

## Valutazione delle risorse idriche in un'area urbanizzata: l'esempio del Bacino dell'Urcionio

Antonella Baiocchi<sup>1 2</sup>, Arianna Di Paola<sup>1</sup>, Alessandro Frascchetti<sup>4</sup>, Francesca Lotti<sup>1</sup>,  
Vincenzo Piscopo<sup>1 3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ecologia e Sviluppo Economico Sostenibile, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo

<sup>2</sup> Autore corrispondente: Antonella Baiocchi, Università degli Studi della Tuscia – DECOS, via San Giovanni Decollato 1, 01100 Viterbo.  
Fax 0761/355751. E-mail: tole77@tiscali.it

<sup>3</sup> piscopo@unitus.it <sup>4</sup> SICEA Lazio

*Evaluation of water resources in an urbanized area : the case of the Urcionio Basin (Viterbo)*

**ABSTRACT.** The investigation proposes to arrive at a preliminary estimate of the water resources of the city of Viterbo, taking into consideration the effects of current land use. With this aim in mind, a hydrographic basin was selected which encompasses a representative volume of the water flow across an urban area: the basin of the Urcionio stream at the point of contact with the wastewater treatment plant. The analysis was carried out with reference to the hydrological year August 2003 – August 2004, with the scope of solving the balance equation. Meteorological data were therefore obtained for the basin, as well as flow rates for the Urcionio stream; these were used to reconstruct and analyse the stream hydrograph. Estimates were made of the losses within the urban water network, and a reconstruction was made of groundwater flow within the volcanic rocks which constitute the subsoil of the entity examined. The generation of a water balance for the Urcionio stream basin, and the analysis of the hydrogeological scheme have shown that: the downstream flow is strongly influenced by urban discharges; water extraction for agricultural usage has an important effect on the groundwater resources; the effects of urbanisation on the aquifer's recharge are reduced thanks to the conspicuous presence of green urban areas and to the sustainable extraction of potable waters from underground.

*Key terms:* Urcionio Stream, water budget, urbanization, water resources

*Termini chiave:* Torrente Urcionio, Bilancio idrologico, Urbanizzazione, Risorse idriche sotterranee.

### Riassunto

Il lavoro propone una stima preliminare delle risorse idriche della città di Viterbo, tenendo conto dell'incidenza dell'attuale uso del suolo. A tale proposito è stato selezionato un bacino idrografico che raccoglie al suo interno un volume rappresentativo del deflusso idrico attraversante l'area urbanizzata: il bacino del torrente Urcionio alla sezione di chiusura dell'impianto di depurazione delle acque reflue urbane.

L'analisi è stata svolta relativamente all'anno idrologico agosto 2003 - agosto 2004 ed è stata finalizzata alla risoluzione dell'equazione del bilancio. Pertanto sono stati acquisiti i dati meteorologici interessanti il bacino e i valori di portata del torrente Urcionio, attraverso i quali è stato ricostruito e scomposto l'idrogramma fluviale. Sono state stimate le perdite dalla rete idrica urbana e ricostruito l'andamento del flusso idrico sotterraneo nelle vulcaniti che costituiscono il sottosuolo del dominio esaminato.

La risoluzione del bilancio idrico del bacino del torrente Urcionio e l'analisi dello schema idrogeologico hanno evidenziato che: il deflusso in alveo è fortemente

influenzato dagli scarichi urbani; i prelievi irrigui incidono in maniera non trascurabile sulle risorse idriche sotterranee; l'incidenza dell'urbanizzazione sulla ricarica dell'acquifero è ridotta grazie alla cospicua presenza di aree verdi urbane ed a prelievi idrici dal sottosuolo ai fini potabili sostenibili a breve termine.

### Introduzione

Il processo di urbanizzazione influenza inevitabilmente la quantità e qualità delle risorse idriche sotterranee, in relazione alla diminuzione della ricarica dell'acquifero, all'aumento della richiesta idrica o al decadimento di qualità dei corsi d'acqua con conseguente rischio di contaminazione degli acquiferi.

Oggetto del lavoro è l'analisi delle problematiche idrogeologiche dell'area urbana di Viterbo con specifico riferimento all'impatto dell'urbanizzazione sul ciclo delle acque sotterranee. Viterbo è una piccola città (circa 60.000 abitanti) della regione vulcanica dell'alto Lazio (Fig. 1), il cui nucleo urbano è in rapida crescita. Le zone circostanti la città hanno sostenuto uno sviluppo agricolo e commerciale a

discapito dell'attività industriale. Il centro storico conserva la propria vocazione di città storica e artistica favorendo lo sviluppo artigianale di prodotti tradizionali.

Nell'area di studio è possibile individuare due situazioni idrogeologiche (Baiocchi *et alii*, 2004): un acquifero

vulcanico relativamente superficiale (profondo al massimo un centinaio di metri) sul quale poggia la struttura urbana e, ad ovest della città, un secondo sistema idrogeologico alimentante importanti sorgenti termali che, sin dall'epoca romana, rendevano Viterbo una famosa città termale.

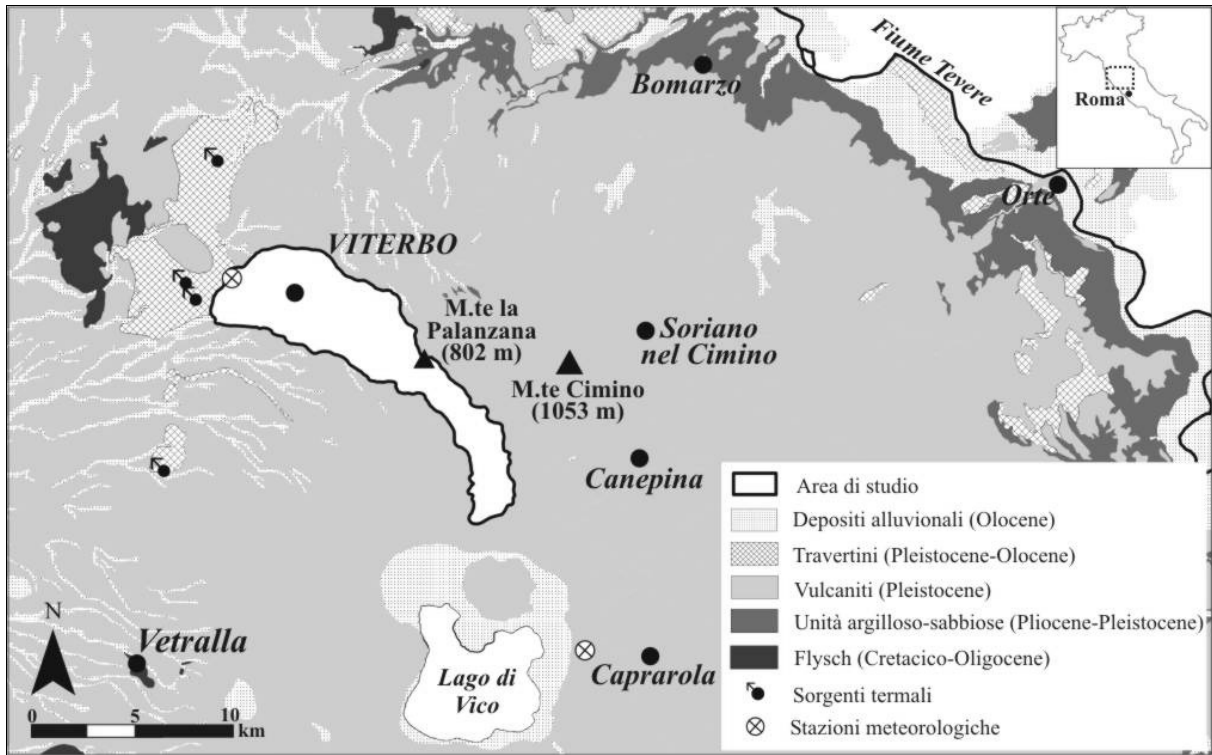


Figura 1. Ubicazione dell'area di studio.  
*Location of study area.*

In questa ultima area, le acque poco mineralizzate e fredde dell'acquifero vulcanico coesistono ed interagiscono con le acque calde di provenienza profonda, dando luogo ad un complesso assetto idrogeologico.

Il presente studio considera l'incidenza dell'urbanizzazione sull'entità delle risorse idriche che riguardano l'acquifero vulcanico relativamente più superficiale. A tale scopo le indagini sono state concentrate nel bacino del torrente Urcionio (Fig. 1), che contiene gran parte dell'area urbana di Viterbo (circa il 67% dei residenti).

### **Il bacino del torrente Urcionio: caratteristiche morfologiche e geologiche**

L'area di studio coincide con il bacino idrografico del torrente Urcionio chiuso alla sezione d'alveo ubicata poco a valle del centro abitato di Viterbo (278 m s.l.m.), in corrispondenza dell'impianto di depurazione delle acque reflue della città (Fig. 2).

Il bacino ha un'estensione di circa 21.8 km<sup>2</sup> ed è caratterizzato da due settori differenti per morfologia ed uso del suolo. La parte alta ha una forma allungata, si spinge

fino all'orlo della caldera del Lago di Vico (850 m s.l.m.) ed è caratterizzata da una pendenza media del 6% e da una dominante copertura boschiva. La parte bassa del bacino include gran parte del centro abitato di Viterbo, ha una forma più sviluppata in ampiezza, le pendenze sono generalmente non superiori all'1% ed il territorio non urbanizzato presenta un uso del suolo di tipo agricolo.

La rete idrografica del bacino è costituita da più aste torrentizie riconducibili, in generale, al più ampio sistema radiale centrifugo, tipico della morfologia vulcanica dei complessi cimino e vicano. In corrispondenza del centro abitato di Viterbo i diversi torrenti, in parte canalizzati ed interrati, convergono in un unico corso d'acqua, l'Urcionio, all'altezza dell'impianto di depurazione della città.

Nel bacino affiorano principalmente rocce vulcaniche e vulcanoclastiche pleistoceniche legate all'attività dei complessi cimino e vicano, appartenenti a serie magmatiche differenti per chimismo ed età. I prodotti più diffusi nell'area di studio sono l'Ignimbrite quarzolitica del complesso cimino (Peperino Tipico) e l'Ignimbrite C del complesso vicano (Tufo Rosso a Scorie Nere). Relativamente meno rappresentati in affioramento e nel

sottosuolo sono colate laviche trachitiche e tefritico-fonolitiche e tufi stratificati (Locardi, 1965; Borghetti *et alii*, 1981; Sollevanti, 1983; Lardini & Nappi, 1987).

Un sottile strato di depositi alluvionali olocenici ricopre i prodotti vulcanici in corrispondenza dei corsi d'acqua. Inoltre, depositi di travertino pleistocenici-olocenici, geneticamente legati alle principali sorgenti termali, sono riscontrabili in affioramento e nel sottosuolo dell'area occidentale della periferia di Viterbo, poco a valle del bacino imbrifero oggetto di studio.

Il substrato delle formazioni vulcaniche, non affiorante nell'area in esame, è costituito da unità argilloso-sabbiose del Pliocene-Pleistocene e dal Flysch della Tolfa cretacicoceneo, comprendente quest'ultimo, marne, calcari marnosi, arenarie, calcareniti e argilliti (Baldi *et alii*, 1974; Chiochini & Madonna, 2003).

### Lineamenti idrogeologici

Dal punto di vista idrogeologico, il bacino del torrente Urcionio ricade nella più estesa struttura idrogeologica dei complessi vulcanici cimino e vicano. In questa si riconosce principalmente una falda di base ospitata nelle vulcaniti, limitata inferiormente dal substrato sedimentario poco o punto permeabile, e più falde sospese discontinue, conseguenza della notevole eterogeneità delle diverse formazioni vulcaniche e vulcanoclastiche. La morfologia

piezometrica della falda di base mostra un deflusso ad andamento radiale con zona di alimentazione centrale, situata tra il Lago di Vico ed i duomi cimini. I principali recapiti della falda di base sono principalmente i torrenti drenanti a margine dell'idrostruttura ed in secondo luogo le sorgenti puntuali; sono presenti inoltre travasi idrici sotterranei verso gli acquiferi limitrofi, soprattutto nel settore orientale della struttura (Baiocchi *et alii*, 2005).

Anche nell'area in esame si riconosce una falda di base la cui morfologia segue in generale la topografia, come si può vedere dalla ricostruzione piezometrica relativa alla parte bassa del bacino, riportata in Figura 2. Da questa ricostruzione, relativa ai dati piezometrici del periodo 2001-2002, si individua un flusso orientato da Est verso Ovest. Lavori precedenti indicano valori di trasmissività dell'acquifero nella parte bassa del bacino compresi generalmente nell'ordine di grandezza  $10^{-4}$  -  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s e coefficienti di immagazzinamento dell'ordine di  $10^{-3}$  (Baiocchi *et alii*, 2004).

All'interno del bacino sono presenti anche alcune sorgenti (Fig. 2) che, considerate le loro modeste portate (non superiori ad alcuni litri al secondo) e quote di affioramento, sono riconducibili a falde sospese; a queste ultime sono attribuibili anche i modesti deflussi riscontrati nella parte alta dei torrenti.

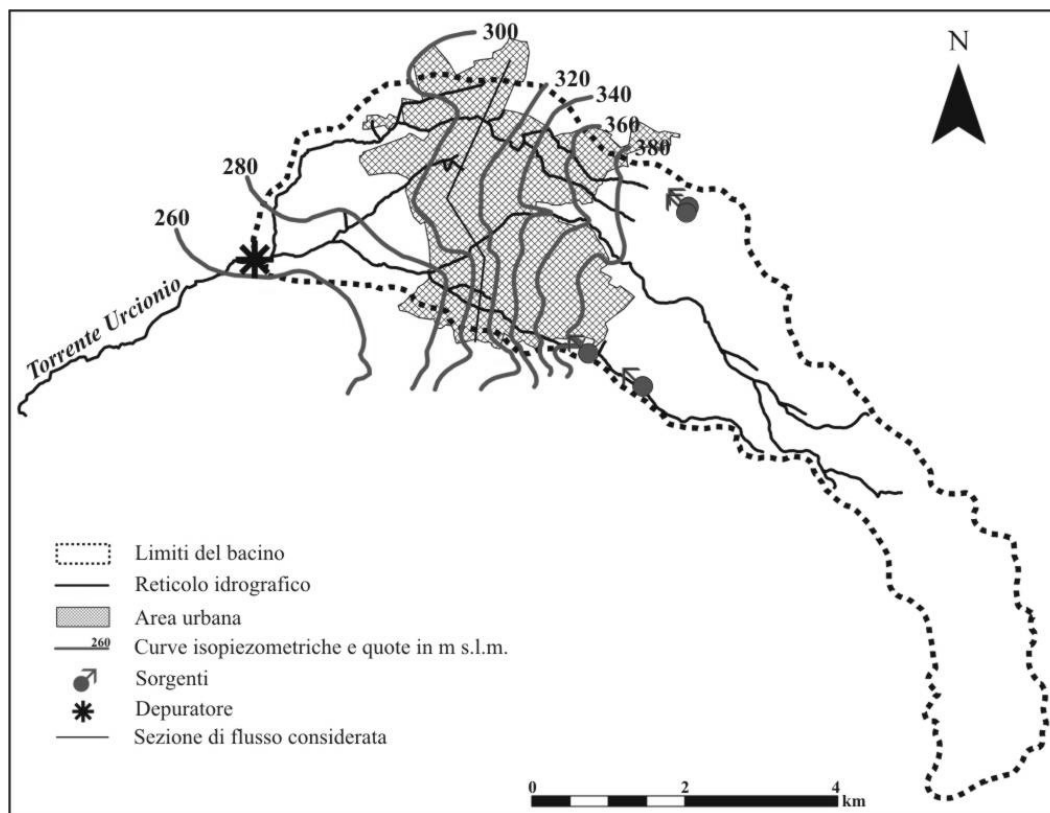


Figura 2. Bacino del Torrente Urcionio.  
*Urcionio Stream's basin.*

Le sorgenti termali di Viterbo, affioranti poco a valle dell'area di studio e caratterizzate da acque solfato-alcalino-terrose ad alta temperatura (fino a 65°C), salinità e contenuto di gas disciolti (principalmente CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S), sono riconducibili ad una circolazione idrica sotterranea più profonda di quella che riguarda l'acquifero vulcanico, che risente dell'anomalia geotermica che interessa l'area (Calamai *et alii*, 1976).

Nell'intorno del tratto terminale del torrente Urcionio il confronto tra le quote piezometriche e quelle dell'alveo sembrano indicare alimentazione dalla falda di base verso il corso d'acqua. Proprio per esaminare i rapporti tra le acque superficiali e le acque sotterranee è stato esaminato in dettaglio l'idrogramma del torrente.

### **Idrogramma del torrente Urcionio**

Lo studio dei deflussi del torrente Urcionio è stato condotto utilizzando i dati di portata misurati nella sezione di chiusura del bacino, ubicata in corrispondenza all'impianto

di depurazione delle acque reflue (Fig. 2). Presso l'impianto vengono effettuate misure di portata giornaliera a partire dal giugno 2003, che includono anche le acque di scarico che interessano gran parte del centro abitato di Viterbo; occasionalmente, durante gli eventi estremi di piovosità, le portate non sono completamente contenute dalla sezione di misura.

Attraverso l'elaborazione dei valori di portata giornaliera relativi al 2003-2004, è stato possibile individuare il periodo di riferimento per la ricostruzione e scomposizione dell'idrogramma compreso tra due magre successive (Fig. 3): agosto 2003 e agosto 2004.

È stato innanzitutto valutato il deflusso totale che interessa il torrente nel periodo di riferimento, questo è risultato pari a  $8.5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Successivamente, considerando la tendenza della portata nel periodo di esaurimento e l'ultimo picco prima della magra del 2004, è stata individuata la separazione tra il deflusso superficiale e quello di base (Fig. 3).

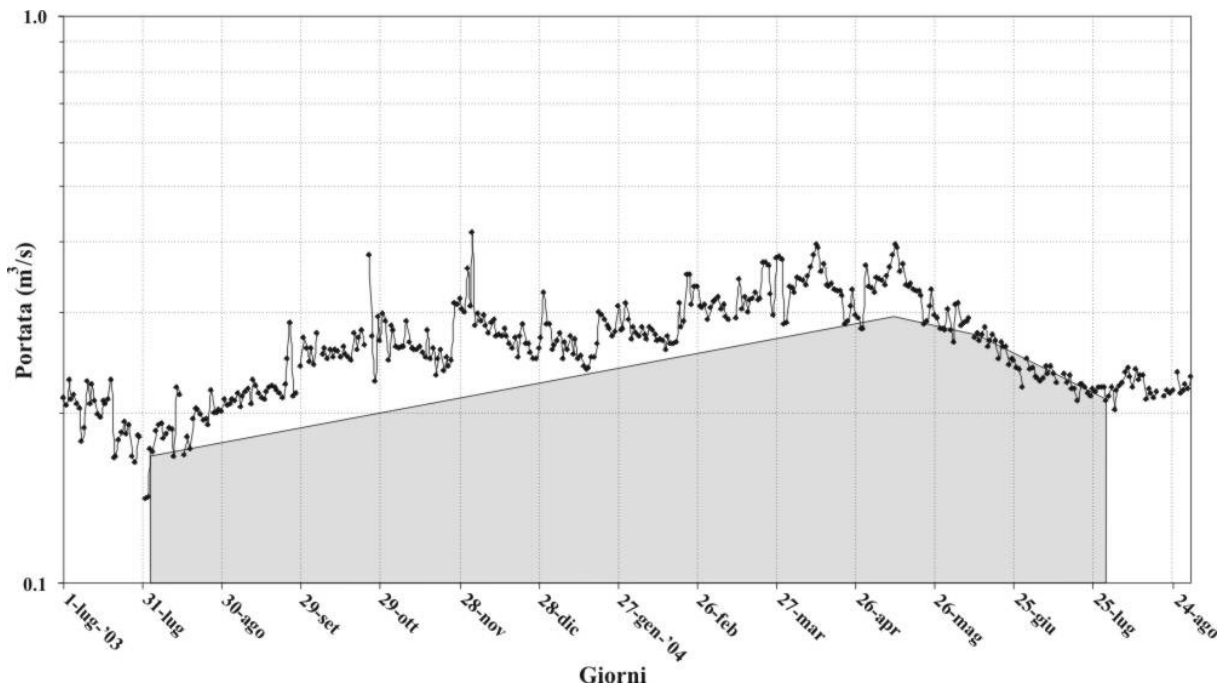


Figura 3. Idrogramma del Torrente Urcionio.  
*Hydrograph of Urcionio Stream.*

Sono stati così calcolati i volumi d'acqua relativi al contributo del deflusso di base, che è risultato pari a  $7.0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, ed al deflusso superficiale, risultato pari a  $1.5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/anno. Quest'ultimo valore corrisponde al ruscellamento che ha interessato il bacino nel periodo considerato, si tratta tuttavia di un valore sottostimato in relazione al non completo contenimento della portata in occasione degli eventi di piena. Il volume di deflusso di base calcolato contiene le acque sotterranee che hanno recapito nella sezione e le acque reflue del centro abitato.

### **Bilancio idrogeologico**

Il bilancio idrogeologico è stato riferito alla porzione di acquifero corrispondente al bacino del torrente Urcionio nel periodo compreso tra agosto 2003 e agosto 2004, lo stesso considerato per la scomposizione dell'idrogramma del torrente. L'equazione considerata è la seguente:

$$P + A_{se} + P_{er} - E_r - R - A_{su} - P_r - P_{irr} = \Delta W \quad (1)$$

dove i diversi termini, espressi in volume, sono:

$P$  = precipitazioni;

$A_{se}$  = apporti idrici sotterranei esterni al bacino imbrifero;

$P_{er}$  = ricarica dovuta alle perdite dalla rete idrica e fognaria;

$E_r$  = evapotraspirazione reale;

$R$  = ruscellamento;

$A_{su}$  = uscite di acque sotterranee dal bacino imbrifero;

$P_r$  = prelievi idrici sotterranei per uso potabile interni al bacino;

$P_{irr}$  = perdite dovute ai prelievi idrici sotterranei per uso irriguo interni al bacino;

$\Delta W$  = variazioni delle riserve dell'acquifero nel periodo considerato.

Il termine  $P$  è stato valutato sulla base dei dati di precipitazione giornaliera misurata alle stazioni meteorologiche dell'Azienda Agraria dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo (307 m s.l.m.) e della A.R.S.I.A.L. (Agenzia Regionale per lo Sviluppo Agricolo del Lazio) di Caprarola (667 m s.l.m.). Queste due stazioni sono sufficientemente rappresentative della distribuzione spaziale delle precipitazioni del bacino (Fig. 1). Dopo aver determinato le aree di influenza dei due pluviometri, è stata calcolata la precipitazione ragguagliata (925 mm) all'area del bacino (21.77 km<sup>2</sup>) e quindi determinato il termine  $P$ , risultato pari a  $20.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Per il termine  $A_{se}$  non è stato possibile ottenere informazioni di dettaglio, in quanto ricostruzioni piezometriche adeguate allo scopo riguardano solo la parte bassa del bacino, dove non si evidenziano sostanziali apporti di acque sotterranee extra-bacino (Fig. 2). Tuttavia, basandosi su ricostruzioni piezometriche condotte a più larga scala e che coprono anche la parte alta del bacino, si evince un generale adattamento alla topografia della morfologia piezometrica (Baiocchi *et alii*, 2005), pertanto il termine  $A_{se}$  è stato considerato trascurabile.

Il termine  $P_{er}$  è stato stimato considerando una percentuale di perdita del 20% delle portate erogate, come risultante dagli studi statistici degli enti di gestione della distribuzione idrica nell'Alto Lazio. La portata erogata è stata ricavata dai dati degli acquedotti che approvvigionano il comune di Viterbo. È risultato che l'acqua erogata per il bacino di studio, anche con risorse importate dall'esterno del bacino stesso, è pari a 0.156 m<sup>3</sup>/s; pertanto il termine  $P_{er}$  risulta pari a  $1.0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Il termine  $E_r$  è stato valutato attraverso il metodo di Thornthwaite-Mather, utilizzando i dati termometrici e pluviometrici delle anzidette stazioni meteorologiche. L'evapotraspirazione reale determinata (502 mm) è stata ragguagliata all'area del bacino, escludendo le aree impermeabili urbane (circa 4.7 km<sup>2</sup>). È risultato un valore di  $E_r$  pari a  $8.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Il termine  $R$  è stato ricavato dalla scomposizione dell'idrogramma del torrente ed è pari ad almeno  $1.5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Il termine  $A_{su}$  è stato calcolato applicando la relazione di

Darcy alla sezione di bacino imbrifero indicata in Figura 2. Nell'area intorno a questa sezione è disponibile una dettagliata conoscenza dei gradienti piezometrici e ricadono i siti di tre prove di emungimento utilizzate per la valutazione della trasmissività dell'acquifero (valore medio  $1.13 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s); inoltre la sezione è posta a valle dei principali punti di prelievo delle acque sotterranee. Con questi elementi è stato valutato un volume di acque sotterranee pari a  $5.4 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, che in parte ha recapito nel torrente Urcionio ed in parte esce dal sistema per via sotterranea.

Per valutare il termine  $P_r$  sono stati considerati gli emungimenti all'interno del bacino dai dati degli enti acquedottistici. È risultato un volume di prelievi da pozzi e, secondariamente, da sorgenti pari a  $1.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Il termine  $P_{irr}$  è stato stimato considerando le aree irrigue ricadenti nel bacino (circa 9.2 km<sup>2</sup>) e tenendo conto che la reale perdita per le pratiche irrigue può essere equivalente alla differenza tra evapotraspirazione potenziale e reale (pari a 230 mm), precedentemente valutate. È risultato un volume di  $P_{irr}$  pari a  $2.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Per il termine  $\Delta W$  non si hanno elementi di dettaglio, mancando osservazioni piezometriche continue nel tempo. Tuttavia anche ipotizzando una differenza piezometrica massima di 0.5 m (sulla base delle escursioni piezometriche registrate in alcuni pozzi dell'area urbana; Baiocchi *et alii*, 2003), tra l'inizio e la fine del periodo di riferimento del bilancio, e considerando un valore massimo di porosità efficace per le vulcaniti di 0.1, si calcola una variazione delle riserve dell'acquifero di circa  $1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

Sostituendo i valori stimati dei diversi termini nell'equazione (1), le entrate nel sistema sono pari a circa  $21 \times 10^6$  m<sup>3</sup> e le uscite dal sistema sono pari a circa  $19 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, a meno della considerazione del termine  $\Delta W$ . Questa differenza è da attribuire sicuramente alla sottostima di  $R$ , oltre che alle incertezze sugli altri termini del bilancio.

Attraverso questa valutazione è possibile spiegare anche l'entità del deflusso di base del torrente Urcionio, risultato pari a  $7.0 \times 10^6$  m<sup>3</sup> dalla scomposizione dell'idrogramma. Questo volume contiene le acque di scarico della rete degli acquedotti che approvvigionano il comune di Viterbo al netto delle perdite, ovvero  $3.9 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Pertanto, la differenza tra questi due termini, cioè  $3.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, è da attribuire alle acque sotterranee che alimentano il corso d'acqua. Avendo già stimato in  $5.4 \times 10^6$  m<sup>3</sup> il volume totale delle acque sotterranee che escono dal bacino ( $A_{su}$ ), risulta che  $2.3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> defluiscono per via sotterranea all'esterno del bacino.

## Conclusioni

I risultati dell'indagine hanno evidenziato che nel bacino del torrente Urcionio l'incidenza dell'urbanizzazione sulla quantità delle acque sotterranee è attualmente contenuta, in relazione alla ridotta percentuale delle aree effettivamente impermeabili (circa il 22%) ed a prelievi idrici dal

sottosuolo ancora sostenibili.

Esiste infatti un non trascurabile volume di acque sotterranee che defluisce dal bacino, nonostante i prelievi ad uso potabile ed irriguo. Questi ultimi incidono per il 37% circa sulla potenzialità complessiva delle acque sotterranee del bacino, se si fa riferimento ai risultati del bilancio idrogeologico. Per altra via, attraverso l'analisi dei deflussi del torrente Urcionio, è evidente che il corso d'acqua è alimentato oltre che dal ruscellamento e dalle acque di scarico, anche da un consistente volume di acque sotterranee (circa il 36% del deflusso totale); ciò testimonia ancora uno stato quantitativo del corpo idrico sotterraneo attualmente non compromesso. Infine è da sottolineare che, dai dati attualmente disponibili, la ricarica dell'acquifero mediante perdite dalla rete idrica di distribuzione risulta non trascurabile, rappresentando circa il 12% della potenzialità delle acque sotterranee del bacino.

Lo studio non ha affrontato l'altro aspetto fondamentale che riguarda l'incidenza dell'urbanizzazione sulle acque sotterranee, cioè la valutazione dell'impatto qualitativo. In tal senso questo primo approccio al problema costituisce certamente la base di partenza per indirizzare questa ulteriore valutazione, in modo da completare la panoramica sulla definizione dello stato ambientale del corpo idrico, in un'area urbana in via di sviluppo e, quindi, dove è più semplice progettare ora una gestione delle risorse idriche sostenibili a lungo termine.

### Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la società Robur s.p.a. nella persona del Sig. Salcini e l'ente A.R.S.I.A.L.-sezione di Caprarola per aver fornito dati utili alla compilazione del lavoro.

### Bibliografia

- Baiocchi, A., Chiocchini, U., Madonna, S., Piscopo, V., 2003. Idrogeologia. In "Progetto città di Viterbo", U. Chiocchini ed., Università degli Studi della Tuscia, 58-80.
- Baiocchi, A., Lotti, F., Piscopo, V., Chiocchini, U., Madonna, S., Manna, F., 2004. Interactions of Aquifers in the Viterbo Urban Area. I.G.C. Melswirth Memorial Volume, K. Howard ed., Toronto (sottoposto).
- Baiocchi, A., Dragoni, W., Lotti, F., Luzzi, G., Piscopo, V., 2005. Lineamenti idrogeologici dell'area vulcanica cimino-vicana e rapporti tra acque sotterranee e Lago di Vico. Bollettino della Società Geologica Italiana (sottoposto).
- Baldi, P., Decandia, F.A., Lazzarotto, A. & Calamai, A., 1974. Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano. Mem. Soc. Geol. It. 13, 575-606.
- Borghetti, G., Sbrana, A., Sollevanti, F., 1981. Vulcanismo dei monti cimini e rapporti cronologici tra vulcanismo cimino e vicano, Rend. Soc. Geol. It. 4, 254-274.
- Calamai, A., Cataldi, R., Locardi, E. & Praturlon, A., 1976. Distribuzione delle anomalie geotermiche nella fascia preappenninica toscolaziale. Simp. Intern. Sobre Energia Geotermica en America Latina, Città del Guatemala, 189-229.
- Chiocchini, U., & Madonna, S., 2003. La geologia della Provincia di Viterbo. Atti della Giornata di Studio - Le risorse idriche del Viterbese: salvaguardia e sviluppo sostenibile, U. Chiocchini et alii ed., Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, 7-86.
- Lardini, D. & Nappi, G., 1987. I cicli eruttivi del complesso vulcanico cimino. Soc. It. Min. e Petrol. 42, 141-153.
- Locardi, E., 1965. Tipi di ignimbriti di magmi mediterranei: le ignimbriti del vulcano di Vico. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. 72, 55-137.
- Sollevanti F., 1983. Geologic, volcanologic and tectonic setting of the Vico-Cimino area, Italy. J. Volc. Geoth. Res., 17, 203-217.