

# DINAMICHE DI RICARICA NELLA CONOIDE DEL TREBBIA

ANALIZZARE LE SERIE TEMPORALI DEI LIVELLI PIEZOMETRICI DELLE ACQUE SOTTERRANEE E DEI LIVELLI DEI CORSI D'ACQUA PERMETTE DI OTTENERE INDICAZIONI PRELIMINARI IN MERITO ALLE DINAMICHE DI RICARICA NATURALE DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI IN PARTICOLARI CONTESTI TERRITORIALI. LO STUDIO SULLA CONOIDE DEL TREBBIA NEL PIACENTINO.

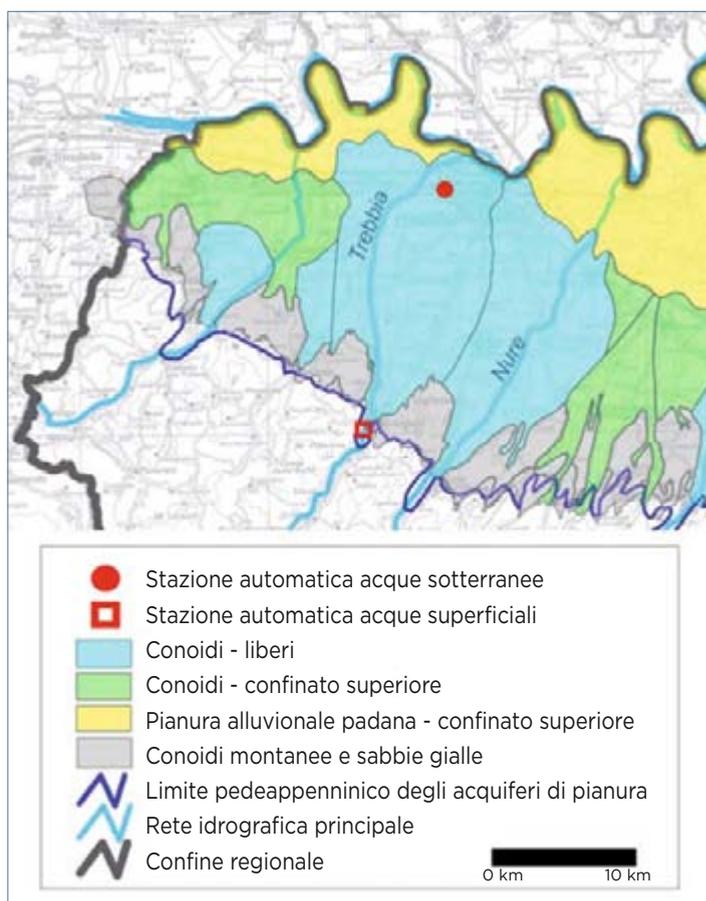
**L**e manifestazioni più evidenti di interazione quantitativa tra acque sotterranee e acque superficiali sono localizzate, in generale, nelle porzioni montane del territorio e nell'alta pianura. Nel primo caso, le acque sorgive alimentano i corsi d'acqua in percentuali anche significative rispetto le acque di ruscellamento superficiale; nel secondo caso, i corpi idrici sotterranei si ricaricano grazie all'infiltrazione di acque meteoriche e superficiali, corsi d'acqua e/o canali. Quest'ultimo fenomeno risulta evidente in Emilia-Romagna in prossimità delle porzioni di acquifero libero (freatico) delle conoidi alluvionali appenniniche (Regione Emilia-Romagna, 2005). Ci si riferisce, in particolare, alle porzioni prossimali delle conoidi, vicine al margine appenninico e costituite da depositi altamente permeabili che si estendono fino ad alcune centinaia di metri nel sottosuolo. Le conoidi prossimali sono sede di un acquifero freatico (monostrato) ricaricato direttamente da apporti pluviometrici e fluviali. Ciò le distingue dalle porzioni più distali, in cui gli acquiferi sono confinati e multistrato e quindi non connessi direttamente alla superficie. In questo caso la ricarica è di tipo indiretto, generalmente derivante dalla porzione prossimale di conoide (corpo idrico libero di conoide. Regione Emilia-Romagna, 2010).

## La capacità di ricarica come indicatore dello stato quantitativo delle acque sotterranee

La capacità di rinnovamento delle acque sotterranee nelle conoidi alluvionali, oltre alla loro qualità mediamente buona (Ferri e Marcaccio, 2013), determina per questi corpi idrici sotterranei un ruolo importante nella gestione delle risorse idriche dell'Emilia-Romagna, rappresentando la principale fonte per



FOTO: MOCIVEGLIA - FLICKR, CC



Area di studio con delimitazione della conoide alluvionale del fiume Trebbia e ubicazione delle stazioni di monitoraggio delle acque sotterranee e superficiali; Emilia-Romagna, Piacenza.

l'approvvigionamento idropotabile, oltre che sostegno per le attività industriali e agricole.

La somma degli effetti prodotti dal regime di ricarica naturale delle acque sotterranee (che dipende a sua volta dal clima) e dai prelievi da falda, determinano sul lungo periodo lo stato quantitativo di ciascun corpo idrico sotterraneo. Secondo la direttiva 2000/60/CE, recepita in ambito nazionale dal Dlgs 30/2009, tale stato deve risultare "buono" entro l'anno 2015 e, successivamente, entro la fine di ogni ciclo sessennale di gestione.

In altre parole, il *buono stato quantitativo delle acque sotterranee* si verifica quando la tendenza del livello, sul lungo periodo, non evidenzia riduzioni significative della quantità disponibile/rinnovabile di risorsa, riconducibili al modificato regime di ricarica naturale o ai prelievi. Pertanto risulta essenziale analizzare, oltre al regime dei prelievi, la dinamica di ricarica naturale a cui ciascun corpo idrico sotterraneo è soggetto, tenendo conto anche degli effetti prodotti dai mutamenti climatici in atto (figura 1). Nella zona delle conoidi è particolarmente significativo investigare la variazione del livello della falda freatica nel tempo, rispetto all'apporto idrico dei corsi d'acqua superficiali attraverso l'analisi delle serie temporali di dati piezometrici e idrometrici.

## Il controllo e il monitoraggio della ricarica sulla conoide del Trebbia

Di seguito si riporta lo studio condotto sulla conoide alluvionale del fiume Trebbia caratterizzata, su scala regionale, dalla maggiore estensione della porzione di acquifero libero; tale conoide è anche la maggiore, in termini di dimensione, tra quelle presenti in provincia di Piacenza. I principali centri abitati a insistere sull'acquifero libero sono i Comuni di Podenzano e Piacenza e, nell'intorno di quest'ultimo, si concentrano i maggiori prelievi acquedottistici. Risultano comunque presenti prelievi diffusi di tipo irriguo e industriale. La conoide è sottoposta a monitoraggio qualitativo nell'ambito del monitoraggio regionale delle acque sotterranee che prevede periodiche campagne di misura e campionamento manuale; in alcune stazioni è attivo anche un monitoraggio automatico della piezometria. La rete di monitoraggio automatico delle acque sotterranee è stata installata da Arpa Emilia-Romagna nel corso del biennio 2007-2008 su 40 stazioni

FIG. 2  
CONOIDE  
ALLUVIONALE  
FIUME TREBBIA (PC)

Serie temporali di livello idrometrico e piezometrico misurate rispettivamente presso la stazione idrometrica di Rivergaro e presso la stazione automatica della piezometria PC56-03, nel triennio 2012-2014.

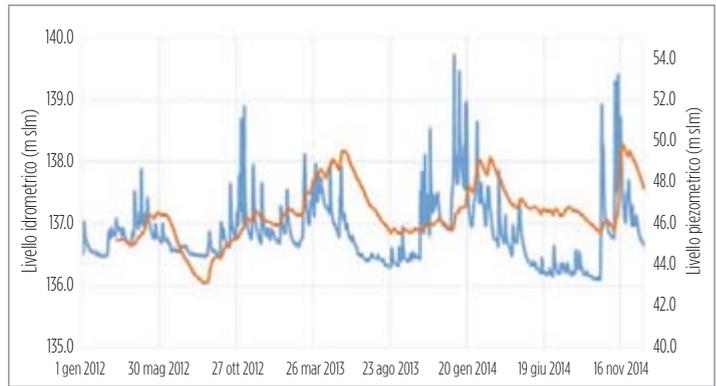
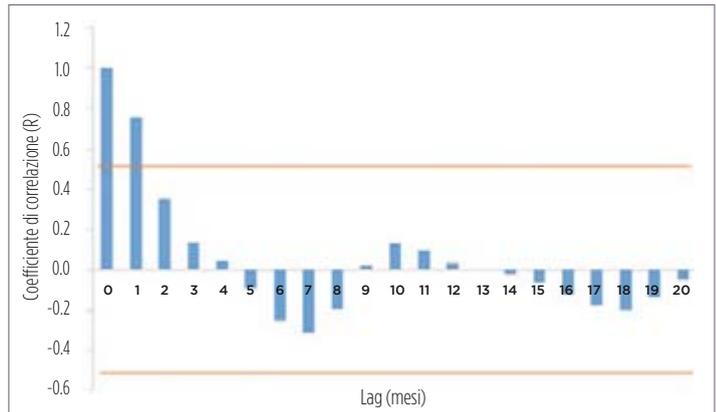


FIG. 3  
CONOIDE  
ALLUVIONALE  
FIUME TREBBIA (PC)

Correlogramma riferito alla serie temporale stazionaria di livello piezometrico medio mensile con bande di confidenza al 95%.



significative in cui sonde automatiche misurano, con frequenza oraria, livello (piezometria), temperatura e, in alcuni casi, conducibilità elettrica. Il monitoraggio automatico permette di caratterizzare in dettaglio i periodi di massimo e minimo livello piezometrico nell'anno idrologico; in genere, tali periodi non vengono rappresentati in modo completo dalle sole misure manuali, specie in contesti caratterizzati da elevata variabilità climatica. Inoltre, le stazioni automatiche riescono a registrare gli effetti di *fenomeni ad alta frequenza* (Marcaccio e Martinelli, 2012) e delle *crisi idriche* durante i periodi estivi (Marcaccio, 2011). I dati automatici di piezometria utilizzati in questo studio sono relativi alla stazione PC56-03, ubicata in comune di Piacenza nella porzione libera di conoide.

La stazione di monitoraggio del livello idrometrico del fiume Trebbia (monitoraggio idrometeorologico regionale, ArpaER), ritenuta più significativa, è ubicata a Rivergaro, circa 18 km a monte rispetto la stazione PC56-03.

L'analisi delle due serie temporali a frequenza giornaliera, nel periodo 2012-2014, evidenzia un ritardo nella variazione del livello piezometrico, che costituisce la risposta del sistema idrico sotterraneo (variabile dipendente), rispetto alle variazioni del livello idrometrico, che nel processo di ricarica

naturale rappresenta la sollecitazione (variabile indipendente) (figura 2). Il modello ARDL (*Auto-Regressive Distributed Lag*), che si basa sulla teoria dei modelli ARMA (*Auto-Regressive Moving Average*; Box and Jenkins, 1976), ampiamente impiegati in campo idrologico, è stato applicato ai valori idrometrici e piezometrici medi mensili per rapportare il valore attuale del livello piezometrico ai suoi valori pregressi (componente auto-regressiva del modello) e a un certo numero di valori antecedenti di livello idrometrico. Tale analisi consente di individuare l'arco temporale, espresso in mensilità pregresse (ordine della componente auto-regressiva), necessario per stimare il valore attuale della variabile dipendente (piezometria): nel caso in esame, fornisce un'indicazione in merito alla persistenza associata al livello piezometrico a fronte dell'avvenuta sollecitazione esterna espressa in termini di livello idrometrico. Per determinare tale ordine si ricorre al correlogramma della serie di dati piezometrici (figura 3), dove risulta ragionevole ritenere significativa la correlazione fra due valori medi mensili di livello piezometrico se verificatisi con uno sfasamento temporale (*lag*) non superiore ai 3 mesi. In realtà, le bande di confidenza mostrano come solo la correlazione fra due valori successivi ( $lag = 1$  mese) sia realmente significativa; ciò denota una memoria/inerzia del sistema idrico sotterraneo relativamente breve.

Il numero di valori antecedenti della variabile indipendente, che influenzano il valore attuale della variabile dipendente, suggerisce, invece, l'effetto di ritardo che intercorre fra la sollecitazione idrometrica e la risposta dell'acquifero in termini di variazione della superficie freatica. Seguendo un criterio di selezione dei modelli basato sulla massima verosimiglianza, si è stimato che, in termini di livelli medi mensili, il dato piezometrico risente del valore idrometrico verificatosi nel mese corrente di osservazione e in quello precedente. Ciò dimostra che la superficie freatica è in grado di rispondere con un certo dinamismo alle variazioni di ricarica naturale; tale comportamento può considerarsi tipico di acquiferi non confinati della zona delle conoidi. La serie piezometrica stazionarizzata è confrontata con le previsioni, ottenute col modello ARDL, nel caso in cui (a) l'80% e (b) il 65% delle osservazioni sia stato impiegato per la calibrazione del modello (figura 4).

In entrambi i casi le restanti osservazioni sono state utilizzate a scopo di validazione. Si può osservare che i punti si raggruppano attorno alla retta di regressione caratterizzata da una pendenza prossima all'unità. Tali risultati attestano la robustezza del modello e la bontà della previsione fornita. Per il caso (a), le serie piezometriche a scala media mensile, osservata e prevista, sono rappresentate in figura 5.

Questo tipo di analisi può essere estesa a ulteriori corpi idrici sotterranei e fornisce indicazioni preliminari per comprendere le dinamiche di ricarica naturale, l'inerzia dei sistemi idrici e la potenziale vulnerabilità dei diversi acquiferi dal punto di vista quantitativo.

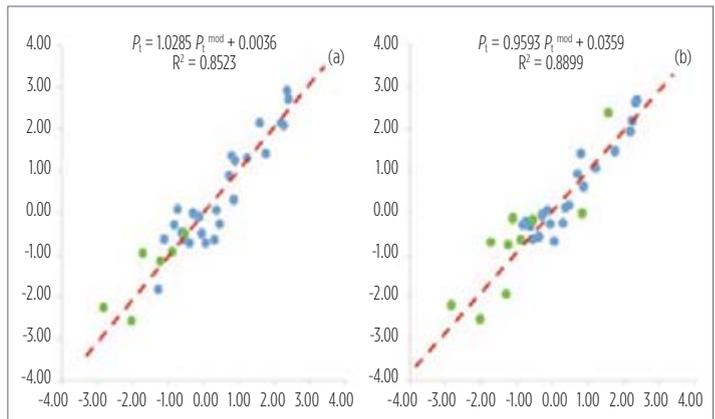
**Ilaria Lauriola<sup>1</sup>, Valentina Ciriello<sup>1</sup>, Marco Marcaccio<sup>2</sup>**

1. Dipartimento di Ingegneria civile, chimica, ambientale e dei materiali, Università di Bologna

2. Direzione tecnica, Arpa Emilia-Romagna

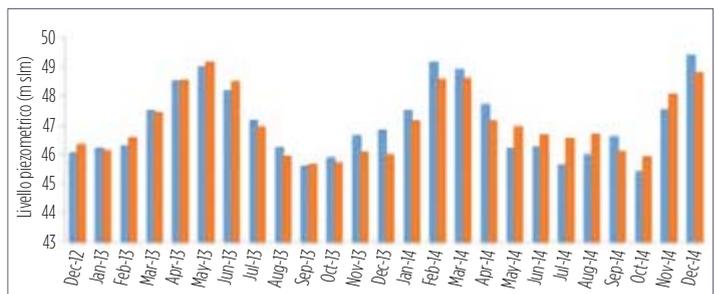
**FIG. 4**  
CONOIDE  
ALLUVIONALE  
FIUME TREBBIA (PC)

Confronto fra i livelli piezometrici medi mensili ricavati dai dati di monitoraggio ( $P_t$ ) e i corrispondenti valori ottenuti tramite modello ARDL ( $P_t^{\text{mod}}$ ). In (a) l'80% e in (b) il 65% delle osservazioni sono state utilizzate per calibrare il modello (punti blu), le restanti per la validazione (punti verdi).



**FIG. 5**  
CONOIDE  
ALLUVIONALE  
FIUME TREBBIA (PC)

Confronto fra i livelli piezometrici medi mensili ottenuti tramite modello ARDL (blu) e i valori osservati (rosso).



### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Box G.E.P., Jenkins G. (1976) *Time series analysis: forecasting and control*. Holden-Day series in time series analysis and digital processing, Holden-Day, San Francisco. 2nd edition.

Decreto Legislativo n. 30 del 16 marzo 2009. "Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento". Gazzetta Ufficiale n. 79 del 4 aprile 2009.

Direttiva 2000/60/CE, *Water Framework Directive* (WFD). Directive of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, OJ L327, 22 Dec 2000, pp 1-73.

Ferri D., Marcaccio M. (2013), *Report sullo stato delle acque sotterranee. Triennio 2010-2012*. Report tecnico, Arpa Emilia-Romagna, Bologna.

Marcaccio M. (2011), *Elaborazione dati acquisiti dalla rete automatica di monitoraggio della piezometria con restituzione e visualizzazione in continuo dei dati sul portale web*. Report tecnico, Arpa Emilia-Romagna, Bologna.

Marcaccio M., Martinelli G. (2012), *Effects on groundwater level of the May-June 2012 Emilia seismic sequence*, *Annals of Geophysics*, 55(4).

Regione Emilia-Romagna (2005) "Piano di tutela delle acque". Deliberazione dell'Assemblea legislativa n. 40 del 21/12/2005.

Regione Emilia-Romagna (2010) Delibera di Giunta n. 350, "Approvazione delle attività della Regione Emilia-Romagna riguardanti l'implementazione della direttiva 2000/60/CE ai fini della redazione ed adozione dei Piani di gestione dei distretti idrografici Padano, Appennino settentrionale e Appennino centrale".

