

## Infrastruttura di dati spaziali per il monitoraggio e la gestione della risorsa idrica della Regione Toscana.

Riccardo Mari <sup>(a)</sup><sup>(b)</sup>, Luca Fibbi <sup>(a)</sup><sup>(b)</sup>, Daniele Grifoni <sup>(a)</sup><sup>(b)</sup>, Ramona Magno <sup>(a)</sup><sup>(b)</sup>, Lorenzo Bottai <sup>(b)</sup>, Bernardo Gozzini <sup>(a)</sup><sup>(b)</sup>, Andrea Cappelli <sup>(c)</sup>, Paolo Quaranta <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> IBE-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI),  
[mari@lamma.rete.toscana.it](mailto:mari@lamma.rete.toscana.it)

<sup>(b)</sup> Consorzio LaMMA, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

<sup>(c)</sup> Autorità Idrica Toscana, Via G. Verdi 7, 50122 Firenze (FI)

### Riassunto

L'Autorità Idrica Toscana (AIT) ha l'obiettivo di individuare le modalità di monitoraggio dello stato delle risorse idropotabili, le misure e gli interventi da attuare in caso di emergenza idropotabile dovuta a siccità.

Il Consorzio LaMMA svolge attività di previsione e vigilanza meteorologica, anche a supporto del sistema di protezione civile, di climatologia e di monitoraggio ambientale; il Consorzio è anche impegnato nello sviluppo di applicazioni WebGIS a supporto del sistema informativo territoriale e ambientale della Regione Toscana e gestisce al proprio interno un sistema di pubblicazione e divulgazione delle informazioni ambientali e territoriali.

La presente attività si inserisce all'interno di questo quadro operativo ed ha permesso lo sviluppo di un prodotto a supporto dell'AIT nella gestione delle crisi idropotabili causate da siccità.

Il sistema informativo territoriale, sviluppato integrando ed elaborando dati meteo da stazioni a terra relative al territorio toscano, consente di fornire, attraverso un portale WebGIS dedicato, informazioni geo-riferite circa la situazione idrica del territorio e la sua possibile evoluzione.

Tale infrastruttura rappresenta una soluzione proattiva per poter fornire informazioni semplici, comprensibili e tempestive sulle condizioni attuali e sui possibili scenari evolutivi della siccità a supporto delle scelte e delle azioni da intraprendere.

### Introduzione

Negli ultimi 20 anni la Regione Toscana si è occupata più volte di emergenza idrica in conseguenza del cambiamento climatico ed in particolare del verificarsi di lunghi e ripetuti periodi siccitosi come quello che si è verificato nella primavera-estate del 2003 e prolungatosi fino a gran parte dell'autunno e la cui crisi idrica ha portato alla dichiarazione dello stato di emergenza con ordinanza del Presidente regionale.

In seguito a tale evento la Regione Toscana ha elaborato, in adempimento alla delibera n.8 del 25 Gennaio 2005 del Consiglio Regionale, il “Piano di Prevenzione della Emergenza Idrica per Siccità” per integrare la convenzione tipo tra Autorità di Ambito Territoriale Ottimale n. 4 Alto Valdarno ed il Soggetto Gestore Nuove Acque S.p.A. avente ad oggetto la previsione di idonee misure atte ad affrontare le possibili future situazioni di emergenza idrica dovuta a siccità ad opera delle rispettive Autorità di Ambito.

Con l’istituzione dell’Autorità Idrica Toscana sono state omogeneizzate le procedure previste dalle 6 ex AATO e si è quindi provveduto a redigere un nuovo “Piano operativo di emergenza per la crisi idropotabile”, uguale nei suoi temi principali per tutti i gestori. Tale Piano ha l’obiettivo di individuare le modalità di monitoraggio dello stato delle risorse idropotabili, le misure e gli interventi da attuare in caso di carenza idrica dovuta a siccità, fino alla dichiarazione dello stato di emergenza idropotabile.

La possibilità di un intervento tempestivo e appropriato nella gestione dell’emergenza non può prescindere dalla conoscenza dello stato della risorsa idrica mediante un opportuno monitoraggio, oltre che da scenari pluviometrici ipotizzati in base alle probabilità di occorrenza climatologica (o in futuro previsti con il miglioramento delle previsioni stagionali) ed infine dalla conoscenza della possibile risposta nel tempo degli acquiferi da cui si effettuano i prelievi idropotabili.

### **Sviluppo del sistema di monitoraggio e gestione della siccità**

Recenti analisi dei trend climatici in Italia, ed in particolar modo in Toscana, stanno evidenziando, negli ultimi anni, un aumento del numero, intensità e durata degli eventi estremi ed in particolare dei fenomeni siccitosi. Il periodo 2011/2012 ne è un drammatico esempio, risultando per la regione il più intenso degli ultimi 60 anni, con danni nel solo comparto agro-forestale che ammontano a ca. 300 milioni di Euro. Più recentemente, un altro periodo particolarmente siccitoso in Toscana ha interessato l’Autunno–Inverno 2016/2017 prolungandosi fino all’Estate.

Rispetto ad altri eventi climatici estremi la siccità è un fenomeno più complesso ed insidioso, caratterizzato da un’evoluzione lenta e spesso molto prolungata; inoltre il suo inizio è generalmente difficile da determinare, la sua intensità ed estensione spaziale sono estremamente variabili e gli impatti sull’ambiente ed il territorio possono sorgere anche dopo mesi e persistere oltre il termine dell’evento (Vincente-Serrano et al., 2012).

Nel 2012 è stato sviluppato un sistema operativo che, mediante l’utilizzo di dati meteo-climatici satellitari e modellistica, elabora una serie di indici relativi al territorio nazionale e toscano in particolare che permettono di fornire informazioni geo-riferite circa la situazione idrica e di stato della vegetazione sul territorio in *quasi real-time* (Magno et al., 2018; Magno et al., 2014).

A partire da tale sistema è stato implementato un servizio *ad hoc* che permette di rispondere alle specifiche esigenze dell’AIT per far fronte in maniera rapida e mirata ad eventuali emergenze dovute a siccità prolungate.

## I dati meteo misurati e loro elaborazioni

L'infrastruttura di dati geografici sviluppata permette di gestire tutti i tematismi necessari alla creazione degli indici d'interesse per l'Autorità Idrica Toscana, dalle stazioni meteorologiche alle mappe derivate, agli elaborati finali.

Le stazioni meteorologiche derivano dalle seguenti reti:

Servizio Idrologico Regionale (SIR), Consorzio Chianti Classico, Stazioni istituto IBE-CNR, Stazioni del Consorzio LaMMA, Reti dei servizi idrologici delle regioni limitrofe (Liguria, Umbria, Emilia Romagna), Aeronautica Militare, UCEA (Ufficio Centrale di Ecologia Agraria).

I parametri meteorologici di input considerati sono **precipitazioni**, **temperatura minima** e **temperatura massima** giornaliere. La consistenza delle stazioni ad oggi è di circa 436 stazioni pluviometriche (1 stazione su 53 km<sup>2</sup>) e 248 stazioni termometriche, mentre il periodo di disponibilità dei dati è dal 1995 ad oggi.

Le mappe, utilizzate come dato di input per le elaborazioni visibili sulla web application, sono ottenute a partire dalla spazializzazione dei dati giornalieri misurati dalle stazioni meteorologiche disponibili. La risoluzione spaziale finale è di 200 m ed il grigliato ricopre l'intero territorio toscano. L'algoritmo di interpolazione utilizzato è una modifica di quello proposto da Thornton et al. (1997)

Le elaborazioni disponibili (variabili meteo) sul portale sono riferite a cinque scale temporali mensili ben definite (1, 3, 4, 6, 12 mesi) ed una a partire dal 1° Ottobre, indicato a livello internazionale come inizio dell'anno idrologico per l'emisfero settentrionale:

- ∞ **Pioggia Cumulata e sua anomalia:** rappresenta la pioggia cumulata in un determinato periodo di tempo (in mm); l'anomalia esprime il suo scostamento rispetto alla media climatologica (1995-2018) espresso sia in mm che come % del valore climatologico atteso.
- ∞ **Temperatura Media dell'aria e sua anomalia:** rappresenta la temperatura media (in °C) in un determinato periodo; l'anomalia esprime il suo scostamento in °C rispetto alla media climatologica (1995-2018).
- ∞ **Evapotraspirazione potenziale e sua anomalia:** rappresenta la quantità d'acqua evapotraspirata (in mm). L'evapotraspirazione qui considerata è quella potenziale, ovvero quella che si avrebbe da una superficie interamente coperta da una coltura ideale posta in condizioni di rifornimento idrico ottimale. In sostanza è funzione esclusiva dei fattori climatici (in primis temperatura e radiazione); il suo valore risulta generalmente maggiore della evapotraspirazione reale. La formula adottata per il calcolo è quella proposta da Jensen and Haise (1963). L'anomalia esprime il suo scostamento rispetto alla media climatologica (1995-2018) espresso sia in mm che come % rispetto al valore climatologico atteso.
- ∞ **Bilancio idrico semplificato e sua anomalia:** rappresenta la differenza (in mm) fra la precipitazione cumulata e l'evapotraspirazione

potenziale in un certo periodo (giorno, mese, ecc.); l'anomalia esprime il suo scostamento (in mm) rispetto alla media climatologica (1995-2018). Questo parametro, rispetto al solo dato di precipitazione, permette di meglio valutare l'acqua disponibile nel terreno, sebbene, essendo un bilancio semplificato, non tenga conto di eventuali perdite di acqua per scorrimento superficiale o per percolazione profonda.

- ∞ **SPI-Standardized Precipitation Index** (McKee et al., 1993): è un indice che permette di individuare periodi secchi e umidi su varie scale temporali mettendo in evidenza la siccità di tipo meteorologico, agricolo o idrologico, e la possibilità di confrontare luoghi geograficamente e climatologicamente diversi. Il confronto fra valori di breve, medio e lungo periodo (SPI disponibile da 1 a 12 mesi) può evitare eventuali errate interpretazioni relative alla durata di siccità prolungate che possono venire interrotte da periodi di temporanea normalità o surplus, com'è accaduto durante l'intenso evento del 2012.
- ∞ **SPEI-Standardized Precipitation Evapotraspiration Index** (Vicente-Serrano et al., 2012). Indice simile allo SPI, ma basato su un bilancio idrico semplificato in quanto calcolato introducendo anche il parametro evapotraspirazione. Lo SPEI è in grado di evidenziare lo stato della siccità influenzato sia dall'andamento della precipitazione che dalle variabili meteorologiche che influenzano l'evaporazione e la traspirazione.

## L'infrastruttura di dati spaziali per il monitoraggio e la gestione della risorsa idrica

L'infrastruttura dati spaziali (Figura 1) segue gli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC) e si basa su strumenti totalmente opensource sia per la parte di backend (archiviazione dati e realizzazione dei geoservizi) che per quella di frontend (visualizzazione online dei dati).

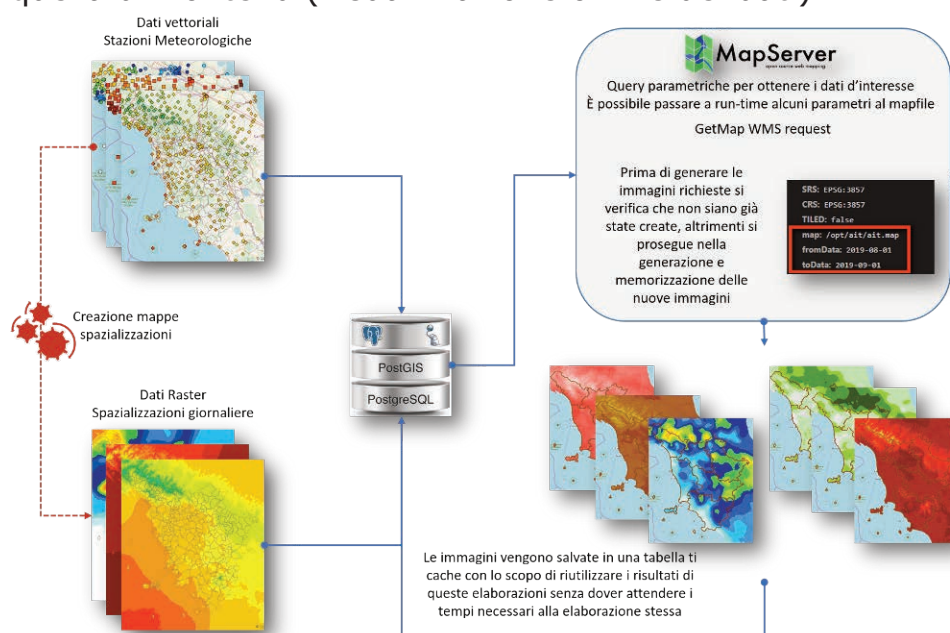


Figura 1 - Infrastruttura dati

In particolare, per l'archiviazione dei dati si è scelto di utilizzare il DBMS PostgreSQL con l'estensione spaziale PostGIS; per la condivisione dei dati sono stati utilizzati MapServer e Geoserver, mentre per la presentazione e

consultazione interattiva delle mappe la scelta è ricaduta sul framework MapStore2.

Per rendere più facile la gestione e la visualizzazione degli indici è stata implementata un'interfaccia utente che permette di elaborare i dati e di visualizzarli nella modalità ritenuta più utile a seconda delle esigenze.

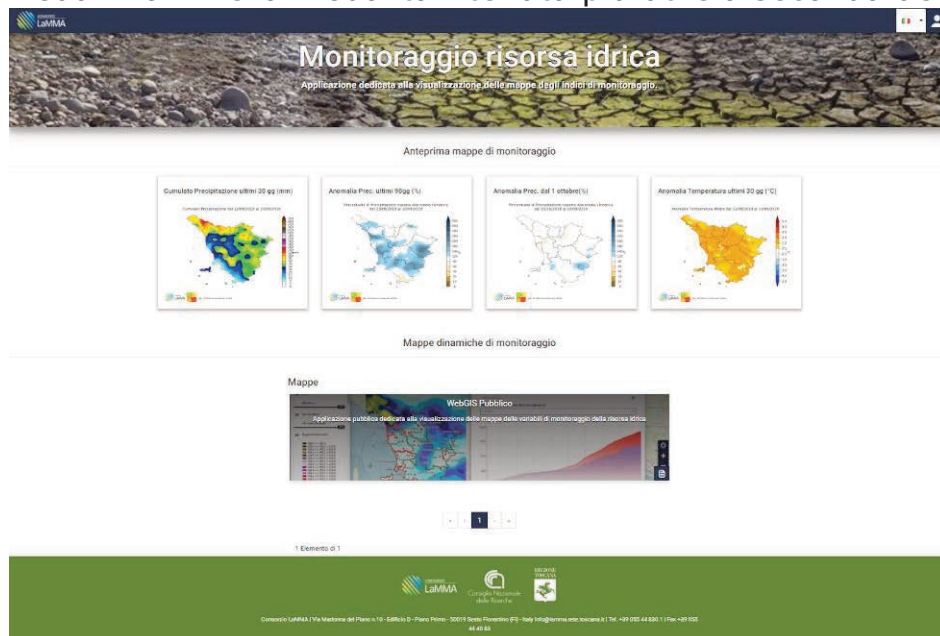


Figura 2 - Home page Monitoraggio risorsa idrica

progetto è quella decadale, al fine di velocizzare le interrogazioni e la visualizzazione dei dati. L'accesso ai dati è reso possibile tramite un portale, attualmente consultabile solo da parte del personale dell'Autorità Idrica Toscana, nella cui home page (Figura 2) sono presenti due sezioni: la prima dedicata alla visualizzazione di un'anteprima sullo stato termo-pluviometrico della regione;

la seconda di accesso al visualizzatore per la consultazione interattiva di tutte le mappe di monitoraggio e di altri dati ancillari.

In particolare, la prima sezione si compone delle seguenti mappe: cumulato di pioggia degli ultimi 30 gg (mm), l'anomalia di pioggia degli ultimi

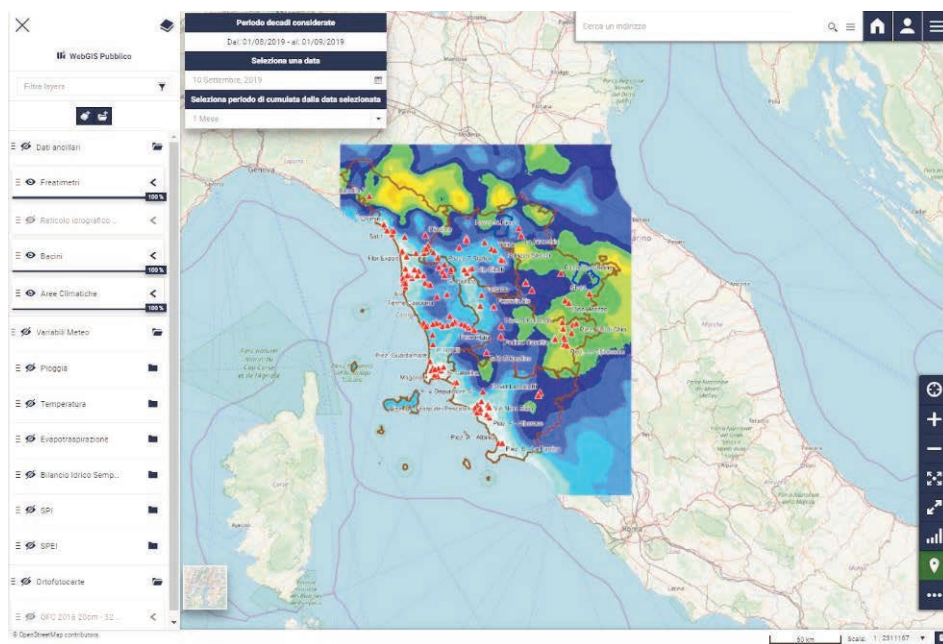


Figura 3 - Maps Viewer mappe di monitoraggio dinamiche

90 gg (% del valore climatologico atteso), l'anomalia di pioggia dal 1 ottobre

È infatti possibile interrogare il sistema su intervalli temporali direttamente definiti dall'utente e visualizzare i dati sotto forma di tabelle, grafici e mappe.

Sebbene le elaborazioni siano effettuate a partire da dati giornalieri, la risoluzione temporale utilizzata nel

(% del valore climatologico atteso) e l'anomalia di temperatura degli ultimi 30 gg (°C).

Il Maps Viewer (*figura 3*) è composto dalla TOC (Table Of Contents) che, tramite appositi tools, favorisce un'interazione ordinata e una ricerca semplice dei layers presenti nell'applicazione, ed alcuni tools utili per l'interazione diretta con la mappa (zoom, ricerca, stampa e aggiunta di dati sia vettoriali che raster). I layers sono suddivisi in due categorie: Variabili Meteo-Climatiche e Dati ancillari. Nella prima sono compresi tutti gli indici derivati dall'elaborazione dei parametri meteo indicati in precedenza nel paragrafo "I dati meteo misurati e loro elaborazioni". La seconda comprende invece dati quali freatimetri, reticolo idrografico, bacini (laghi di Bilancino e Montedoglio) e aree climatiche, che vanno ad integrare l'informazione degli indici meteo-climatici.

### Strumenti personalizzati per l'interazione con le mappe di monitoraggio

Per rispondere alle esigenze dell'AIT, oltre ai classici strumenti di interrogazione e navigazione sono stati implementati alcuni tools *ad hoc* che permettono un'interazione dedicata con le mappe.



The screenshot shows a user interface for selecting a period. It includes a dark blue header with the text "Periodo decadi considerate", a date range "Dal: 01/08/2019 - al: 01/09/2019", another dark blue header "Seleziona una data", a date selector showing "10 Settembre, 2019" with a calendar icon, a third dark blue header "Seleziona periodo di cumulata dalla data selezionata", and a dropdown menu currently set to "1 Mese".

A partire da una data preimpostata è possibile la selezione di una delle scale temporali su cui effettuare l'elaborazione della variabile meteo considerata (1-3-4-6-12 mesi e dal 1° Ottobre).

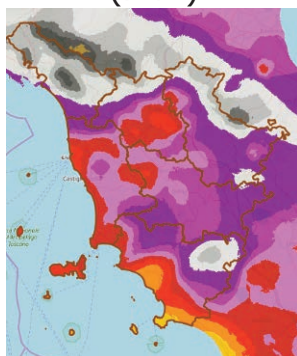
Una volta selezionata una data e una variabile meteo, l'utente ha la possibilità di scegliere tra i sei periodi di elaborazione del dato ottenendo così la relativa mappa. Considerando l'esempio di selezione riportato in *figura 4*, sebbene la

*Figura 4 - Selettore periodo di visualizzazione e range cumulata*

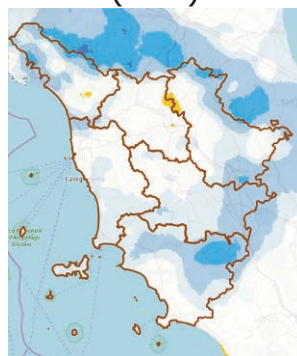
data di selezione sia il 10 settembre, l'applicazione visualizzerà le mappe con valori calcolati dal 1 agosto 2019 al 1 settembre 2019; questo a causa della risoluzione temporale decadale utilizzata (solo dal giorno 11 settembre avremo l'elaborazione sul periodo 10 agosto 2019 al 10 settembre 2019).

In *Figura 5* un esempio di output delle mappe di pioggia su base semestrale.

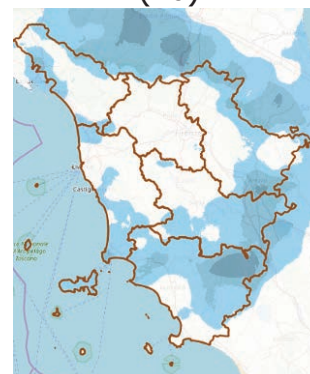
Pioggia Cumulata (mm)



Pioggia Anomalia (mm)

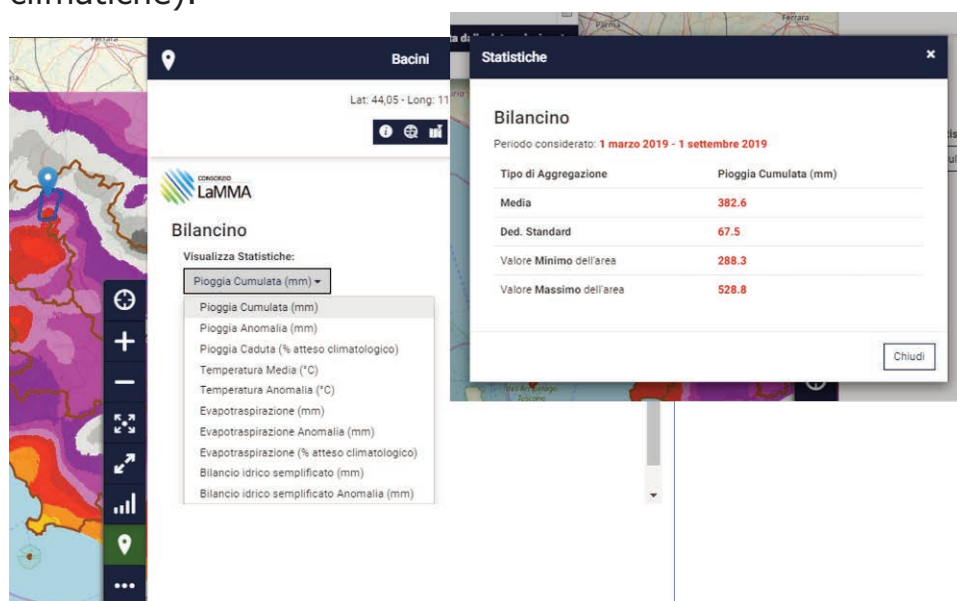


Pioggia Anomalia (%)



*Figura 5 – Pioggia cumulata su base semestrale e anomalie relative*

È anche possibile, per ciascun indice e per gli intervalli temporali visti al precedente punto, effettuare delle statistiche di base, calcolate su ben definite aree di interesse (attualmente i due bacini di Bilancino e Montedoglio e le aree climatiche).



Nell'esempio in figura 6 è possibile vedere i tipi di aggregazione Media, Deviazione Standard, Valore Minimo dell'area e Valore Massimo dell'area per la variabile Pioggia Cumulata, per il Bacino di Bilancino per il periodo 1 Marzo

Figura 6 - Visualizzazione aggregazioni 2019 – 1 settembre 2019.

Grazie ad un tool di visualizzazione di grafici, è possibile analizzare l'andamento temporale di una variabile nel periodo selezionato, in uno specifico punto della mappa (Figura 7).

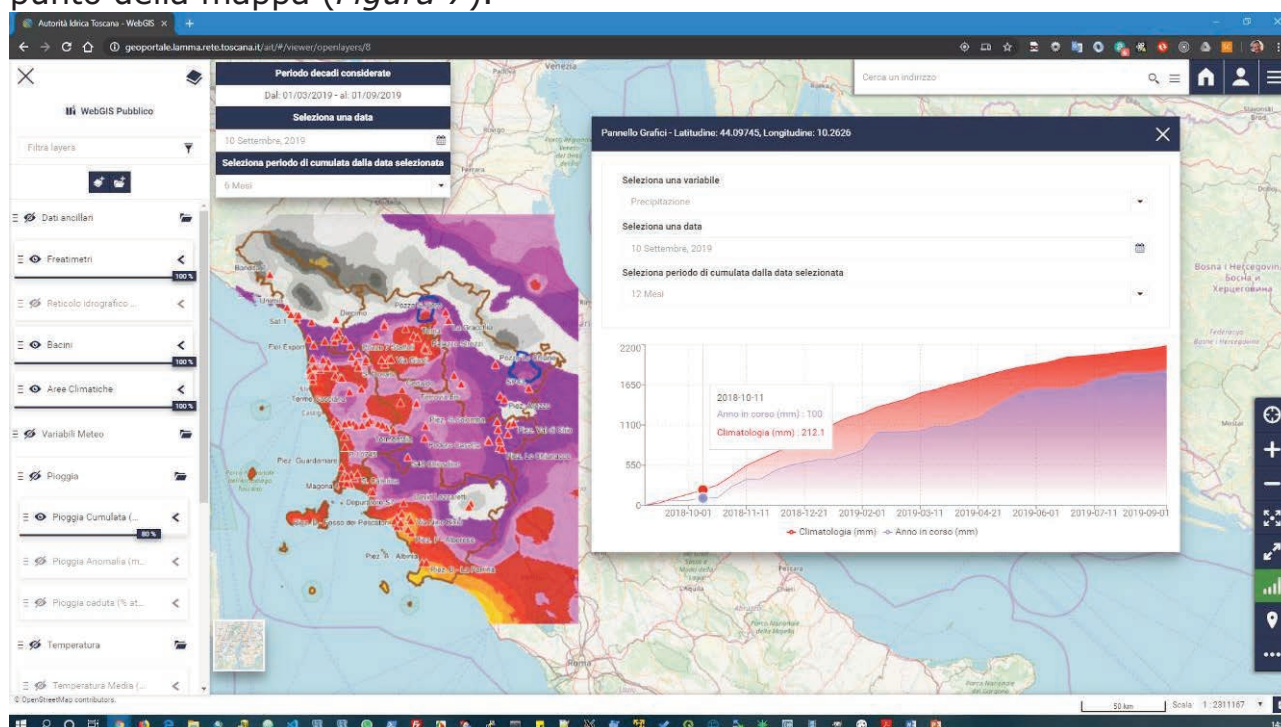


Figura 7 - Grafico dell'andamento semestrale della pioggia cumulata a confronto con il valore climatologico

Le mappe di monitoraggio su cui è possibile generare il grafico sono la Pioggia, la Temperatura, l'Evapotraspirazione e il Bilancio Idrico.

## Conclusioni

Nella prosecuzione del progetto, oltre ad apportare ulteriori miglioramenti nella visualizzazione dei grafici e nel download di dati e immagini (utili all'utente nella realizzazione di bollettini e report), si prevede di aggiungere all'analisi in tempo reale della situazione meteorologica la creazione di 3 scenari climatologici per i successivi 90 giorni. Tali scenari saranno costruiti tramite una analisi climatica effettuata sull'archivio storico dei dati. Per alcune aree di interesse verranno individuati due scenari estremi (10° e 90° percentile della serie climatica; molto secco e molto umido) e uno medio (intorno al 50° percentile). L'utente potrà utilizzare queste informazioni per capire come potrà evolvere la situazione se si dovessero verificare condizioni climatiche medie o eccezionali nei prossimi 90 giorni.

## Riferimenti bibliografici

- R. Magno, T. De Filippis, E. Di Giuseppe, M. Pasqui, L. Rocchi, B. Gozzini. (2018). "Semi-automatic Operational Service for Drought Monitoring and Forecasting in the Tuscany Region". *Geosciences*. 8(2), 48: 1-25. doi: 10.3390/geosciences8020049.
- R. Magno, L. Angeli, M. Chiesi, L. Fibbi, R. Mari, F. Maselli, B. Gozzini (2017), "Stima dell'evapotraspirazione reale come supporto operativo per la gestione della water scarcity" *Atti 21° Conferenza Nazionale ASITA*, 21-23 novembre 2017, Salerno. ISBN 978-88-941232-8-9 – pag. 721-726
- R. Magno, L. Angeli, M. Chiesi, M. Pasqui (2014). "Prototype of a drought monitoring and forecasting system for the Tuscany region". *Advances in Science & Research* (13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM)). 11: 7-10. doi: 10.5194/asr-11-7-2014.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camerero, J. J., Lopez-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., Revuelto, J., Moran-Tejeda, E., Sanchez-Lorenzo, A. (2012) Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications [Earth Interactions](#) 16(10):1-27
- Lorenzo Bottai, Tiziana De Filippis, Riccardo Mari, Leandro Rocchi (2010), "Servizi WebGis per lo sviluppo sostenibile: la condivisione dell'informazione meteorologica ed ambientale in Toscana" *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA – Brescia* 9-12 novembre 2010. Pag. 363-368
- Guttman, N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 35 (2), 311-322.
- Thornton, P. E., Running, S. W., White M. A. (1997), Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. *Journal of Hydrology* 190 214-251.
- McKee T.B., Doesken N. J., Kliest J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184.
- Jensen, M.E., Haise, H.R. (1963). "Estimating evapotranspiration from solar radiation", *Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE*, 89, 15-41.