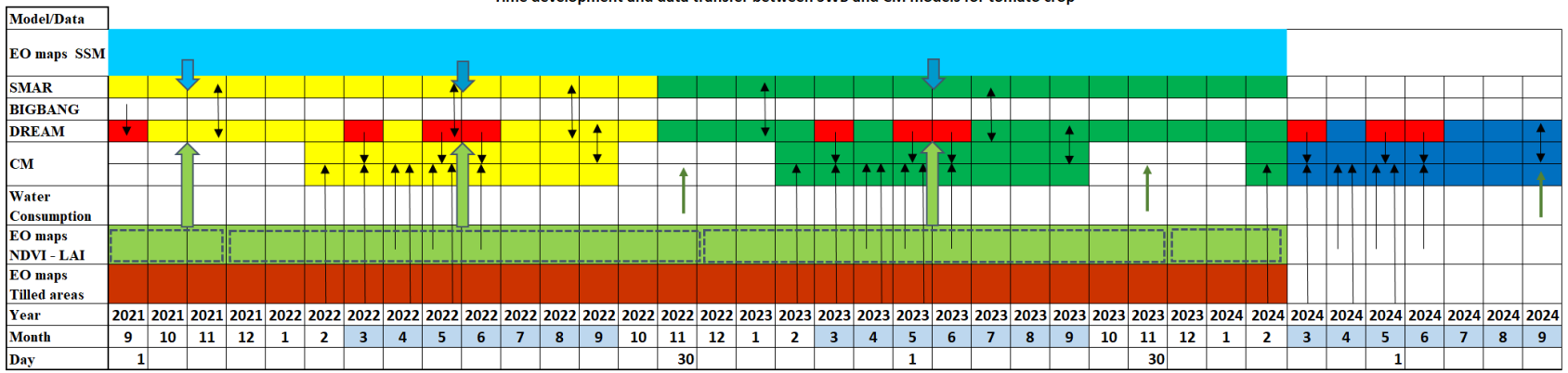
margherita.lombardo@poliba.it

POLITECNICO DI BARI
SALA CONSILIARE DICATECh
VIA EDOARDO ORABONA, 4
30 maggio 2024



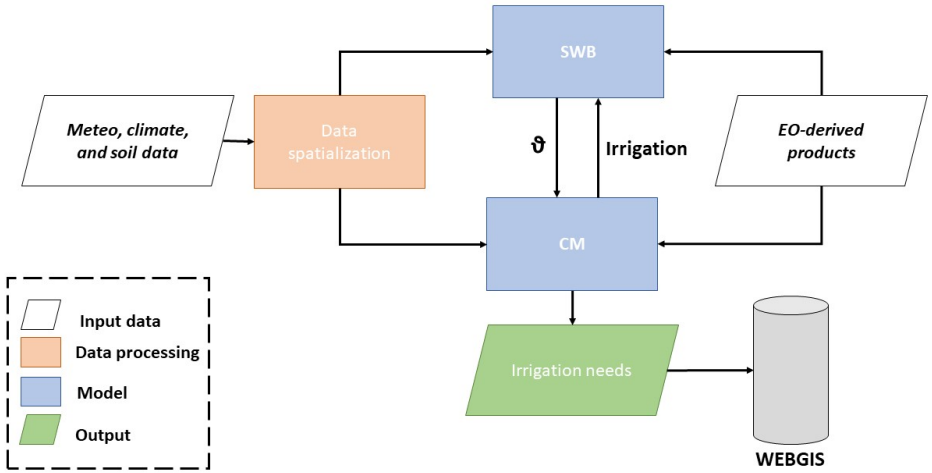
Architettura e diagramma funzionale - TETI

Time development and data transfer between SWB and CM models for tomato crop





EarTH Observation for the Early forecasT of Irrigation needS



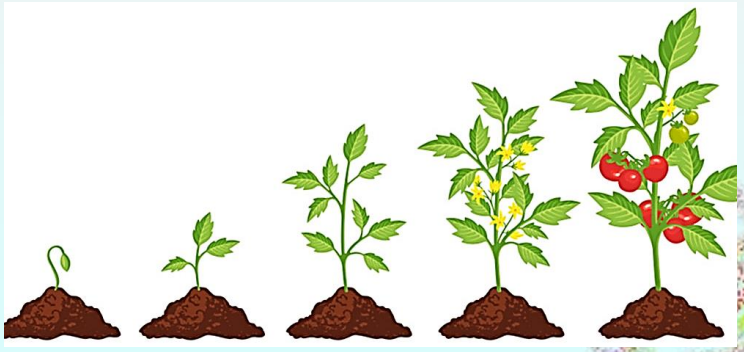
Interazioni tra modello idrologico e modello di crescita colturale nell'architettura TETI

Modellazione a scala di bacino dei principali processi che partecipano al **bilancio idrologico giornaliero**

Mappe del **contenuto idrico del suolo**

Modello colturale
stima dei fabbisogni irrigui della specifica coltura (scala di campo)





θ : contenuto idrico

Processi idrologici a scala di bacino

Precipitazione

Intercezione vegetale

Accumulo nelle depressioni superficiali

Ruscellamento superficiale

Infiltrazione

Percolazione e ricarica della falda

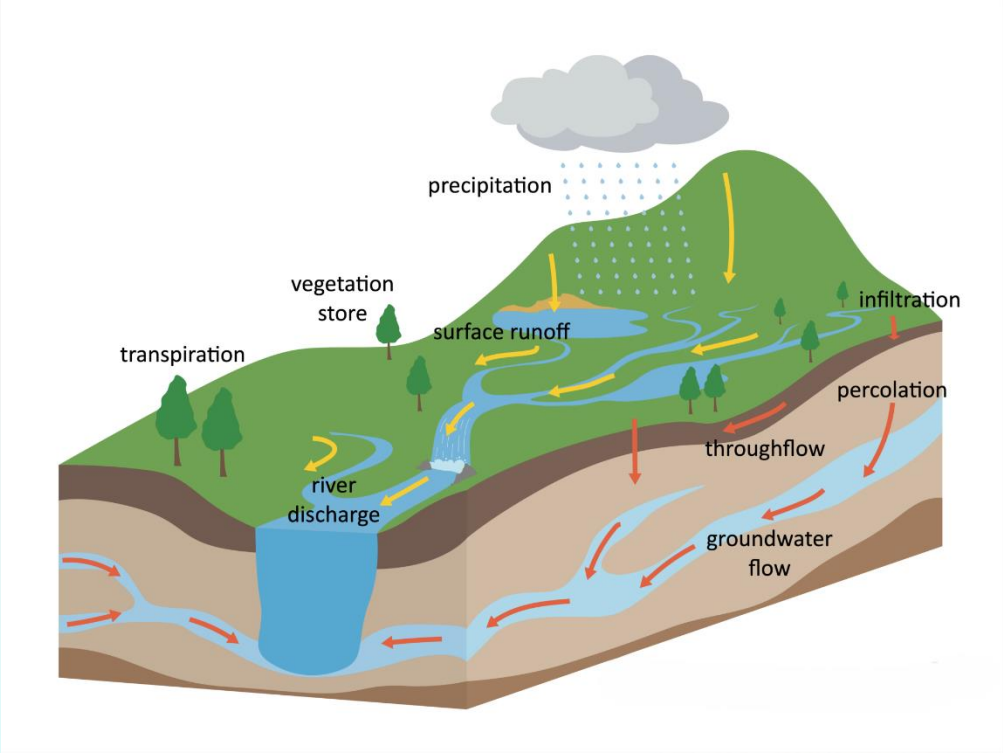
Ruscellamento sub-superficiale

Deflusso di base

Evapotraspirazione reale

⇩

BILANCIO IDROLOGICO



Modello di bilancio idrologico semi-distribuito

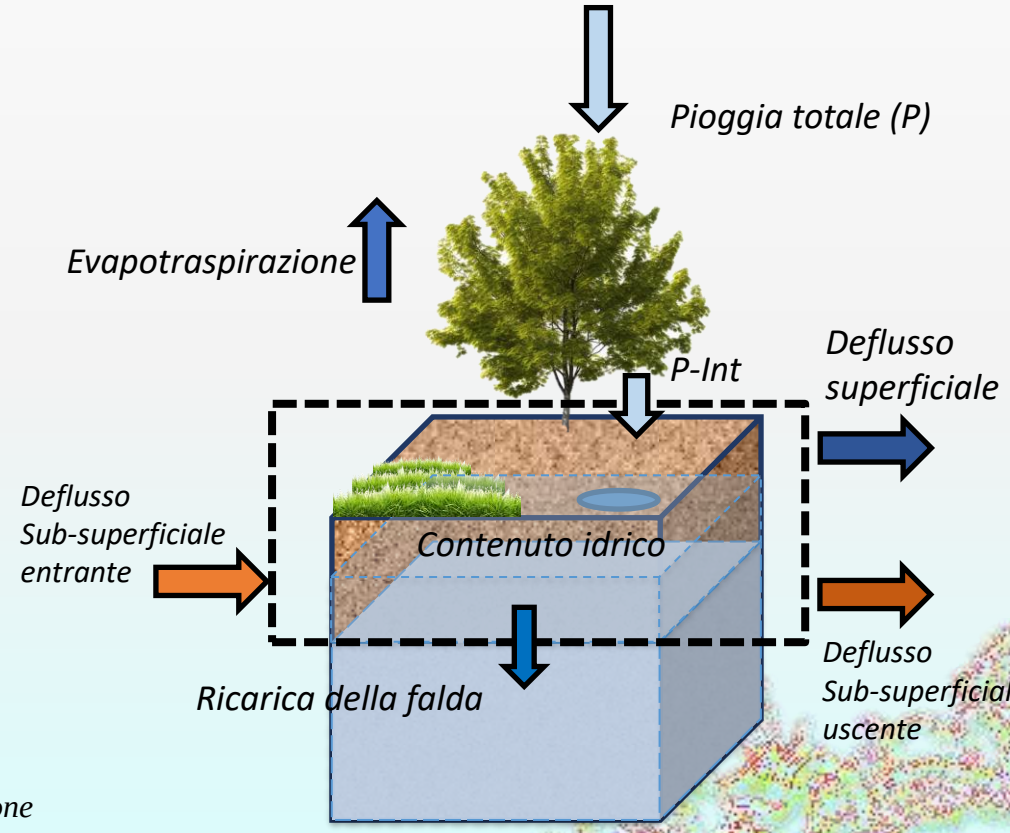
Basato sulla componente giornaliera del modello DREAM (Manfreda et al., 2005)[1]

Il bacino è rappresentato da un insieme di celle elementari caratterizzate da un contenuto idrico iniziale che varia nel tempo a seconda dell'entità degli apporti idrici e delle perdite

Bilancio idrologico a scala giornaliera

$$S_{t+\Delta t} = S_t + I_t + RS_t - RG_t - ET_{veg}$$

S: contenuto idrico, I: infiltrazione, RS: Ruscellamento sub-superficiale, RG: Ricarica della falda, ET: Evapotraspirazione



[1]Manfreda, S., Fiorentino, M., & Iacobellis, V. (2005). DREAM: a distributed model for runoff, evapotranspiration, and antecedent soil moisture simulation. *Advances in Geosciences, 2*, 31-39.

Modello di bilancio idrologico semi-distribuito

INPUT

- Dati topografici
- Copertura del suolo (vegetazione)
- Proprietà idrauliche del suolo
- Dati meteoclimatici spazializzati
- Parametri concentrati

PROCESS

Equazione di bilancio (massa)

Simulazione dei processi idrologici in continuo (Δt=1 giorno)

MATLAB

QGIS

OUTPUT

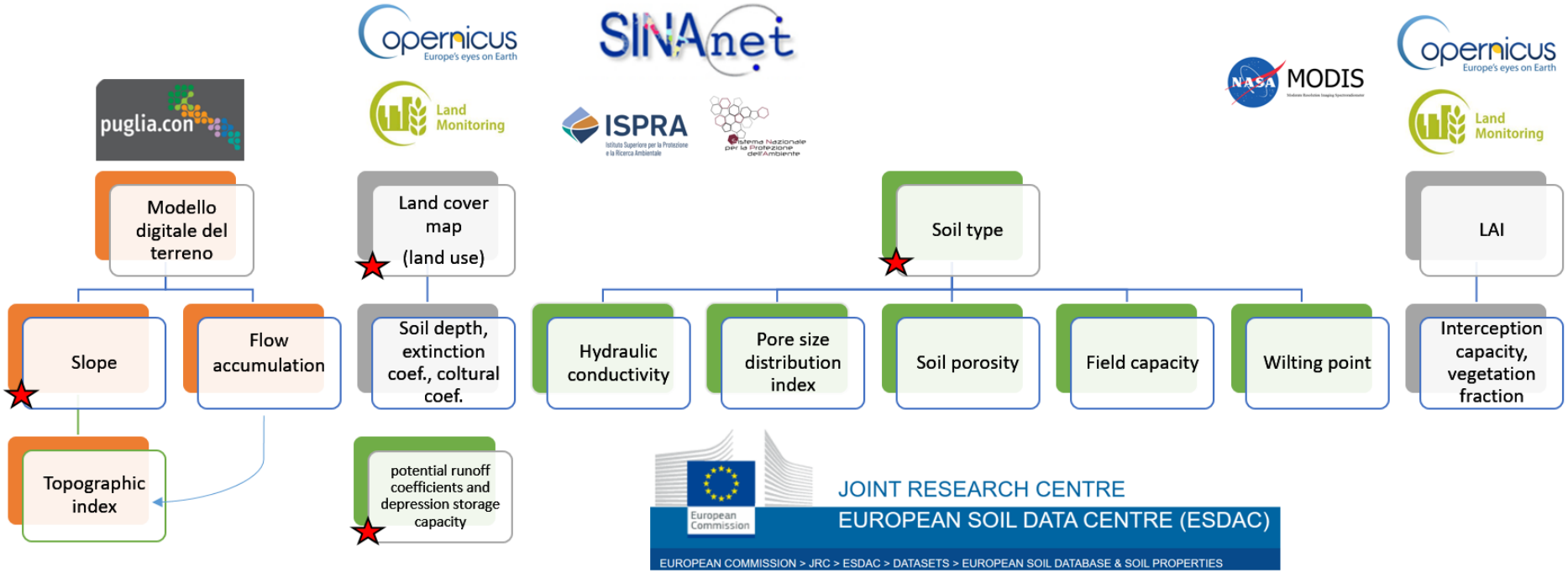
Componenti del bilancio (medie giornaliere)

Componenti del deflusso

Mappe del contenuto idrico del suolo



Mappe in input e parametri distribuiti



Prodotti EO (Earth Observation)

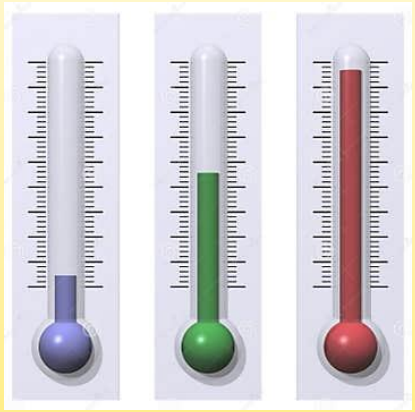


Mappa	Uso
Leaf Area Index - MODIS 8 GIORNI (500 m) - COPERNICUS SENTINEL-2 (10 m)	Aggiornamento periodico delle mappe LAI nel modello ed elaborazione di mappe LAI di riferimento
NDVI	Aggiornamento periodico dei coefficienti colturali per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale
Mappe di umidità del suolo superficiale (SAOCOM, Sentinel)	Confronto tra output del modello colturale e del modello idrologico
Mappe delle aree irrigate	Aggiornamento periodico del contenuto idrico locale del suolo nel modello idrologico

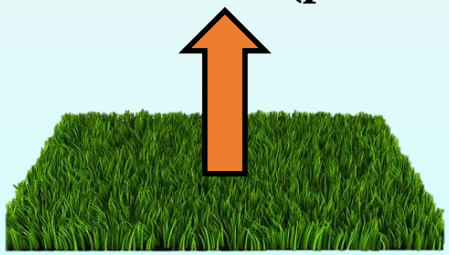
Dati meteo-climatici

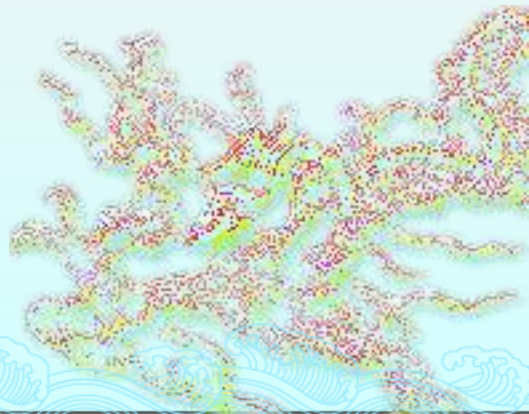
(Fase di calibrazione e validazione del modello su dati storici)

Dati puntuali	**Preprocessing**	**Spazializzazione**
Piogge giornaliere	Verifica dei dati	**Mappe areali di P ed ETP**
Temperature	Interpolazione del dato mancante	
	Evapotraspirazione potenziale di riferimento (puntuale)	



T_{min} T_{media} T_{max}





Parametri concentrati

Costante di recessione (deflusso di base);	Esponente del modello di ruscellamento di tipo Hortoniano;	coefficiente di deflusso sub-superficiale (componente Dunniana);
• Stima da serie storiche o calibrazione	• calibrazione	• calibrazione

Ottimizzazione

Metrica di performance di riferimento

- *Kling Gupta Efficiency (KGE)*

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2}$$

α β

Componenti del modello di bilancio

- **Intercezione vegetale** (Dickinson, 1984): funzione del Leaf Area Index (LAI);
- **Accumulo nelle depressioni superficiali (**Liu et al., 2003);
- **Infiltrazione** (dipendente dall'intensità di precipitazione e dal contenuto idrico del suolo);
- **Ruscellamento superficiale** (componente Hortoniana)
- **Percolazione** (funzione della conducibilità idraulica k_s)
- **Deflusso di base** (serbatoio lineare)
- **Evapotraspirazione** da suolo nudo (depressioni superficiali) e chiome
- **Ruscellamento sub-superficiale** (funzione del deflusso laterale, componente Dunniana)

$$RS_{t,j} = \left(\frac{W_j \sum_{i=1}^{N(t)} max[c(S_{t,i} - S_{c,i}), 0]}{\sum_{i=1}^{N(t)} W_i} \right) - max[c(S_{t,j} - S_{c,j}), 0]$$

Indice topografico *W* (Kirkby 1975) $W = \ln(\frac{a}{tan\beta})$

$$ET_{veg} = M\left(\frac{S_t - S_{wp}}{0.75\, S_c - S_{wp}}\right) ET_c$$

M: frazione di suolo coperta da vegetazione

S_{wp} : contenuto idrico del suolo al punto di appassimento

Con $M = 1 - e^{-\mu\, LAI}$

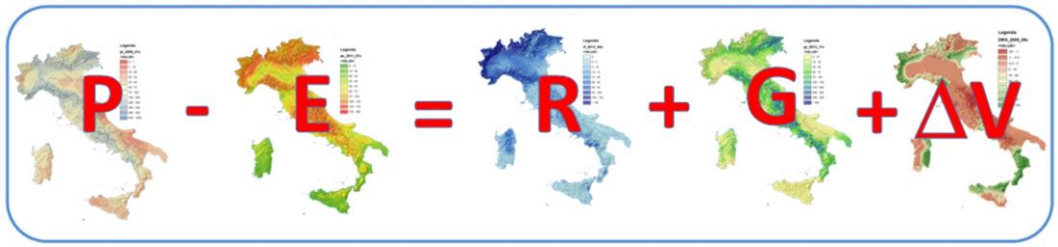
μ: Tasso di riduzione della luce solare dovuta all'assorbimento e alla riflessione delle chiome

Equazione del bilancio idrologico a scala giornaliera

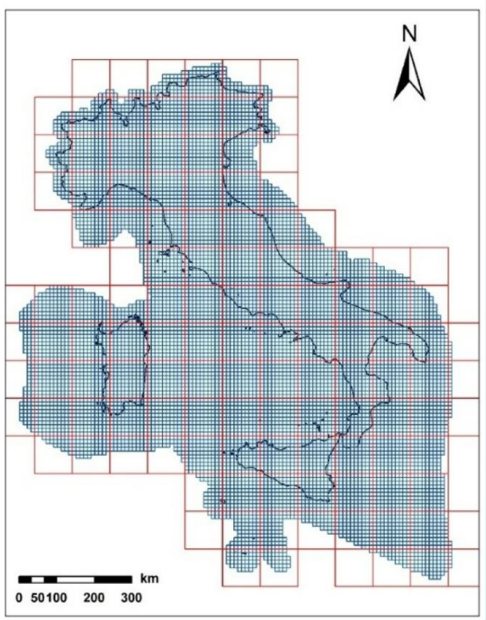
$$S_{t+\Delta t} = S_t + I_t + RS_t - RG_t - ET_{veg}$$

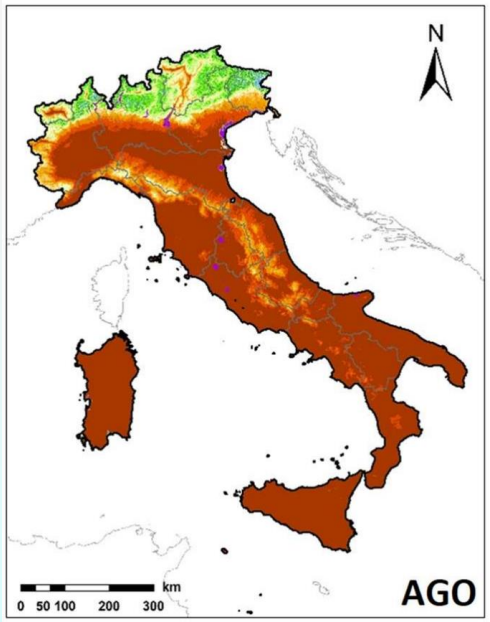
S: contenuto idrico, I: infiltrazione, RS: Ruscellamento sub-superficiale, RG: Ricarica della falda, ET: Evapotraspirazione

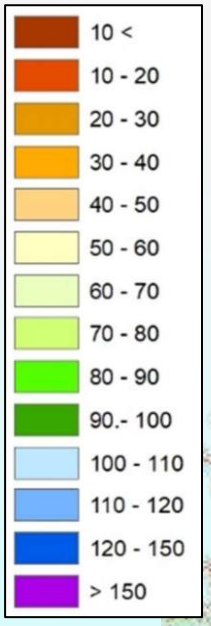
Condizione iniziale



BIGBANG–**B**ilancio **I**drologico **G**IS **BA**sed a scala **N**azionale su **G**riglia regolare



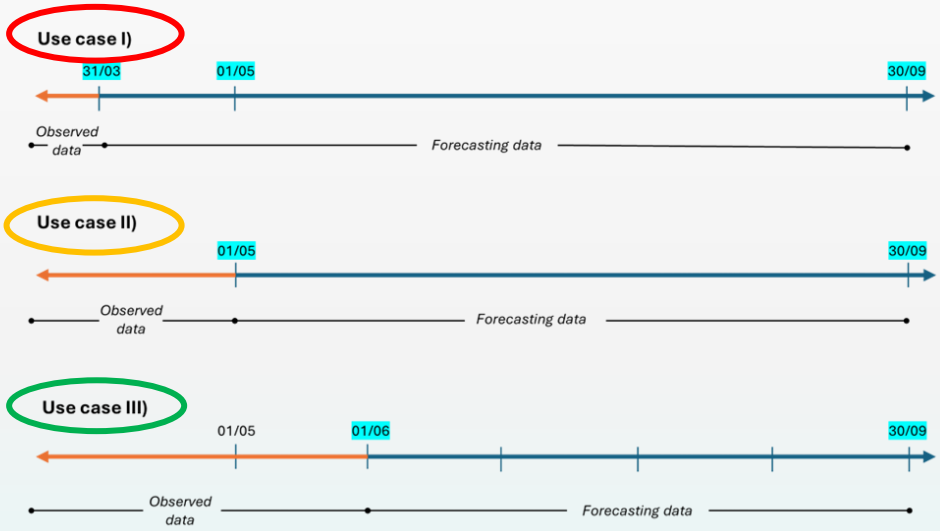


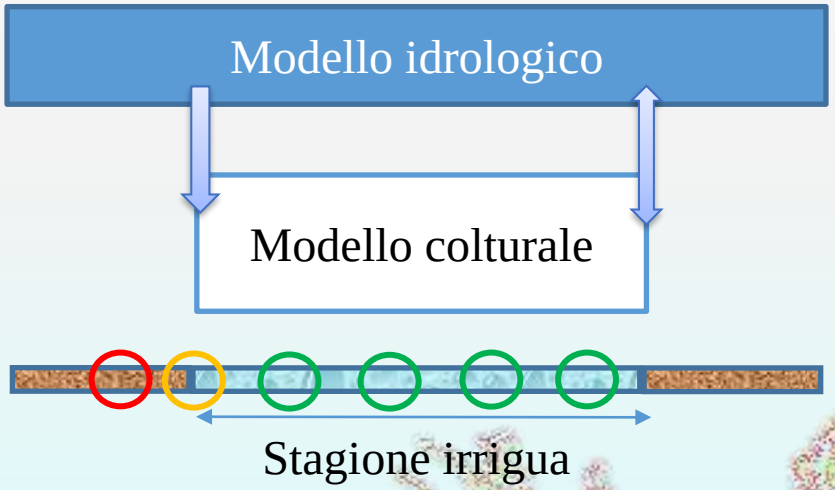


MAPPA DEL CONTENUTO IDRICO DEL SUOLO (mm/m) mese di Agosto 2021

RIPORTATA ALLA PROFONDITA' DI RIFERIMENTO

Casi d'uso


Use case I)
31/03
01/05
30/09
Observed data
Forecasting data
Use case II)
01/05
30/09
Observed data
Forecasting data
Use case III)
01/05
01/06
30/09
Observed data
Forecasting data


Modello idrologico
Modello colturale
Stagione irrigua



Forzante meteo-climatica

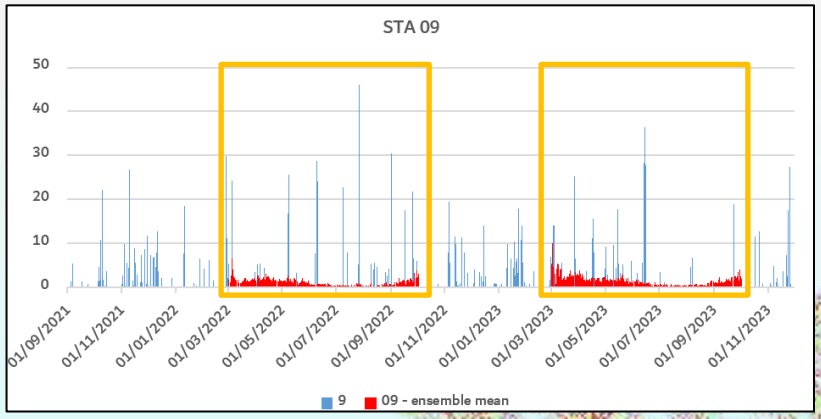
(Fase di previsione)

Variabile	Unità di misura	Frequenza temporale
Pioggia totale	**mm**	**Cumulata giornaliera**
Temperatura minima a 2 m dal suolo nelle ultime 24 h	°C	Giornaliera
Temperatura massima a 2 m dal suolo nelle ultime 24 h	°C	Giornaliera
Radiazione solare superficiale netta	MJ m^{-2}	Cumulata giornaliera
Componenti delle velocità del vento a 10 m	m s^{-1}	Giornaliera
Pressione media sul livello del mare	kPa	Giornaliera
Umidità specifica	kg kg^{-1}	Giornaliera



ECMWF

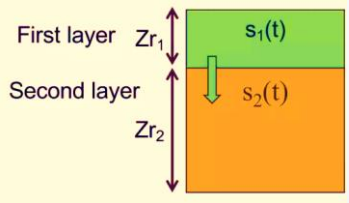
Caso d'uso I mar-ott



Confronto tra piogge osservate e previste

Ensemble mean & Standard deviation

Il modello SMAR



Ipotesi

- Il trasferimento dell'acqua dallo strato superficiale a quello profondo avviene secondo la schematizzazione di **Green-Ampt (1911);**
- Il contenuto d'acqua che supera la capacità di campo nel primo strato si trasferisce al secondo strato nell'arco di un giorno **(Laio, 2006);**
- Suolo con capacità infinita per valori della saturazione relativa superiori alla capacità di campo;
- Legame lineare tra perdite e contenuto idrico del suolo anche per elevati valori di quest'ultimo.

Trasferimento del contenuto idrico tra 1 e 2

$$n_1 Z_{r1} y(t) = n_1 Z_{r1} y[s_1(t), t] = n_1 Z_{r1} \begin{cases} (s_1(t) - s_{c1}), & s_1(t) \geq s_{c1} \\ 0, & s_1(t) < s_{c1} \end{cases}$$

Equazione di bilancio

$$(1 - s_w) n_2 Z_{r2} \frac{dx_2(t)}{dt} = n_1 Z_{r1} y(t) - V_2 x_2(t)$$

(Infiltration, Losses)

$$a = \frac{V_2}{(1 - s_w) n_2 Z_{r2}}$$

$$b = \frac{n_1 Z_{r1}}{(1 - s_w) n_2 Z_{r2}}$$

$$s_2(t_j) = s_w + (s_2(t_{j-1}) - s_w)\, e^{-a(t_j - t_{j-1})} + (1 - s_w) b\, y(t_j)(t_j - t_{j-1})$$

n [-]: porosità
Z_r [L]: profondità del suolo
V_2 [LT^{-1}]: coefficiente che regola le perdite per evapotraspirazione percolazione
x_2 [-]: saturazione relativa effettiva dello strato 2
s_{c1} [-]: saturazione relativa alla capacità di campo dello strato 1

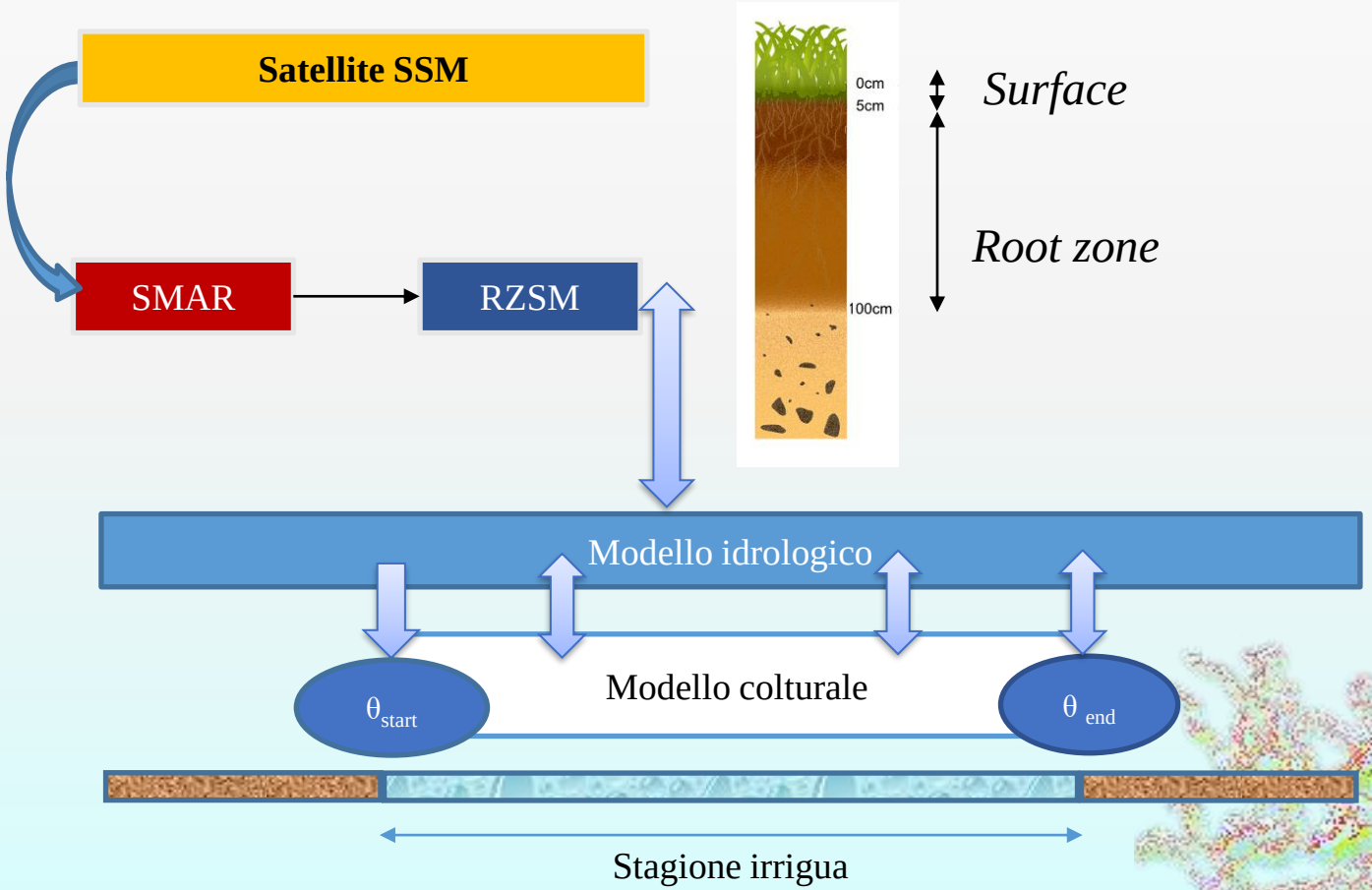
Dinamica del contenuto idrico nella root-zone a partire da misure (o osservazioni satellitari) del contenuto idrico in superficie.

4 parametri: a, b, s_w, s_{c1}

Modello fisicamente basato;
Parametrizzazione legata alle caratteristiche fisiche del suolo e del clima locale.

- Manfreda, S., L. Brocca, T. Moramarco, F. Melone, and J. Sheffield, ***A physically based approach for the estimation of root-zone soil moisture from surface measurements***. **Hydrology and Earth System Sciences**, 18, 1199-1212, (doi:10.5194/hess-18-1199-2014), 2014.

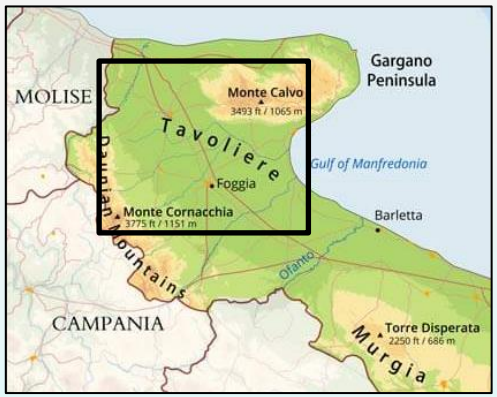
Confronti tra Satellite-SSM e RZSM

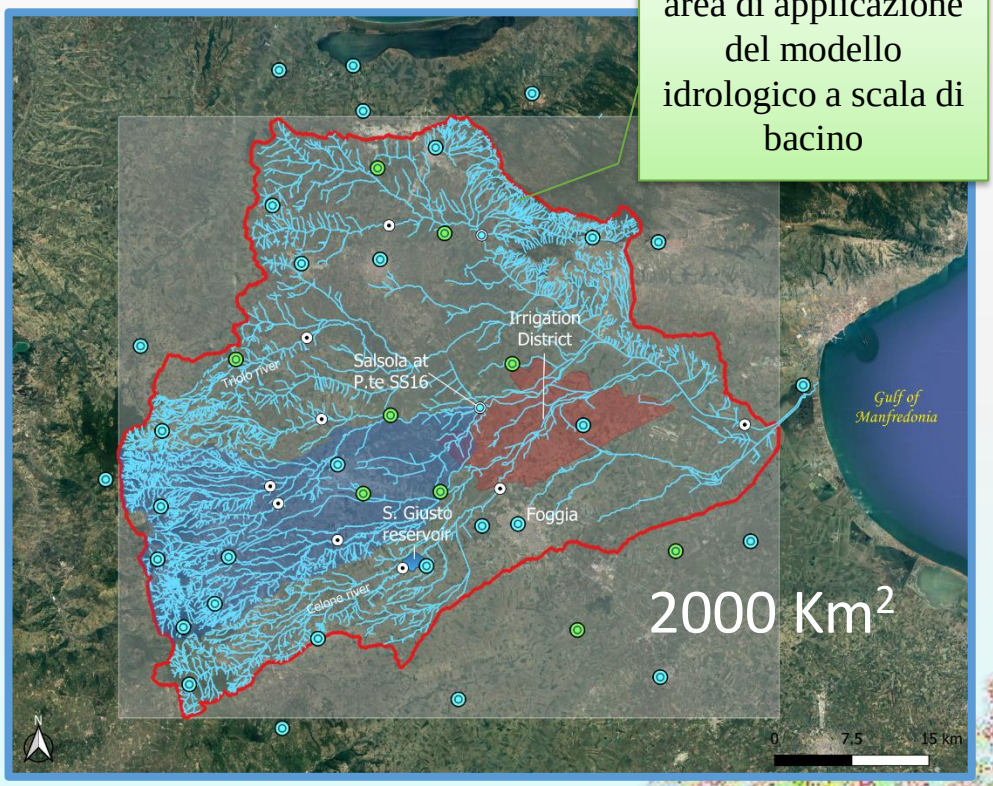


L'IMPORTANZA DELLA RISORSA IDRICA INVASATA NEL QUADRO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Area di applicazione e reti di misura





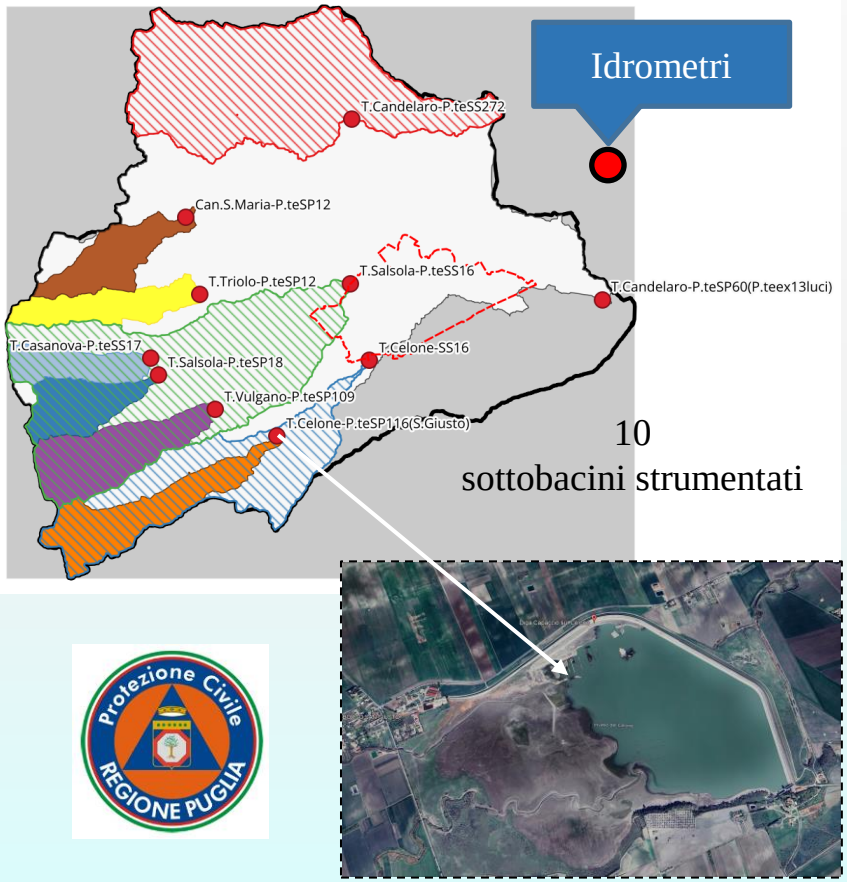


Idrometri

Stazioni climatiche

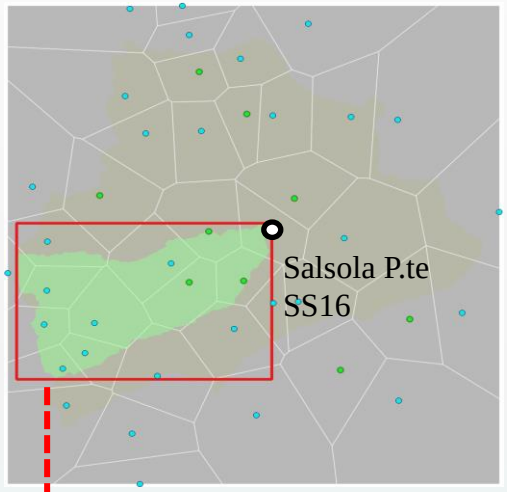
CONSORZIO PER LA BONIFICA DELLA CAPITANATA

Sottobacini strumentati e stazioni idrometriche



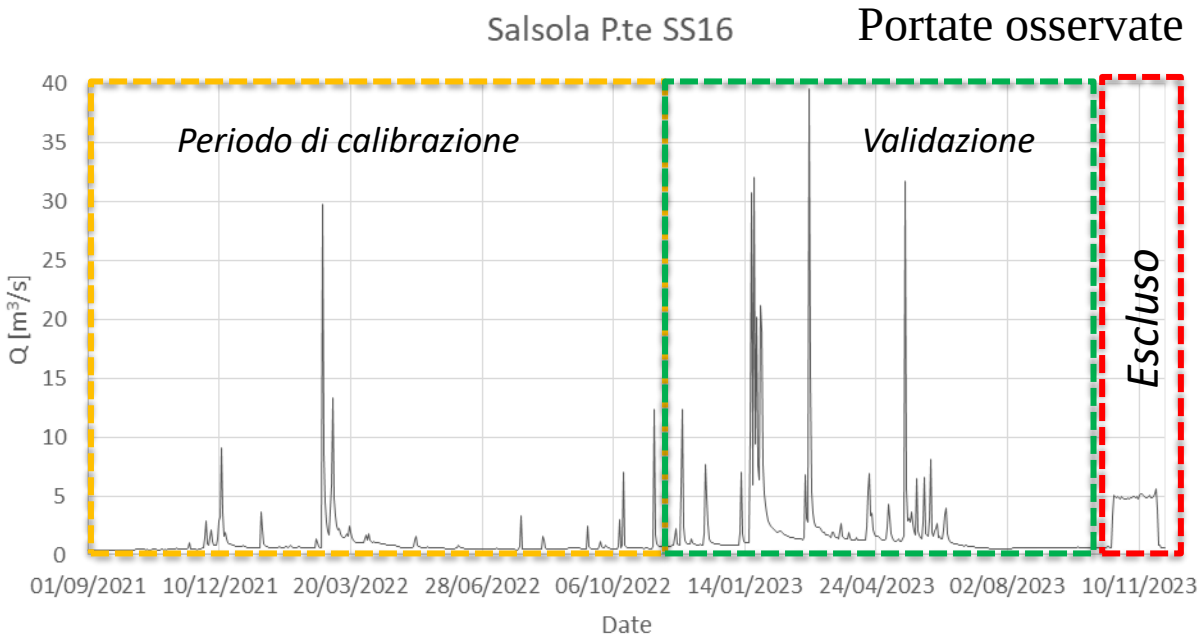
Nome stazione	Area (Km^2)	Invaso	Data inizio	Data fine	Giorni mancanti
Candelaro @ P.te SP60 (P.te ex 13 luci)	1886.0	S. Giusto	01/09/2021	30/11/2023	16
Salsola @ P.te SS16	463.0	-	01/09/2021	30/11/2023	6
Candelaro @ P.te SS272	340.0	-	01/09/2021	30/11/2023	9
Celone @ P.te SS16	256.0	S. Giusto	08/10/2021 03/04/2022	22/11/2021 10/11/2022	n.a.
Celone @ P.te SP116	90	-	01/09/2021	30/11/2023	8
Candelaro S. Maria @ P.te SP12	59.8	-	01/09/2021	30/11/2023	5
Vulgano @ P.te SP109	94.0	-	01/09/2021	30/11/2023	9
Casanova @ P.te SS17	55.8	-	01/09/2021	30/11/2023	5
Triolo @ P.te SP12	53.8	-	01/09/2021	30/11/2023	10
Salsola @ P.te SP18	43.1	-	01/09/2021	30/11/2023	14

Calibrazione e validazione sulle serie di portate giornaliere osservate



Estensione del modello idrologico

Calibrazione su serie storiche



Dati disponibili

17 stazioni di misura (T, P)
Poligoni di Thiessen

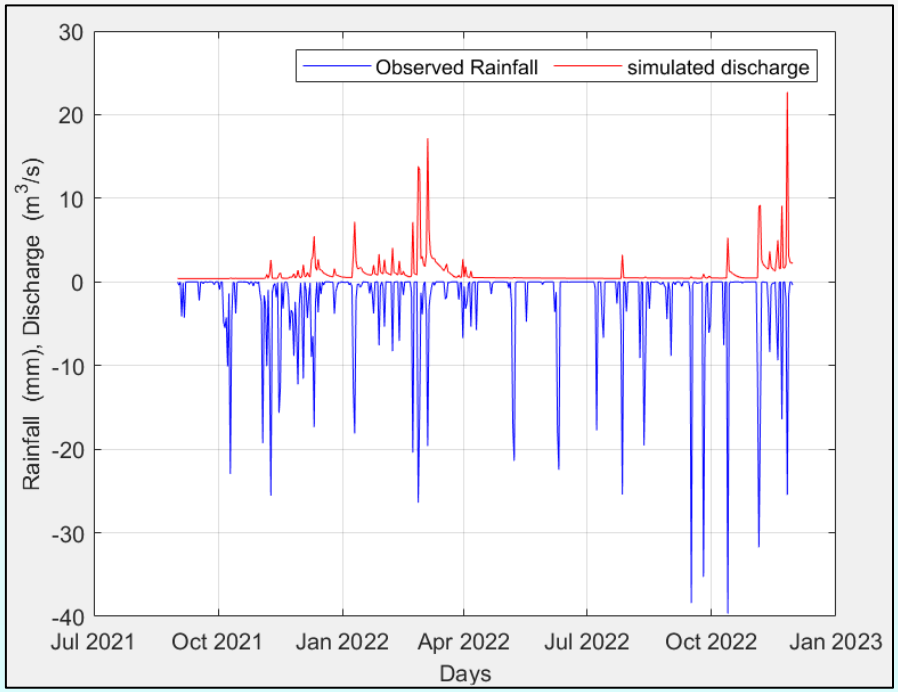
1 stazione idrometrica (Salsola @ P.te SS16)

Sintesi della struttura del modello e della parametrizzazione adottata

Parametro/Processo	Fonte dato	Risoluzione spaziale/ densità
Precipitazione (Thiessen)	Pluviometri Protezione civile e Consorzio di Bonifica della Capitanata	1/50 Km^2
Evapotraspirazione potenziale (Hargreaves)	Temperature Protezione Civile e CBC	‘’’’
Leaf Area Index	MODIS 8-day	500 m
Proprietà idrauliche del suolo	ESDAC + PTFs (2014)	500-1000 m
Copertura/Uso del suolo	Corine Land Cover (2018)	300 m

Risultati – Periodo di calibrazione – T. Salsola

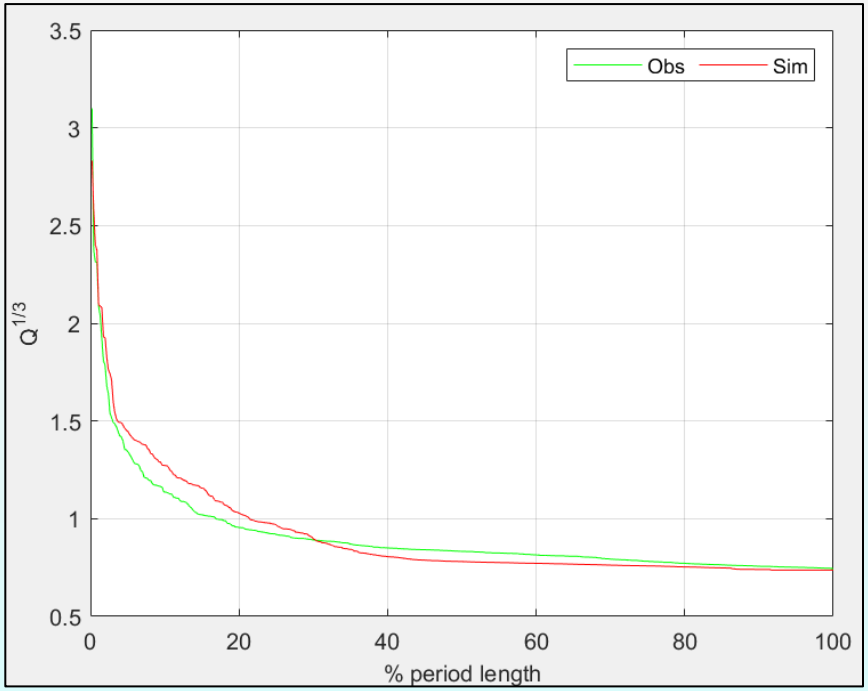
TEST	alfa	kg	c	KGE	r	α_{KGE}	β_{KGE}	RMSE	NSE	MB%
3	2.9	0.02	1	0.52	0.525	1.07	1.07	1.83	0.04	-7

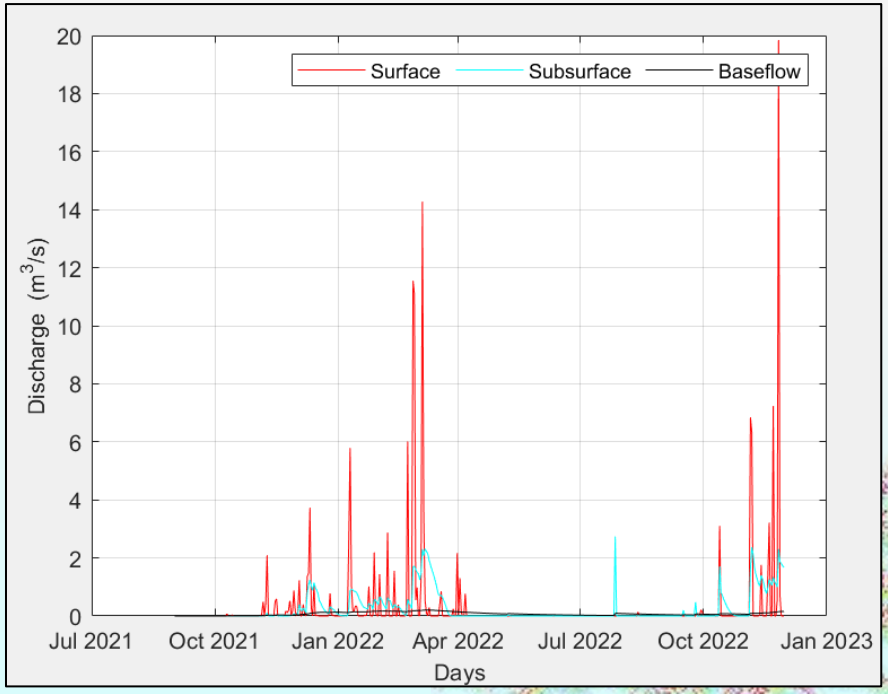




Risultati – Periodo di calibrazione – T. Salsola

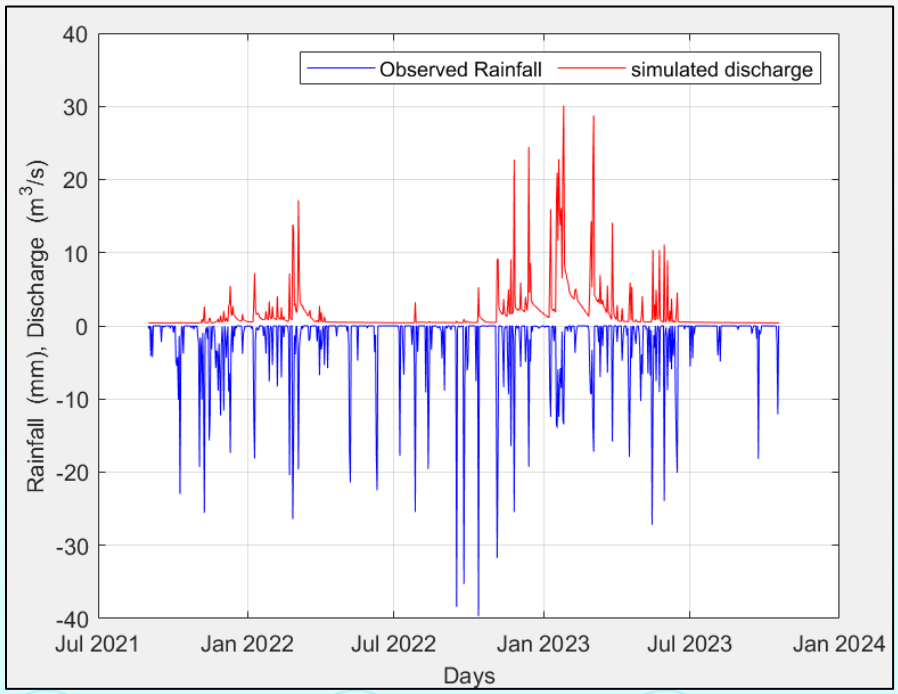
TEST	alfa	kg	c	KGE	r	α_{KGE}	β_{KGE}	RMSE	NSE	MB%
3	2.9	0.02	1	0.52	0.525	1.07	1.07	1.83	0.04	-7

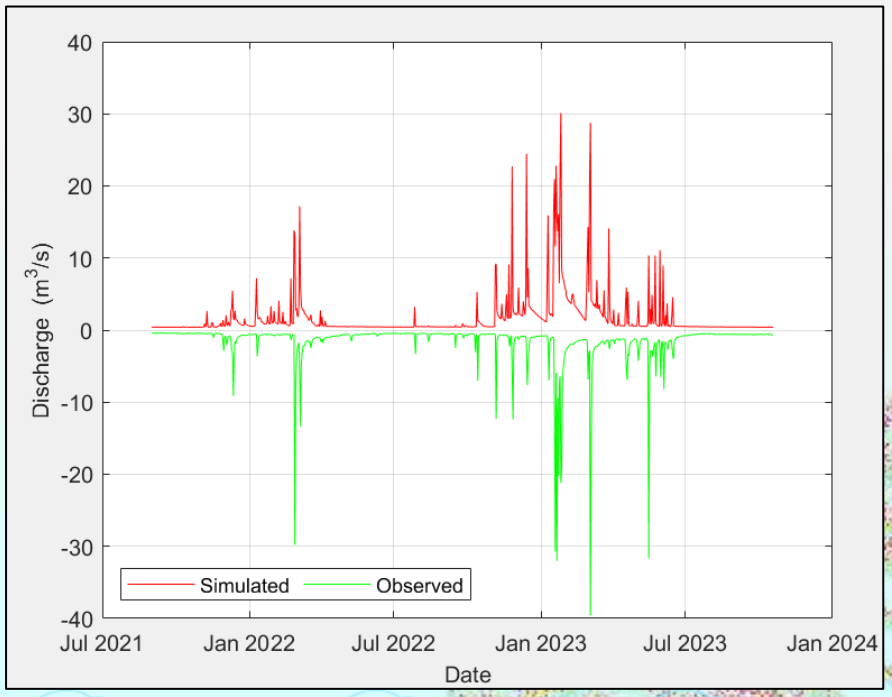




Risultati – Simulazione su periodo di calibrazione+validazione
T. Salsola

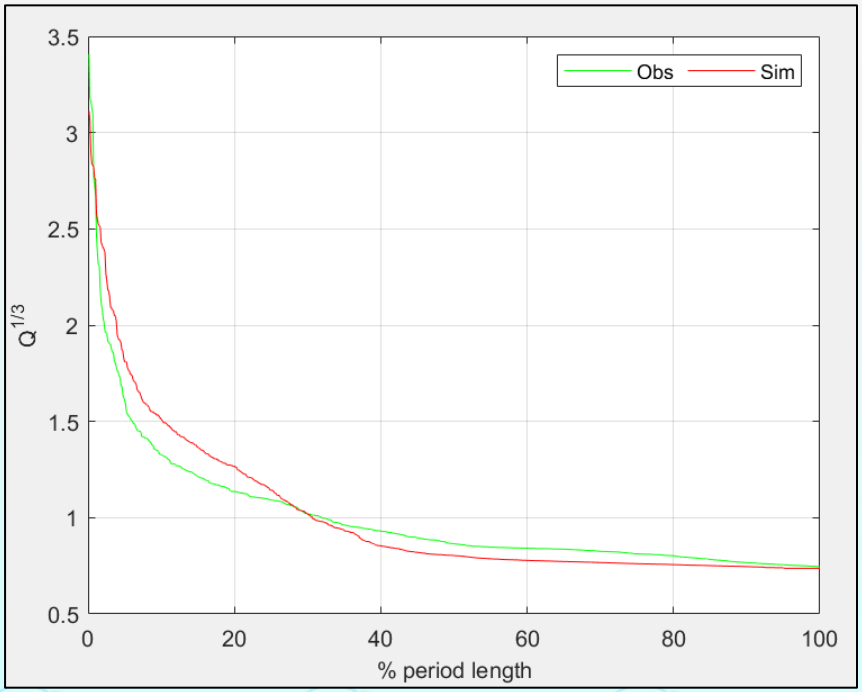
TEST	alfa	kg	c	KGE	r	α_{KGE}	β_{KGE}	RMSE	NSE	MB%
3	2.9	0.02	1	0.60	0.62	1.01	1.12	2.79	0.22	-12

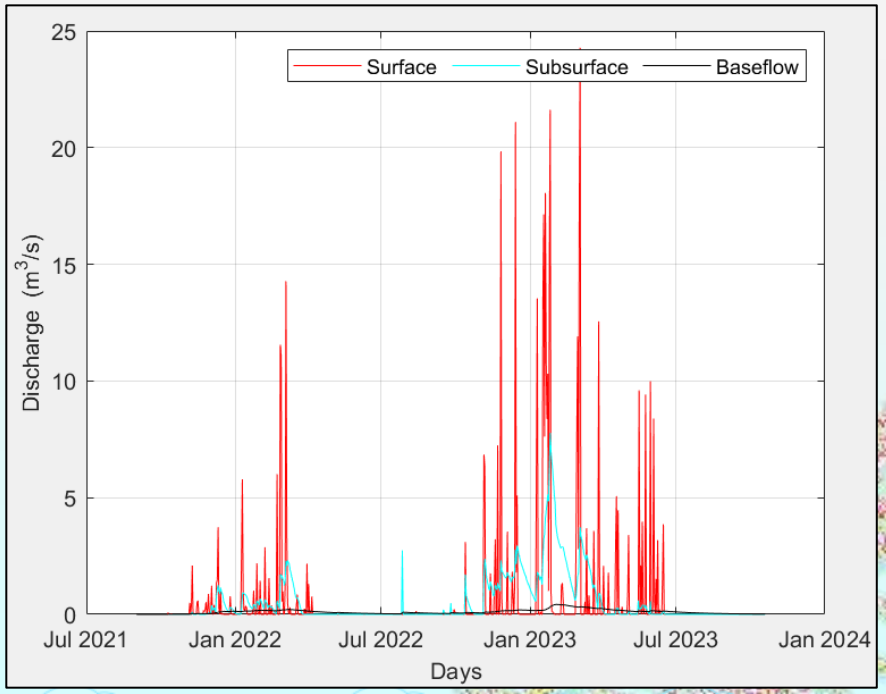




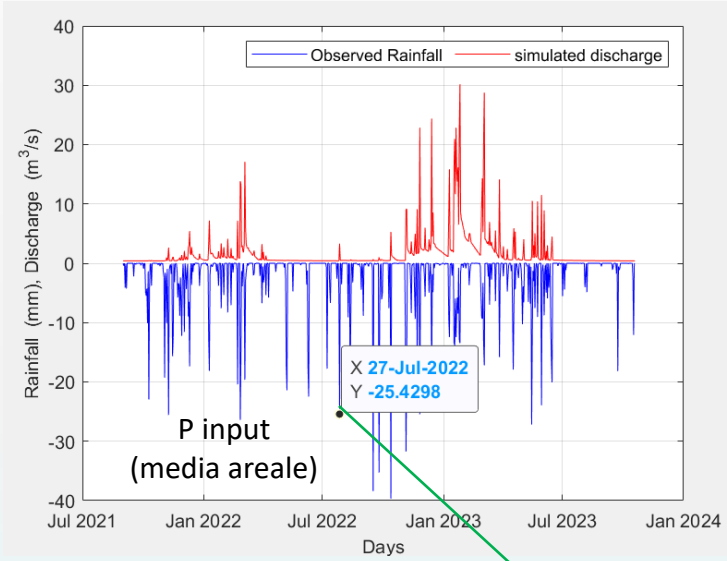
Risultati – Simulazione su periodo di calibrazione+validazione
T. Salsola

TEST	alfa	kg	c	KGE	r	α_{KGE}	β_{KGE}	RMSE	NSE	MB%
3	2.9	0.02	1	0.60	0.62	1.01	1.12	2.79	0.22	-12



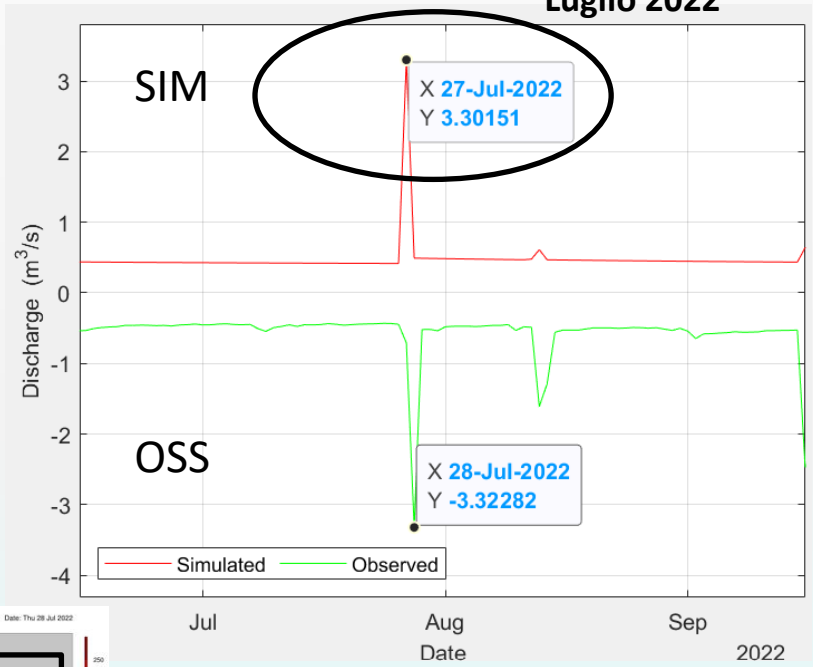


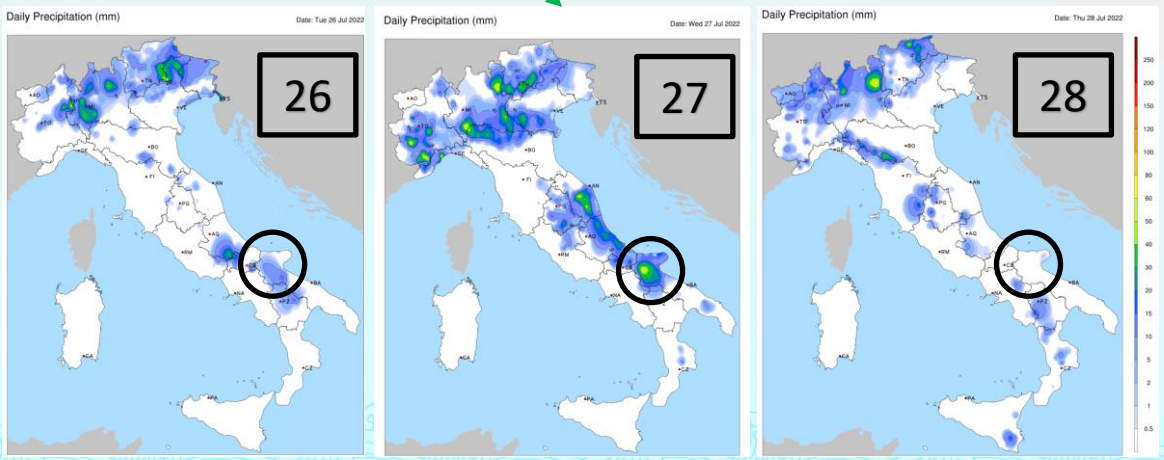
Verifiche a campione sul singolo evento – ESEMPIO 1



27/07: Piove solo nel pomeriggio tra le 16:00 e le 20:00

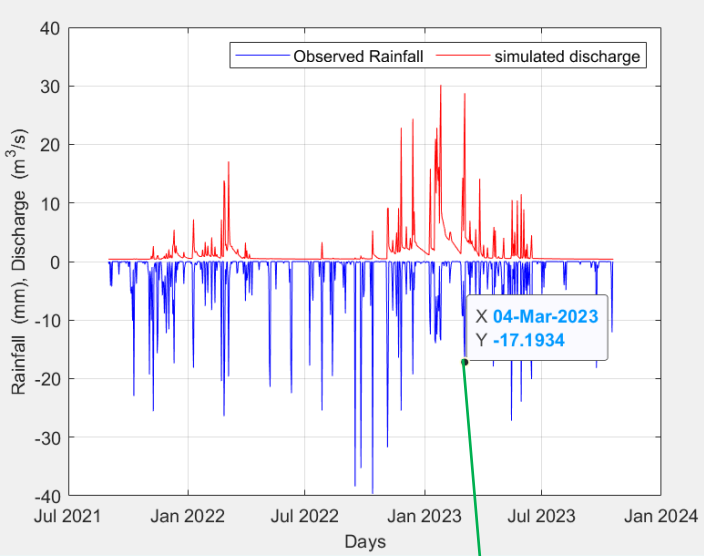
Picco di portata osservato il giorno seguente





Il modello non tiene conto della distribuzione sub-giornaliera della precipitazione!

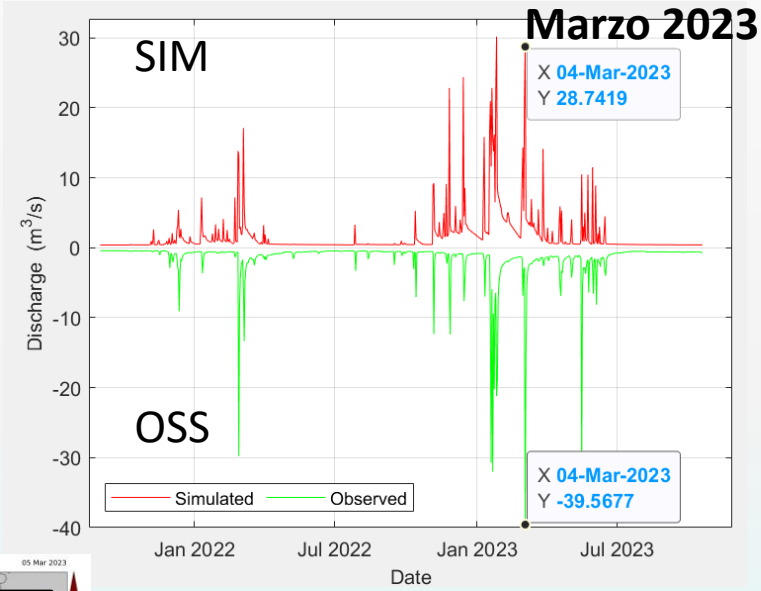
Verifiche a campione sul singolo evento – ESEMPIO 2

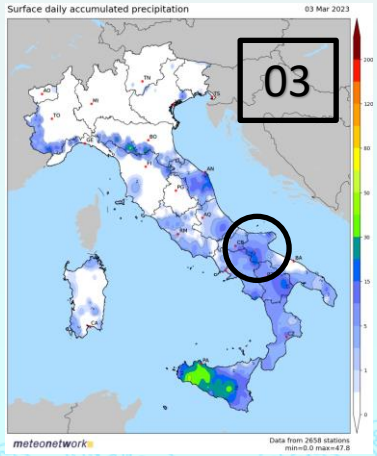


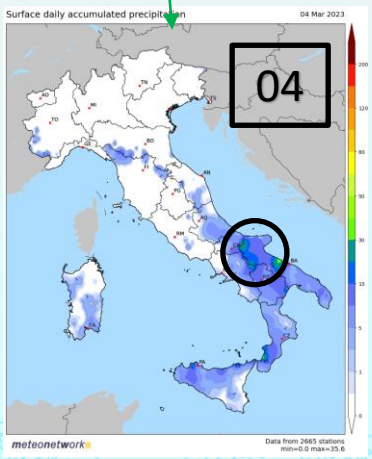
Picco di pioggia mattina del 04/03

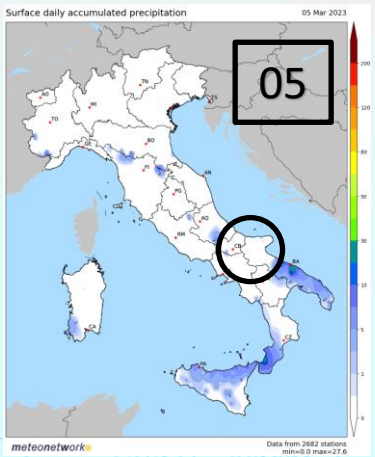
Picco di portata osservato nello stesso giorno

Marzo 2023









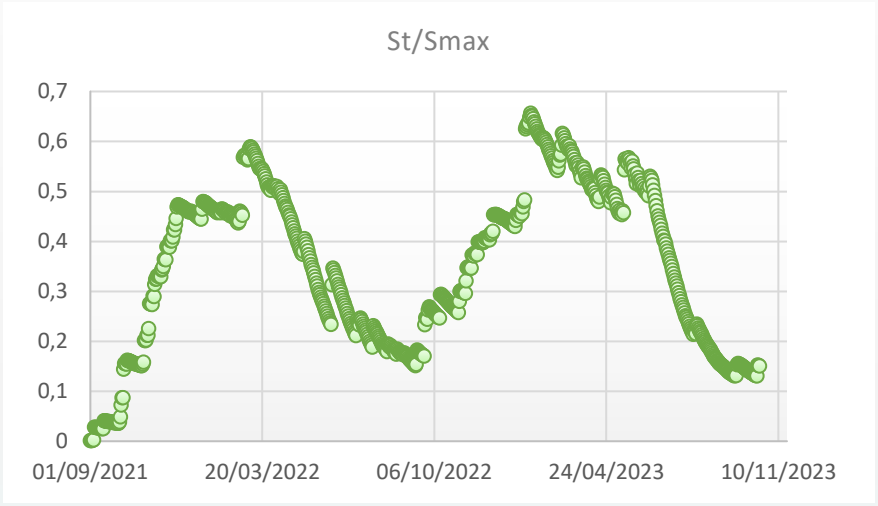
Coefficiente di correlazione rivalutato con riferimento a una finestra mobile di ampiezza Δt=2 giorni

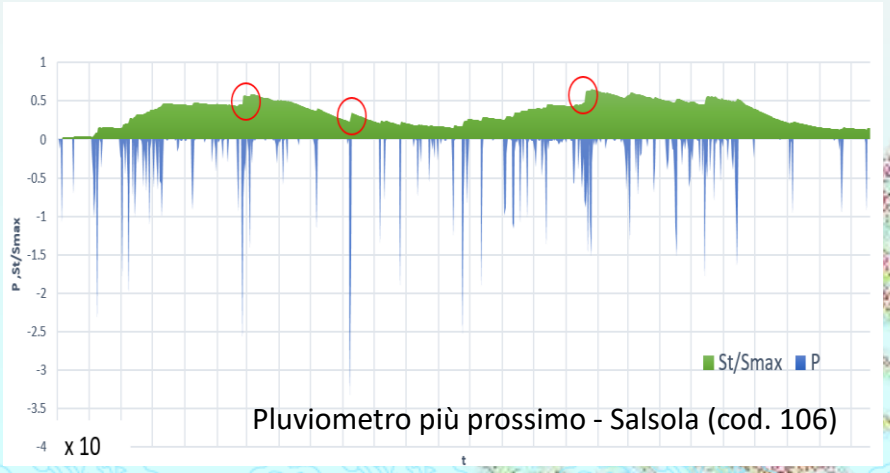
r (moving window_2 giorni) = 0.77

KGE (moving window_2 giorni) = 0.735

Risultati – Contenuto idrico







Pluviometro più prossimo - Salsola (cod. 106)

Conclusioni

- **Calibrazione del modello idrologico su dati storici** - I test eseguiti con parametri ottimali hanno prodotto risultati positivi, in termini di metriche di performances e indicatori di errori (ved. Knoben et al., 2019[2]; Althoff & Neiva Rodrigues, 2021[3]). Anche dai confronti visivi si evince un discreto accordo tra le portate osservate e quelle simulate, sia in termini cronologici che in termini di durata.

- **Variabilità temporale del contenuto idrico del suolo** - Il modello è in grado di riprodurre le dinamiche temporali dell'umidità del suolo. La variabile di stato S_t/S_{max} assume un andamento temporale plausibile a scala stagionale.

- Ulteriori confronti con misure al suolo per la verifica delle mappe del contenuto idrico in uscita dal modello a scala giornaliera.

[2]Knoben, W. J., Freer, J. E., & Woods, R. A. (2019). Inherent benchmark or not? Comparing Nash–Sutcliffe and Kling–Gupta efficiency scores. *Hydrology and Earth System Sciences*, *23*(10), 4323-4331.

[3]Althoff, D., & Rodrigues, L. N. (2021). Goodness-of-fit criteria for hydrological models: Model calibration and performance assessment. *Journal of Hydrology*, *600*, 126674.

Grazie per l'attenzione

MARGHERITA LOMBARDO

Politecnico di Bari

margherita.lombardo@poliba.it

POLITECNICO DI BARI
SALA CONSILIARE DICATECh
VIA EDOARDO ORABONA, 4
30 maggio 2024

