

Evaluating groundwater resource of an urban alluvial area through the development of a numerical model

Cristina Di Salvo¹ · Massimiliano Moscatelli¹ · Roberto Mazza² ·
Giuseppe Capelli² · Gian Paolo Cavinato¹

Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Area della Ricerca di Roma 1-
Montelibretti, via Salaria Km 29,300 – C.P. 00015 Monterotondo scalo (Roma)

Dipartimento di Scienze, Università degli Studi di Roma Tre, L.go San Murialdo 1, 000146 Roma.

SESSIONE 1

ABSTRACT

Come stabilito nella Direttiva Europea Alluvioni, lo sviluppo di modelli di circolazione idrica sotterranea è fondamentale per adottare piani di gestione delle acque, finalizzati alla conservazione della risorsa acquifera e alla riduzione del rischio ambientale. In questo articolo, gli autori presentano una metodologia per la stima della risorsa idrica sotterranea degli acquiferi che interessano un'area urbanizzata (la città di Roma), caratterizzata da un complesso assetto idrostratigrafico e da scarsità di informazioni idrogeologiche. Il modello idrostratigrafico e idrogeologico concettuale sviluppato inizialmente ha fornito le basi per lo sviluppo di un modello numerico tridimensionale, a scala di sottobacino idrogeologico, implementato in regime stazionario con il codice di calcolo MODFLOW 2000. Particolare attenzione è stata posta ai termini di bilancio dell'acquifero alluvionale della valle Tevere; quest'area è infatti densamente popolata ed ospita gran parte del patrimonio artistico-culturale della Città di Roma. La scarsa qualità geotecnica dei terreni che la compongono rende importante investigare nel dettaglio le dinamiche di scambio idrico, le variazioni di livello degli orizzonti granulari interposti e le variazioni delle pressioni interstiziali dei terreni coesivi. I risultati suggeriscono che la modellazione numerica di flusso degli acquiferi può fornire uno strumento utile a testare la validità di un modello concettuale e ridurre l'incertezza sulla valutazione dei parametri idrogeologici, anche in condizioni idrostratigrafiche complesse e con scarsità di dati. Il modello proposto, costituisce una base di partenza per applicazioni ulteriori quali modelli in transitorio e modelli a scala locale, richiesti specificatamente dalla Direttiva Alluvioni.

INTRODUZIONE

Gli studi di idrogeologia quantitativa supportati da modelli numerici sono uno strumento fondamentale per l'adozione di piani di gestione delle acque finalizzati alla preservazione della risorsa idrica e alla riduzione dei rischi legati alle variazioni di livello e pressione interstiziale (Direttiva Europea Alluvioni, WFD 2000). I modelli "possono essere d'aiuto per la prevenzione dei potenziali impatti di prelievi idrici e ricariche artificiali sul corpo acquifero [...] e di conseguenza stabilire la possibilità del corpo idrico sotterraneo di raggiungere standard quantitativi accettabili; inoltre, "lo sviluppo di un modello di circolazione idrica robusto è un prerequisito necessario per l'implementazione di qualsiasi modello di trasporto di contaminanti" (European Commission, 2011). L'obiettivo proposto dalla direttiva è il raggiungimento di uno stato "buono" dei corpi idrici negli Stati Membri dell'Unione entro il 2027, dove lo stato quantitativo "buono" viene raggiunto quando "la risorsa idrica del corpo in oggetto non viene intaccata, dal tasso di prelievo annuale mediato sul lungo periodo (European Commission 2009). E' stato stimato che nel 2030 il 60% della popolazione totale, a livello globale, vivrà in aree urbane. In tale scenario, è fondamentale sviluppare strategie per preservare la quantità e la qualità dei corpi idrici, assicurando contemporaneamente l'approvvigionamento idrico e il trattamento delle acque reflue.

Questo studio rappresenta il primo tentativo di modellazione numerica quantitativa del sistema idrico sotterraneo nell'area urbana e sub-urbana di Roma, a scala di sottobacino. La attuale scarsità di informazioni e dati sistematici relativi alla valutazione quantitativa della risorsa sotterranea è parzialmente dovuto allo speciale approvvigionamento idrico della città, che sin da tempi antichi ha provveduto mediante lunghi acquedotti, a convogliare acque potabili, captate dalle sorgenti dei vicini acquiferi carbonatici e vulcanici. Solamente in tempi relativamente recenti, l'utilizzo di acque prelevate in loco, utilizzate per scopi irrigui, attività commerciali e industriali, ha cominciato a prendere piede. Anche se, a scala di bacino, non sono state osservate variazioni evidenti nei livelli delle acque sotterranee, è necessario valutare i possibili effetti di una crescente domanda di prelievo idrico. I terreni alluvionali (Pleistocene Superiore-Olocene) che costituiscono la valle del Tevere, sono caratterizzati da scarse caratteristiche geotecniche, ed è quindi importante conoscerne i meccanismi di dinamica delle pressioni interstiziali. Viene qui proposta una metodologia per la ricostruzione delle dinamiche idrogeologiche e la valutazione della risorsa idrica sotterranea in area urbana, in un contesto idrogeologico complesso, e dove non sono disponibili dati idrogeologici sufficienti ad ottenere un calcolo di bilancio di sottobacino accurato mediante metodi empirici classici. E' stato a questo scopo implementato un modello che accoppia un'idrostratigrafia di dettaglio e le componenti del bilancio idrico, ricavate sulla base di una revisione

critica dei dati disponibili. I modelli numerici distribuiti consentono infatti la gestione di informazioni numerose e complesse, e consentono una valutazione in termini probabilistici delle effettive caratteristiche di bilancio.

AZIONI E METODI

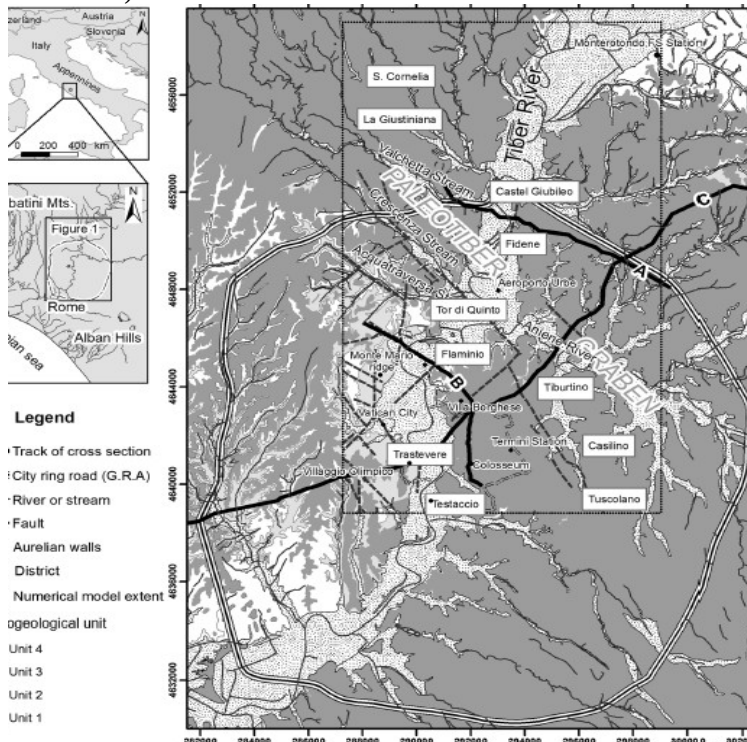
L'obiettivo del modello numerico è la valutazione delle caratteristiche di bilancio dell'intera area di studio e della sotto-unità idrostratigrafica alluvionale; quest'ultima è di particolare interesse in quanto considerata maggiormente a rischio,

Table 1. Hydrogeological units

Stratigraphic frame	Hydrostratigraphic complex (Di Salvo et al., 2012)	Hydrogeological unit (Fig 2)	Range of K_x (m/d)	Variance $\sigma^2_{\log K}$	n of tests	
Anthropic backfill (Holocene)	RP	Unit 5	0.04-20	0.91	5	
Upper alluvium - Clay and silty clay	AR	Unit 4	4a	0.00003456-0.5	0.84	17
Tiber alluvium - Sand			4b	0.03222-43.2	0.65	41
Fiber alluvium - Clay with peat			4c	0.000017-0.017	0.1	5
Lower alluvium - Silty, Sandy gravel			4d	0.003-6.5	0.83	23
(Holocene)						
Volcanic complexes	VTA	Unit 3	0.172-6.048	0.9	9	
(Middle-Upper Pleistocene)						
Ponte Galeria" and "Fosso della Crescenza" Formation	PGT	Unit 2	0.000397-0.292	0.83	50	
(Lower- Middle Pleistocene)						
"Monte Mario" Formation	MM - upper portion	Unit 1s	0.1	0.13	3	
(Lower Pleistocene)	MM - lower portion					
Clay of Monte Vaticano" Formation	MV	Unit 1	0.0001-0.01	0.7	3	
(Upper Pliocene)						

Values of horizontal hydraulic conductivity values (K_x) come from field pumping tests and geotechnical laboratory tests

del bilancio distribuito di Capelli et al. (2005) per gli anni 1997–2001. Lo studio citato è stato modificato aggiornando i dati di pioggia e temperature, estendendoli per il periodo 1997-2007. Il valore di ricarica per le aree fittamente urbanizzate (circa il 43% dell'area di studio), è stato ricavato assumendo come fonti di ricarica le perdite dal sistema di distribuzione (stimato in 182.5 Mm3/anno), le perdite attraverso fessure sulle superfici asfaltate (che consente l'infiltrazione di una quota pari al 5% delle piogge), e le acque in eccesso dai punti di irrigazione del verde urbano (circa il 25% delle acque totali di irrigazione, corrispondenti ad un totale di acqua disponibile alla ricarica di 0.952 Mm3/anno).



Hydrogeological units (1–4) beneath the anthropic backfill deposit (unit 5) in the study area. The coordinate grid refers to the European Datum 50733 N

368 punti di misura, e costituiscono il database per la calibrazione. In particolare, questi sono stati suddivisi in due gruppi per la stima degli scambi idrici tra il Tevere e la valle e con gli acquiferi in cui la valle stessa è incassata. I dati di portata di alcuni affluenti minori sono stati utilizzati come target di flusso, mentre non è stato possibile ricavare dati significativi per la calibrazione dei regimi di portata di Tevere e Aniene.

RISULTATI

sia per le sue caratteristiche intrinseche geoidrologiche sia per l'alto valore esposto del tessuto urbano che sostiene. Ai fini della costruzione del modello concettuale, le unità geologiche principali che costituiscono l'area di studio sono state raggruppate in 5 unità idrogeologiche (Figs. 1, 2) sulla base di criteri litologici e sulla base dei range di conducibilità idrauliche (Table 1). A causa della grande eterogeneità delle alluvioni recenti tiberine (unità 4), queste sono state divise ulteriormente in 4 sotto-unità.

Il modello numerico è stato sviluppato mediante il codice di calcolo MODFLOW 2000 ed è stato calibrato in condizioni stazionarie. Il tasso di ricarica è stato ricavato considerando l'uso del suolo delle porzioni studiate. Nelle aree scarsamente urbanizzate (il 66% del territorio), la ricarica è stata calcolata col metodo

L'evapotraspirazione nelle aree suburbane è stata inclusa nel calcolo dell'infiltrazione efficace, mediante il metodo del bilancio distribuito; nella aree urbane, è stata invece posta uguale a zero.

Riguardo al drenaggio artificiale, Roma è dotata di 39 impianti di depurazione, che ricevono sia le acque superficiali canalizzate, sia le acque di scarico civili, con un deflusso medio verso il Fiume Tevere di circa 16 m³/s, con picchi di 33 m³/s durante le precipitazioni intense. (ACEA-ATO2, 2006). Il Fiume Tevere, controllato da diverse dighe a monte, subisce importanti variazioni di portata; la media sul periodo 1921-2008 all'idrometro di Ripetta di 230 m³/s.

I prelievi sotterranei sono stati acquisiti da tre diversi database di concessioni di prelievo idrico (Roma Capitale, Provincia di Roma e Regione Lazio) e comprendono il tasso di prelievo annuale, giornaliero e periodo di pompaggio, sia per le utenze pubbliche che private. Il tasso di pompaggio varia tra 3700 e 0.1 m³/giorno; il 72% dei pozzi hanno un tasso di pompaggio compreso tra 5 e 0.1 m³/giorno. I livelli di carico idraulico sono stati ricavati da

Il modello ha permesso di ridurre l'incertezza sulla stima del deflusso idrico nell'intera area di studio e per il singolo acquifero alluvionale della Valle del Tevere. Le analisi di bilancio idrico del corpo alluvionale tiberino suggeriscono che la ricarica laterale avviene prevalentemente nell'area del Paleograbben del Tevere (fig.1), laddove l'acquifero alluvionale è in contatto stratigrafico con le ghiaie, le argille e le sabbie dell'unità 2. Al contrario, la ricarica sotterranea può essere considerata trascurabile nei settori a nord e a sud del graben, laddove la valle è circondata dalle argille marnose dell'unità 1, che ha funzione di acquiclude.

La principale direzione di deflusso all'interno della sotto-unità alluvionale è diretto dallo strato basale di ghiaie (sub-unità 4b e 4d), verso il Fiume Tevere, che agisce come principale punto di fuoriuscita del sistema. Sono stati calcolati i parametri del bilancio idrogeologico per ciascuna unità compresa nel modello (Fig.3).

L'analisi di sensitività e il processo di calibrazione hanno consentito di evidenziare quali parametri hanno maggiore influenza sui risultati, e suggeriscono che una serie opportunamente lunga di misure di livello e di misure di portata fluviale può sensibilmente aumentare il grado di confidenza dei risultati.

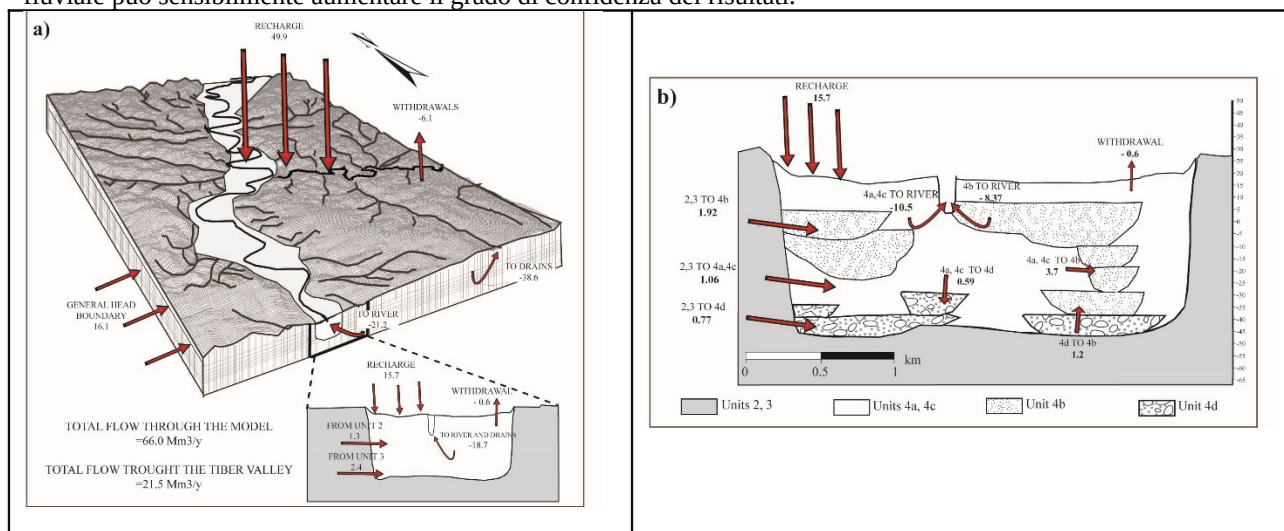


Figura 3: Bilancio idrogeologico per il modello ROMA (Mm3/anno). I numeri positivi sono afflussi verso gli acquiferi in studio, i numeri negativi sono deflussi.

Questo tipo di dati è strettamente necessario per l'implementazione del modello in regime transitorio e per il passaggio a modelli a scala locale. E' dunque urgente ed importante, ai fini dello sviluppo di piani di gestione nella città di Roma, intensificare le reti di monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee e superficiali degli enti preposti e potenziare la fruibilità dei dati di monitoraggio, rendendoli facilmente accessibili.

Lo stato quantitativo dell'intera area di studio, e dei singoli corpi acquiferi, è stato valutato comparando la ricarica e i prelievi, secondo standard della Direttiva Europea adottati da diversi stati. Considerando i prelievi in percentuale rispetto alla ricarica, gli acquiferi in studio sono classificabili come "non a rischio" e sotto una "bassa pressione" rispetto all'impatto dei prelievi (che corrispondono a circa il 12,2% della ricarica).

CONCLUSIONI

Ai fini della gestione dei CdF, questo studio contribuisce a riconoscere l'importanza di strumenti di modellazione numerica avanzata ai fini della gestione integrata degli acquiferi; inoltre, è stata messa in luce l'importanza di utilizzare modelli a scala di bacino, ai fini della comprensione del sistema acquifero e di valutazione dello stato della risorsa; infatti, modelli numerici a scala di sito specifico, funzionali alla verifica di problemi locali che includono il trasporto dei contaminanti, devono essere impostati sulla base di termini di bilancio idrogeologico verificati ad ampia scala.

I risultati della modellazione numerica, che forniscono dati quantitativi sul bilancio idrogeologico, possono essere un valido supporto nell'ambito dei processi di pianificazione. In particolare, modelli numerici a scala di bacino o a scala regionale possono essere implementati nell'ambito del **Dossier preliminare** per evidenziare le **caratteristiche principali, le criticità e le potenzialità del bacino; sono inoltre utili per programmare un piano di integrazione dei dati esistenti, e per pianificare reti di monitoraggio di supporto per modelli a scala di sito specifico.** La modellazione a scala di sito specifico (a scala di sottobacino o di idrostruttura), è uno strumento utile a valutare le possibilità di intervento (ed ottimizzare i piani d'attuazione) previste dagli obiettivi del Contratto riguardo all'**uso sostenibile delle risorse idriche, il riequilibrio del bilancio idrico, la riduzione dell'inquinamento delle acque e la riqualificazione dei sistemi ambientali e paesistici e dei sistemi insediativi afferenti ai corridoi fluviali, nonché** la mitigazione dei rischi ad esso associati. In sostanza, può fornire un supporto alla compilazione del Piano d'Azione previsto dal CdF.

BIBLIOGRAFIA

European Commission (2009) Guidance groundwater status and trend assessment. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive-2000/60/EC, Guidance document no. 18. ISSN 1725-1087

European Commission (2011) Guidance on risk assessment and the use of conceptual models for groundwater. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive-2000/60/EC, Guidance document no. 26. doi:[10.2779/53333](https://doi.org/10.2779/53333)

Capelli G, Mazza R, Gazzetti C (2005) Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici. Volume 78 di Quaderni di tecniche di protezione ambientale Editore Pitagora, ISBN8837114508, 9788837114503

ACEA-ATO2 (1996) Annual statistic report. <http://www.ato2roma.it/DOCUMENTI/articoli/cons1binder.pdf>. Retrieved Jan2013