

## **Strumenti di modellazione per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi al sovrasfruttamento**

Rudy Rossetto, Paolo Basile

Land Lab - Scuola Superiore Sant'Anna di Studi Universitari e di Perfezionamento

E mail: [r.rossetto@sssup.it](mailto:r.rossetto@sssup.it)

Un acquifero viene considerato sovrasfruttato allorquando si registrano impatti negativi conseguenti alla captazione della risorsa sotterranea, quali, ad esempio, un continuo abbassamento del livello piezometrico, un progressivo deterioramento della qualità delle acque sotterranee, un incremento dei costi per la captazione, fenomeni di subsidenza, diminuzione della portata di sorgenti e corpi idrici superficiali. Tale conduzione dello sfruttamento può danneggiare e compromettere l'utilizzo della risorsa allo stesso modo dei ben più noti fenomeni di contaminazione delle acque sotterranee. E' pertanto fondamentale comprendere il comportamento degli acquiferi al fine di evitarne e/o eventualmente prevederne e limitarne il sovrasfruttamento.

Da un punto di vista idrogeologico, il sovrasfruttamento di un acquifero (*aquifer overexploitation*) può essere definito come la situazione in cui, per alcuni anni, il prelievo medio dall'acquifero è superiore, o si approssima, alla ricarica (Custodio, 2001). La definizione dell'area di ricarica e dei volumi che transitano nel sistema idrogeologico è comunque operazione complessa ed i risultati di tali studi sono spesso soggetti a notevole incertezza. Non si dovrebbe inoltre trascurare il fatto che captando le acque di un determinato corpo idrico sotterraneo viene prelevata una parte del naturale recapito del sistema. Ne consegue che per valutare la sostenibilità di uno sfruttamento si può focalizzare l'attenzione sui volumi recapitati dall'acquifero piuttosto che su termini di difficile quantificazione come la ricarica (Bredehoeft, 1997). Infine, gli impatti negativi sopra descritti possono non essere necessariamente il risultato di un sovrasfruttamento dell'acquifero, bensì la conseguenza di una cattiva gestione delle opere di captazione (ed essere legati a fenomeni di interferenza tra pozzi) o anche di una naturale variazione del bilancio idrico, che nell'acquifero si trasmette con tempi molto lunghi.

Al fine di implementare un'efficace gestione della risorsa e porre in atto le misure di salvaguardia è necessaria quindi una valutazione quantitativa dell'evoluzione temporale dell'acquifero. La modellistica numerica idrogeologica sintetizzando dati sperimentali e principi fisici in un unico schema semplificato, permette di effettuare

analisi sulle forzanti idrologiche che governano i sistemi idrogeologici e costituisce pertanto un valido strumento per affrontare rigorosamente le problematiche sopra esposte (Fetter, 2001; Custodio, 2002). Utilizzare la terminologia di “modello idrogeologico” equivale ad indicare un modello numerico, ovvero una combinazione della descrizione matematica, il codice di calcolo numerico utilizzato, e la sua applicazione ad uno specifico sistema idrogeologico. I modelli numerici in idrogeologia sono applicati principalmente per lo studio del campo di moto delle acque sotterranee, trasporto di contaminanti in soluzione, trasporto di calore e deformazione degli acquiferi (Fetter, 2001). Una volta ricostruito il modello concettuale del sistema in studio e tradotto il sistema naturale in termini fisico-matematici, il modello numerico consente di pianificare *in primis* le attività di monitoraggio, di evidenziare aree in cui si ha carenza di dati e, una volta calibrato, di effettuare stime sulle principali direttrici di deflusso ed i volumi della ricarica, nonché definire quantitativamente il recapito delle acque di falda. Gli strumenti di modellistica possono infine permettere previsioni, confermate dai successivi monitoraggi, circa il raggiungimento di una situazione di equilibrio successiva all’inizio dello sfruttamento attraverso l’analisi spazio-temporale di un elemento idrogeologico dinamico costituito, ad esempio, dal fronte di cattura (Bredehoeft, 2002; Beretta, 2002). Queste stime e previsioni potranno essere raffinate e divenire più accurate e affidabili non appena nuovi dati si rendano disponibili e vengano implementati nel modello.

Nell’ambito del progetto LIFE06 ENV/IT/255 ASAP la modellistica numerica idrogeologica è stata applicata al sistema idrogeologico della pianura di Bientina e dei rilievi delle Cerbaie per migliorare la comprensione del sistema stesso e quindi effettuare alcune ipotesi sulle aree di alimentazione e di recapito delle acque sotterranee. A tale scopo si è implementato un modello numerico del flusso utilizzando il codice MODFLOW-2000 (Harbaugh et al., 2000). Il sistema in studio è definito come Corpo Idrico Sotterraneo Significativo “Acquifero del Valdarno Inferiore e Piana Costiera Pisana-Zona Bientina, Cerbaie”, suddiviso in tre aree: Area Cerbaie, Area Bientina prima falda confinata e Area Bientina falda profonda multistrato (SIRA, 2009). L’analisi congiunta di oltre 300 stratigrafie e sondaggi, unitamente ai dati di prove di pompaggio pregresse, ha permesso di ricostruire la geometria del sistema idrogeologico e di individuare tre principali unità idrostratigrafiche in cui è stato successivamente suddiviso il modello. I limiti idrodinamici del modello implementato sono costituiti a

Nord dall'acquifero della pianura di Lucca, a Nord-Est dall'acquifero della Valdinievole-Fucecchio, ad Est dal sistema idrogeologico del Valdarno inferiore-Zona Santa Croce, ad Ovest dai rilievi dei Monti Pisani. Al fine di simulare gli emungimenti in atto nell'area sono stati inseriti i pozzi idropotabili ed i pozzi industriali-irrigui presenti nella parte meridionale della pianura di Lucca e della zona industriale di Bientina. L'andamento del campo di moto delle acque sotterranee, calibrato inizialmente in stato stazionario, è stato simulato in transitorio a partire dal Dicembre 2002 fino all'Agosto 2009 (Fig. 1).

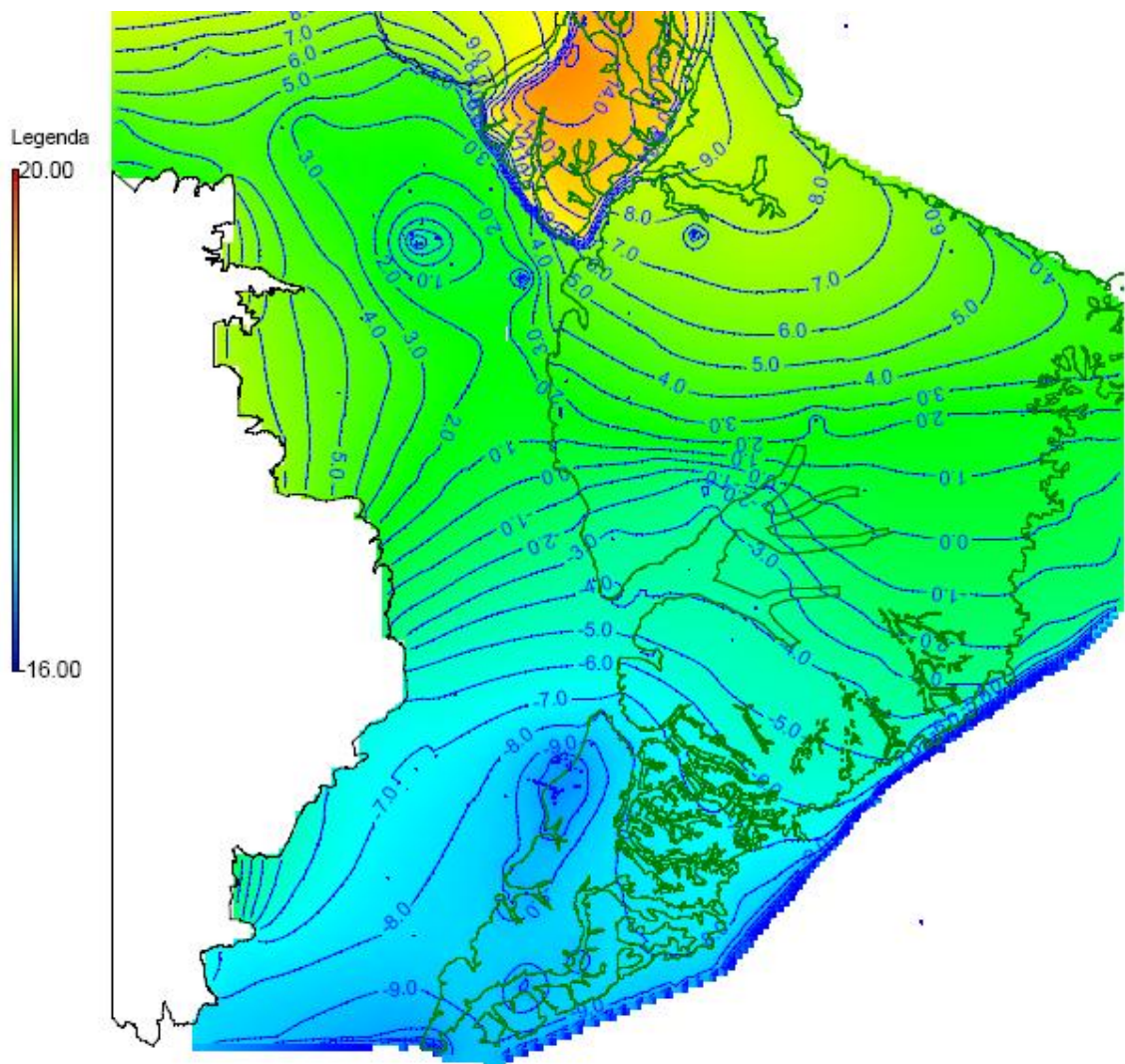


Figura. 1. Piezometria simulata per la stagione autunnale dell'anno 2002 (equidistanza 1 m).

Le simulazioni effettuate hanno permesso di ottenere la descrizione della superficie piezometrica, dei volumi in ingresso ed in uscita nel sistema studiato, ed una serie di dati quantitativi circa la stima dei deflussi sotterranei e della funzione

dell'immagazzinamento dell'acquifero. Simulazioni sono state inoltre realizzate per valutare l'abbassamento del livello piezometrico che si sarebbe registrato se non fossero state implementate le azioni messe in atto nella gestione dei quantitativi emunti durante il periodo di ASAP. Il modello implementato sarà inoltre utilizzato per ottimizzare la gestione degli emungimenti idropotabili, in particolar modo presso il campo pozzi delle Cerbaie.

I risultati fino ad oggi raggiunti attraverso la modellistica numerica aprono comunque una serie di interrogativi che riguardano la caratterizzazione, senza dubbio incompleta, del sistema idrogeologico oggetto di studio. Infatti se sono noti i rapporti tra l'acquifero delle Cerbaie e il sistema della pianura di Bientina, ben poco si conosce dei rapporti tra il primo e gli adiacenti acquiferi della Valdinievole-Fucecchio e del Valdarno Inferiore-zona Santa Croce. Saranno quindi necessari monitoraggi mirati alla conoscenza diretta dell'andamento della superficie piezometrica sui rilievi delle Cerbaie ed alla individuazione della funzione dei limiti idrodinamici sopracitati. Particolare attenzione dovrà inoltre essere posta nella validazione dell'entità degli apporti verso l'acquifero della pianura di Bientina attraverso il limite orientale costituito dai Monti Pisani.

Al fine di definire la sostenibilità dello sfruttamento delle acque sotterranee di un determinato corpo idrico sono quindi necessari dati sperimentali, diretti ed indiretti, affidabili e strumenti in grado di gestirli dinamicamente andando verso il superamento della produzione di cartografia statica. Gli strumenti di modellistica numerica, grazie alla ormai ampia disponibilità di capacità di calcolo offerta dai moderni processori e di software specifico, sono naturalmente i principali candidati a ricoprire questo ruolo. Le simulazioni effettuate nell'ambito del LIFE ASAP dimostrano come la modellistica numerica possa inoltre costituire un valido supporto per la gestione dei prelievi in aree dove questi siano importanti e effettuati su schemi complessi. D'altra parte, gli strumenti in questione presentano una certa complessità nel loro utilizzo per cui è necessario che sia attuata una politica di formazione superiore che veda coinvolti i tecnici degli Enti pubblici e, più in generale, delle Società che si occupano di gestione della risorsa idrica. Solo così potrà essere realmente attuato il trasferimento tecnologico dagli Enti di ricerca in una disciplina, l'idrogeologia moderna, l'approccio alla quale è ancora oggi troppo spesso qualitativo.

## **Bibliografia**

Beretta, G.P. 2002 Bilancio idrico, uso sostenibile e “stato quantitativo” delle risorse idriche sotterranee. L'Acqua, Rivista bimestrale dell'Associazione Idrotecnica Italiana, n.6/2002, Roma.

Bredehoeft, J. D. 1997. Safe yield and the water budget mith. Ground Water 35, 6.

Bredehoeft, J. D. 2002. The water budget mith revisited: why hydrogeologist model. Ground Water 40, 4.

Custodio, E. 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean? Hydrogeology Journal 10:254-277.

Fetter, C.W. 2001. Applied Hydrogeology. Fourth Edition. Prentice Hall Inc., Nw Jersey: US.

Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., and McDonald, M.G. 2000. MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92.

SIRA 2009. [WWW] <URL [http://sira.arpat.toscana.it/sira/Acque/ACQ\\_MAT.html](http://sira.arpat.toscana.it/sira/Acque/ACQ_MAT.html)>  
[Ultimo accesso 13 Settembre 2009].