POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Dinamica della soggiacenza della falda superficiale piemontese in relazione alle precipitazioni

*Original*
Dinamica della soggiacenza della falda superficiale piemontese in relazione alle precipitazioni / Ducco, E., Butera, I., Tamea, S.. - ELETTRONICO. - (2024), pp. 673-676. (XXXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2024 Parma 15-18 Settembre 2024) [10.5281/zenodo.13584918].

*Availability:*
This version is available at: 11583/2993688 since: 2024-10-25T12:08:04Z

*Publisher:*
Dipartimento di Ingegneria e Architettura Università di Parma

*Published*
DOI:10.5281/zenodo.13584918

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

13 October 2026

# DINAMICA DELLA SOGGIACENZA DELLA FALDA SUPERFICIALE PIEMONTESE IN RELAZIONE ALLE PRECIPITAZIONI

***Edoardo Ducco [1], Ilaria Butera [1], Stefania Tamea [1]***

*(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture – DIATI, Politecnico di Torino*

***ASPETTI CHIAVE:***

- *I trend delle soggiacenze mostrano un abbassamento del livello di falda nella pianura Piemontese.*
- *L'innalzamento del livello di falda è maggiormente correlato alle precipitazioni del mese precedente.*
- *Il livello di falda è sensibile alle cumulate di precipitazioni precedenti fino a 3-6 mesi.*

## 1 INTRODUZIONE

Precipitazioni e acque sotterranee giocano due ruoli fondamentali nel ciclo idrologico. Le acque sotterranee rappresentano una importante fonte di acqua potabile e una risorsa cruciale per l'industria e l'agricoltura. Le precipitazioni sono l'elemento primario del ciclo idrologico ed un loro cambiamento può influenzare fortemente le componenti successive del ciclo. Specialmente durante un periodo di siccità meteorologica, le acque sotterranee sono una risorsa necessaria per fronteggiare la scarsità di acqua. L'incremento dell'uso della risorsa sotterranea, per soddisfare la domanda idrica in periodi siccitosi, ha evidenziato l'assenza di una strategia adatta alla gestione dell'acqua di falda (*Mishra et al.*, 2010; *VanLoon et al.*, 2015). Capire la connessione e la relazione tra precipitazioni e acque sotterranee è un passo essenziale per una efficace gestione della stessa risorsa. La soggiacenza delle acque sotterranee è influenzata da diversi fattori, ad esempio la ricarica da precipitazioni, la vicinanza a corpi idrici superficiali e attività di estrazioni antropiche da pozzi (*Khan et al.*, 2007; *Shapoori et al.*, 2015). In relazione con la precipitazione, la falda si comporta come un filtro, causando un ritardo nella risposta della falda alla precipitazione (*Delbart et al.*, 2014). L'effetto della precipitazione sul livello piezometrico dipende, inoltre, non solo dall'intensità dell'evento di precipitazione, ma anche dal livello piezometrico precedente all'evento, che influenza la capacità di contenimento della falda (*Khan et al.*, 2007). Anche il cambiamento climatico minaccia la disponibilità delle acque sotterranee: un'alterazione negli andamenti delle precipitazioni impatta la ricarica delle falde (*Taylor et al*., 2013; *Brussolo et al.*, 2022).

Questo studio si pone l'obbiettivo di identificare, a partire dalle serie temporali delle precipitazioni e della soggiacenza dell'acquifero freatico della pianura piemontese, il trend della soggiacenza e successivamente la correlazione tra soggiacenza e precipitazioni, per identificare le caratteristiche della risposta della falda superficiale alle precipitazioni. L'area di riferimento riguarda la pianura piemontese, circa 6850 $km^2$, caratterizzata dalla presenza del bacino del Po e conseguentemente notevolmente influenzata dalla presenza di infrastrutture e derivazioni irrigue per uso agricolo. In quest'area la permeabilità della zona non satura è prevalentemente tra $10^{-3}$-$10^{-5}$ m/s, arrivando a $10^{-7}$ m/s in alcune zone. Negli ultimi anni, la relazione tra precipitazioni e livello piezometrico in quest'area è stata oggetto di diversi studi (*Lasagna et al.*, 2020; *Mancini et al.*, 2022; *Egidio et al.*, 2022) che hanno considerato serie temporali di durata minore o aree di estensione inferiore a quelle qui considerate.

## 2 MATERIALI E METODI

### 2.1 Dati

Dati spaziali e temporali, con frequenza giornaliera, di soggiacenza della falda relativi a 125 piezometri sono resi disponibili da ARPA Piemonte attraverso il portale delle acque (*ARPA Piemonte*). Le lunghezze delle serie possono variare tra i 18-22 anni, a seconda del piezometro considerato, con le misure più recenti riferite ad agosto 2023. Serie giornaliere di precipitazioni, con ultimo aggiornamento marzo 2023, sono state recuperate dal North Western Italy Optimal Interpolation, gestita da ARPA (*ARPA Piemonte*). I dati sono distribuiti su una griglia di 480 celle, sull'area di longitudine 6.5°-9.5° W e latitudine 44°-46.5°, con risoluzione 0.125°. I dati giornalieri di soggiacenza e precipitazione sono convertiti in serie temporali con

frequenza mensile, dove per la soggiacenza viene calcolato il valore medio mensile mentre per la precipitazione la cumulata mensile. A causa della presenza di valori mancanti nella serie della soggiacenza, viene applicata una cubic spline interpolation per un intervallo di valori mancanti inferiore a 6 mesi (*Meggiorin et al.*, 2023). Dopo l'interpolazione, 106 piezometri sono caratterizzati da un'adeguata quantità di dati per proseguire le analisi.

### 2.2 Analisi trend

In questo studio, per identificare trend statisticamente significativi è stato utilizzato il test non parametrico di Mann-Kendall sulla serie temporale della soggiacenza e delle precipitazioni, con significatività pari al 95%. Per stimare l'intensità del trend, la pendenza viene calcolata utilizzando il metodo Theil-Sen. La procedura per il calcolo del trend è stata svolta su Python, utilizzando la libreria "pyMannKendall – original_test" (*Hussain et al.*, 2019). Il test di Mann-Kendall e il metodo Theil-Sen sono stati utilizzati in svariati studi precedenti.

### 2.3 Correlazione precipitazioni - soggiacenza

Per analizzare la relazione tra precipitazione e soggiacenza, ad ogni piezometro è stato associato il punto grigliato NWIOI più vicino contenuto all'interno dello stesso corpo idrico sotterraneo, utilizzando il metodo dei poligoni di Thiessen. Dalla serie temporale della soggiacenza è stato rimosso il trend, con l'obbiettivo di esaminare l'influenza delle precipitazioni sulle deviazioni dalla tendenza della soggiacenza. L'esame della risposta della soggiacenza alle precipitazioni è stato eseguito attraverso il calcolo della correlazione delle serie di precipitazioni e soggiacenza per diversi ritardi. Il ritardo ottimale della risposta corrisponde al valore di correlazione maggiore, in questa analisi è pari a 1 mese nel 52% dei piezometri. Individuato il ritardo di risposta ottimale si è proceduto a calcolare la correlazione della soggiacenza con intervalli temporali di precipitazioni cumulate precedenti da 1 a 6 mesi, considerando 1 mese di ritardo (es: a 3 mesi, la soggiacenza media del mese di Agosto viene correlata alle precipitazioni di Luglio-Giugno-Maggio).

## 3 RISULTATI E DISCUSSIONI

### 3.1 Risultati analisi dei trend

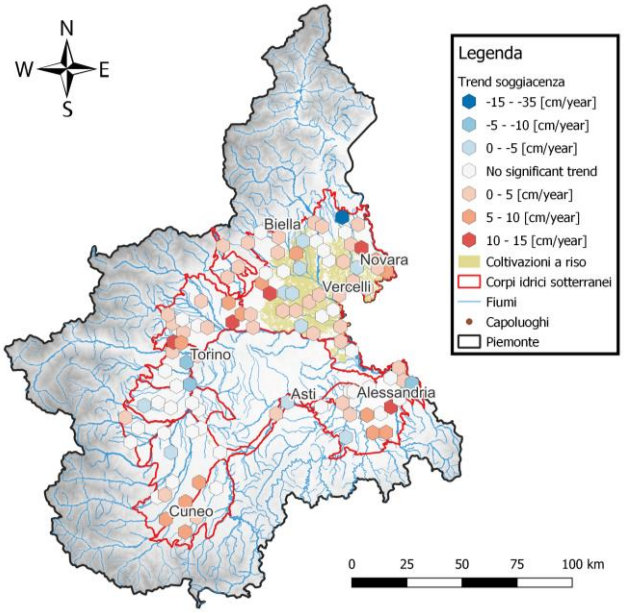


**Figura 1.** Rappresentazione spaziale del trend delle soggiacenze nel periodo 2002-2023

L'analisi dei trend è stata utilizzata per valutare l'andamento della soggiacenza di 106 piezometri presenti nella pianura piemontese, utilizzando dati mensili di soggiacenza per un periodo pari a 21 anni (2002-2023). In Figura 1 viene rappresentata la distribuzione spaziale del valore del trend della soggiacenza per ogni piezometro, dove un trend positivo/negativo di soggiacenza corrisponde ad un abbassamento/innalzamento del

livello piezometrico. L'analisi rileva che metà dei piezometri esibisce un trend positivo, con un massimo incremento di 15 [cm/year] nella soggiacenza. Il 13% dei piezometri esibisce un trend negativo con un massimo decremento di 32 [cm/year]. Il restante 40% dei piezometri non mostra trend significativi della soggiacenza sul periodo scelto. I piezometri non sembrano mostrare una distribuzione spaziale organizzata dei trend a scala di corpo idrico sotterraneo, esibendo alta variabilità nel segno e nell'intensità del trend. Questo aspetto trova riscontro in uno studio precedente (*Egidio et al.*, 2022) riguardante una zona della pianura Vercellese-Novarese ed era stato identificato nel land-use il motivo di tale variabilità. A livello regionale si può notare invece come i trend positivi appaiano più raggruppati, mentre i trend negativi sono isolati. La pianura cuneese, la pianura alessandrina e quella del canavese sono i territori più interessati dai trend positivi nelle soggiacenze. In merito alle precipitazioni, l'analisi dei trend ha dimostrato che non ci sono trend significativi nel periodo in esame.

I risultati ottenuti dall'analisi dei trend sono stati confrontati con i prodotti di due studi precedenti, che hanno investigato il livello piezometrico negli acquiferi superficiali nella pianura piemontese. Entrambi i lavori considerano un periodo di 15 anni (2002-2017), che termina 6 anni prima di quello esaminato nel presente studio. Il primo lavoro (*Regione Piemonte*, 2018) canalizza il livello piezometrico su 67 piezometri compresi tra quelli considerati nel presente studio, riportando 22 trend negativi, 20 stazionari e 25 positivi. L'altro studio (*Mancini et al.*, 2022) utilizza 37 piezometri e identifica 7 trend positivi, 6 negativi e 24 stazionari. Rispetto al report di Regione Piemonte, il presente studio mostra che negli ultimi 6 anni, un terzo dei piezometri che mostravano livelli stazionari ora sono caratterizzati da trend negativi. Circa il 30% dei piezometri che mostravano un trend piezometrici positivi nel periodo 2002-2017, ora indicano un trend negativo e circa la metà sono diventati stazionari. Rispetto al periodo 2002-2017, nessun trend piezometrico negativo diventa positivo e solo il 20% cambia in stazionario. Dal confronto un generale spostamento verso trend piezometrici negativi viene osservato nella pianura piemontese, con occasionali inversioni di trend da positivo a negativo.

### 3.2 Correlazione tra precipitazioni precedenti e soggiacenza

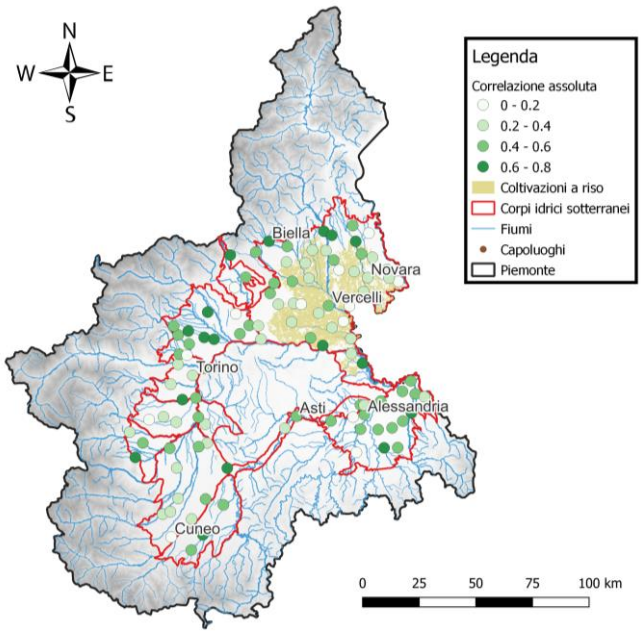


**Figura 2**. Rappresentazione spaziale del valore assoluto della correlazione tra soggiacenza depurata del trend e precipitazione cumulata nei 3 mesi precedenti.

Un'analisi delle correlazioni tra precipitazioni, a diversi intervalli temporali, e soggiacenza depurata del trend, è stata applicata per identificare la cumulata di precipitazione più impattante sulla falda superficiale. Dall'analisi risulta che si ottengono correlazioni (in valore assoluto) maggiori all'aumentare dell'intervallo di precipitazioni (mesi precedenti considerati). In Figura 2 viene rappresentata la distribuzione spaziale del valore di correlazione tra precipitazioni e soggiacenza per ogni piezometro. In 10 casi è stata trovata una scarsa correlazione inferiore, in valore assoluto, a 0.2, di cui 5 piezometri sono caratterizzati da una soggiacenza

elevata (da 20 a 47 metri), 4 si trovano nell'area dedicata alla coltivazione risicola. Il 17% dei 106 piezometri ha una correlazione maggiore di 0.6 in valore assoluto e si tratta principalmente di casi lontani da canali artificiali o elementi antropici. Valori assoluti alti della correlazione si trovano principalmente in due casi: 1) soggiacenza minima (da 1 a 3 m); 2) in prossimità di corpi idrici superficiali.

Considerando cumulate di precipitazione ad intervalli più lunghi, alcuni piezometri mostrano correlazioni in diminuzione, specialmente nell'area dedicata alle coltivazioni risicole dove si hanno valori maggiori con un intervallo di tre mesi, rispetto a 6 mesi o ad 1 mese. In quest'area le soggiacenze dei singoli piezometri sono interessate dall'irrigazione e dal trasporto dell'acqua tramite il sistema di canali. Dall'esame delle serie temporali di soggiacenza si può notare come durante il periodo irriguo il livello della falda non sia interessato dalle precipitazioni.

## 4 CONCLUSIONI

L'analisi dei trend di soggiacenza e di precipitazione sul periodo 2002-2023 ha mostrato trend non significativi per le precipitazioni ed ha evidenziato per la soggiacenza situazioni diverse anche all'interno dello stesso corpo sotterraneo, esibendo sia trend positivi, negativi o non significativi. È stato possibile notare, rispetto a precedenti analisi (*Mancini et al.*, 2022; *Regione Piemonte*, 2018), un incremento di trend piezometrici negativi nel periodo 2017-2023. Si è inoltre potuto notare che il comportamento della soggiacenza è in generale fortemente correlato alle piogge dei 3-6 mesi precedenti, specialmente se la falda ha una soggiacenza minima (da 1 a 3 m) e in zone vicino a corpi idrici superficiali. Inoltre, è stato messo in luce che nella zona dedicata alla coltivazione risicola, le correlazioni con le precipitazioni precedenti siano scarse, principalmente dovuto al periodo irriguo e conseguente allagamento delle risaie. Le attuali ricerche in corso sono focalizzate sull'introduzione dello Standardized Precipitation Index e Standardized Groundwater Index nella pianura piemontese e a migliorare la comprensione della relazione tra uso del suolo, precipitazioni e soggiacenza. In questo modo sarà possibile raggiungere una descrizione più completa del comportamento della falda superficiale nell'ottica di migliorare la gestione della risorsa sotterranea nell'area di studio. Infine, l'analisi della dinamica della risposta dei livelli piezometrici alle precipitazioni potrà essere oggetto di future ricerche per la caratterizzazione degli acquiferi.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI


ARPA Piemonte, Confronti storici – Dati (accesso 01/03/2023).

ARPA Piemonte, Geoportale ARPA Piemonte (accesso 01/03/2023).

Brussolo, E., Palazzi, E., von Hardenberg, J., Masetti, G., Vivaldo, G., Previati, M., ... & Ferraris, S. Aquifer recharge in the Piedmont Alpine zone: historical trends and future scenarios. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2021, 1-33.

Delbart, C., Valdes, D., Barbecot, F., Tognelli, A., Richon, P., & Couchoux, L. Temporal variability of karst aquifer response time established by the sliding-windows cross-correlation method. Journal of Hydrology, 2014, 511, 580-588.

Khan, H. H., Khan, A., Ahmed, S., & Perrin, J. GIS-based impact assessment of land-use changes on groundwater quality: study from a rapidly urbanizing region of South India. Environmental Earth Sciences, 2011, 63, 1289-1302.

Hussain, M., & Mahmud, I. pyMannKendall: a python package for non-parametric Mann Kendall family of trend tests. Journal of open source software, 2019, 4(39), 1556.

Egidio, E., Lasagna, M., Mancini, S., & De Luca, D. Climate impact assessment to the groundwater levels based on long time-series analysis in a paddy field area (Piedmont region, NW Italy): preliminary results. ACQUE SOTTERRANEE, 2022, 11(3), 21-29.

Lasagna, M., Mancini, S., & De Luca, D. A. Groundwater hydrodynamic behaviours based on water table levels to identify natural and anthropic controlling factors in the Piedmont Plain (Italy). Science of the Total Environment, 2020, 716, 137051.

Mancini, S., Egidio, E., De Luca, D. A., & Lasagna, M. Application and comparison of different statistical methods for the analysis of groundwater levels over time: Response to rainfall and resource evolution in the Piedmont Plain (NW Italy). Science of The Total Environment, 2022, 846, 157479.

Meggiorin, M., Passadore, G., Bertoldo, S., Sottani, A., & Rinaldo, A. Comparison of Three Imputation Methods for Groundwater Level Timeseries. Water, 2023, 15(4), 801.

Mishra, A. K., & Singh, V. P. A review of drought concepts. Journal of hydrology, 2010, 391(1-2), 202-216.

Regione Piemonte, Piano di Tutela delle Acque – Allegato 3B, 2018.

Shapoori, V., Peterson, T. J., Western, A. W., & Costelloe, J. F. Top-down groundwater hydrograph time-series modeling for climate-pumping decomposition. Hydrogeology Journal, 2015, 23(4), 819.

Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., ... & Treidel, H. Ground water and climate change. Nature climate change, 2013, 3(4), 322-329.

Van Loon, A. F. Hydrological drought explained. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2015, 2(4), 359-392.