

## **DYNAMIC 3D MODELLING OF THE UNCONFINED AQUIFER OF THE RIVER MARECCHIA ALLUVIAL FAN (RIMINI)**

*Ilaria Delfini*

Le falde acquifere costituiscono una risorsa preziosa per la mitigazione dei rischi legati al verificarsi di eventi siccitosi in Emilia-Romagna: esse infatti garantiscono l'immagazzinamento di notevoli volumi di acqua e lunghi ritardi tra la scarsità idrica superficiale e quella del sottosuolo. D'altra parte, i meccanismi fisici che regolano i comportamenti delle falde sono poco noti, perciò pianificare l'utilizzo ottimale delle risorse risulta molto impegnativo.

L'acquifero della conoide alluvionale del Fiume Marecchia riveste un ruolo strategico per l'approvvigionamento idropotabile dell'area riminese. Da qui, infatti, vengono prelevati circa 28 milioni di metri cubi d'acqua l'anno, 19 dei quali per fini idropotabili.

Nel 2011 la Regione Emilia-Romagna istituì un tavolo tecnico per la gestione delle crisi idriche, particolarmente severe in Romagna. Per fronteggiare la scarsità idrica superficiale, nel 2014 fu approvato un esperimento di ricarica controllata sulla conoide alluvionale del Fiume Marecchia, di durata biennale. Nel 2017 tale esperimento venne approvato.

Secondo una tecnica definita *bacino di infiltrazione (infiltration pond)*, un determinato volume idrico viene prelevato dal fiume tramite un canale, al termine del quale la corrente può essere reimpressa nel fiume o deviata in un lago di cava. Il lago è un affioramento della falda, perciò ad un incremento del volume idrico al suo interno corrisponde un incremento del livello piezometrico di falda, ossia una maggiore disponibilità di acqua sotterranea.

Diverse esperienze internazionali di gestione delle falde per il soddisfacimento della domanda idrica ad usi civili e agricoli hanno dimostrato l'importanza delle informazioni ricavate dall'impiego di modelli di simulazione per le acque sotterranee. Tra i software più adottati si trova MODFLOW, sviluppato dalla United States Geological Survey (USGS). MODFLOW è un modello di flusso alle differenze finite che simula il movimento tridimensionale dell'acqua attraverso un mezzo poroso. È un software open-access per il quale esistono numerosi tipi di interfaccia grafica.

ModelMuse, ad esempio, è un'interfaccia open-source che permette all'utente di collocare gli input spaziali disegnando sul dominio punti, linee e poligoni che possono assumere fino a tre dimensioni nello spazio e che sono indipendenti dalle discretizzazioni spaziale e temporale della simulazione. Il periodo temporale è suddiviso in *stress periods*, ovvero intervalli durante i quali gli input del modello rimangono costanti.

Tra il 2007 e il 2008 l'Agenzia Regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna (ARPAE) ha sviluppato e calibrato un modello di flusso e trasporto per l'intera conoide del Fiume Marecchia. A partire da questo modello, nel 2016 è stata ricavata una rappresentazione di

dettaglio dell'area interessata dalla ricarica. L'efficacia di questo tipo di intervento, infatti, può essere influenzata negativamente da situazioni idrogeologiche complesse, come l'interazione tra acquifero, lago e fiume nel caso del Marecchia.

Lo scopo del lavoro di tesi è l'applicazione di MODFLOW nello studio della gestione dell'intervento di ricarica artificiale sulla conoide del Fiume Marecchia. In particolare, un precedente modello sviluppato con MODFLOW da ARPAE è stato riprodotto utilizzando una diversa interfaccia grafica, ModelMuse, scelta per la possibilità di importare dati di diversa natura e di gestire i risultati tramite diversi software di post-processing.

I dati occorrenti per lo sviluppo del modello provengono da un dataset condiviso tra Regione Emilia-Romagna e ARPAE.

Il modello copre un'area di circa  $5 \text{ km}^2$  ed è formato da 15 strati di spessore variabile. Dopo aver definito l'area che contribuisce alla simulazione, specificando quali celle risultano attive, vengono importati gli altri dati necessari: conduttività idraulica (orizzontale e verticale), carico idraulico iniziale, coefficiente di immagazzinamento, *specific yield*.

Infine, vengono rappresentate le componenti fisiche del modello: la ricarica areale agente sulle diverse zone; quattro pozzi di prelievo e le corrispondenti portate; pozzi e piezometri le cui registrazioni del livello idrico permetteranno la calibrazione del modello; il lago e le corrispondenti portate immesse artificialmente; il fiume.

La simulazione copre un arco temporale corrispondente al biennio 2014-2015. Esso è suddiviso in 24 *stress periods* coincidenti con i mesi compresi tra gennaio 2014 e dicembre 2015.

Dal confronto tra i valori di carico simulati e osservati nello stesso istante e nello stesso punto, in generale è stata individuata una corrispondenza soddisfacente tra le due serie di misure. Tuttavia, si ha una leggera sovrastima dei valori di carico idraulico minori, e una leggera sottostima di quelli maggiori.

In termini di bilancio idrico, i contributi maggiori in ingresso provengono dal fiume e dai flussi legati al carico idrico definito dalle condizioni al contorno. In generale, le differenze tra i flussi in ingresso e in uscita sono minime, e le variazioni dei dati di input e delle condizioni al contorno provocano improvvisi incrementi nel bilancio idrico globale; questi si stabilizzano nel tempo, raggiungendo un valore quasi costante prima del termine di ogni *stress period*.

Il flusso di infiltrazione proveniente dal lago conduce al maggior accumulo di acqua nella falda. Viene rilevata una interazione significativa tra il lago e la falda, e i flussi nelle due direzioni sono caratterizzati da un'elevata variabilità. Inoltre, quando si aumenta l'immissione artificiale di acqua nel lago, viene simulato un incremento dei flussi idrici verso la falda; il ritardo tra i due eventi è minimo, e questo porta a concludere che gli effetti della ricarica artificiale sono quasi subito percepiti in termini di volume in ingresso nella falda.

I risultati descritti finora sono stati ricavati da simulazioni in cui il tirante idrico iniziale nel lago è pari a 29.8 m. In seguito, ulteriori simulazioni sono state eseguite innalzando tale valore a 30.3 m e 30.8 m, ed abbassandolo a 29.3 m e 28.8 m. Al livello di 30.3 m corrisponde sia la condizione di maggiore flusso in ingresso alla falda, sia la condizione di minore flusso totale in uscita dall'acquifero. Si può quindi affermare che tra il tirante idrico iniziale nel lago e i volumi d'acqua entranti e uscenti dalla falda esiste una proporzionalità, diretta nel primo caso e inversa nel secondo. I risultati ottenuti sono in linea con quelli osservati durante l'esperimento del biennio 2014-2015. Essi confermano che la ricarica controllata apporta benefici rilevanti in termini di volumi idrici immagazzinati nell'acquifero; inoltre, la ricarica derivante dal fiume è molto più significativa di quella derivante dal lago. La procedura di calibrazione del modello ha messo in luce il fatto che altri set di parametri portino a performance del modello paragonabili, per cui per una applicazione più specifica e dettagliata sarebbero necessari ulteriori tentativi di calibrazione. Inoltre, l'applicazione ha confermato che la ricarica, in questo caso specifico, può risultare un intervento molto efficace (in termini di volumi d'acqua immagazzinati) per la mitigazione delle conseguenze causate dal prelievo idrico. Più in generale, il lavoro presentato conferma il valore della modellazione matematica dei processi ambientali nell'ottimizzare la gestione delle risorse idriche e nel fornire indicazioni a livello tecnico e operativo.