

INDAGINI IDROGEOLOGICHE PER LA VALUTAZIONE DELLA RISORSA IDRICA NELLA MEDIA VALLE DEL FIUME TURANO (ITALIA CENTRALE)

HYDROGEOLOGICAL SURVEYS TO ASSESS GROUNDWATER RESOURCES IN THE MIDDLE VALLEY OF THE TURANO RIVER (CENTRAL ITALY)

FABIANA MELLINI & MARCO PETITTA

Sapienza University of Rome - Department of Earth Sciences - Rome, Italy
E-mail: fabiana_mellini@yahoo.it - marco.petitta@uniroma1.it

RIASSUNTO

Il presente lavoro sintetizza i risultati di uno studio idrogeologico condotto negli ultimi dieci anni per valutare quantitativamente la risorsa idrica sotterranea rinnovabile emergente nella media valle del Fiume Turano. A tal fine sono state realizzate delle campagne di misure di portata in opportune sezioni localizzate lungo il corso del fiume Turano ed una su un suo affluente che valuta il contributo della sorgente pedemontana Laghetto. Questa contribuisce con una portata media di circa 350 L/s al deflusso del fiume che si comporta da sorgente lineare con un ulteriore contributo medio equivalente, fungendo da livello di base locale della circolazione idrica sotterranea. Attraverso l'analisi delle caratteristiche geologico-strutturali dell'area è stato delineato un possibile bacino di alimentazione della sorgente, corrispondente approssimativamente alla struttura del Monte Pelato-Monte Sole con un'estensione di circa 16 km². Il modello concettuale dedotto mostra che la falda contenuta nell'acquifero carbonatico sabino alimenta sia la sorgente Laghetto che quella lineare lungo il fiume, con una circolazione idrica attiva anche all'interno dell'acquifero locale dei depositi neogenici di riempimento del bacino intramontano di Rieti. In base ai criteri dell'idrogeologia quantitativa viene proposto un modello preliminare di circolazione idrica sotterranea validato dal calcolo dell'infiltrazione efficace nell'area di alimentazione della sorgente, dai parametri chimico-fisici delle acque e dai dati isotopici. Correlando opportunamente i dati piezometrici ottenuti e le quote del fronte sorgivo, emerge che la media valle del fiume Turano è una zona di recapito delle acque che si infiltrano nel settore meridionale del bacino di Rieti e drenano verso la piana, coinvolgendo la circolazione nel substrato carbonatico localmente affiorante. L'acquifero basale, drenato a scala regionale dalle due grandi sorgenti de Le Capore a SW e Peschiera ad E, presenta quindi un recapito locale nella Valle del Fiume Turano.

TERMINI CHIAVE: sorgenti puntuali e lineari, acquiferi carbonatici, depositi continentali neogenici, idrogeologia quantitativa, Appennino Centrale

INTRODUZIONE

In Italia, i corsi d'acqua appenninici rappresentano spesso zone di recapito della circolazione idrica sotterranea a scala regionale, drenando le falde contenute nel substrato carbonatico (BONI *et alii*, 1986). La

ABSTRACT

This paper outlines the results of a hydrogeological study conducted in the past decade to quantitatively assess renewable groundwater resources emerging in the middle valley of the Turano River, in terms of recorded average and minimum discharge values. To this end, discharge monitoring surveys were carried out on appropriate sections along the Turano River and on one section along one of its tributaries representing the contribution of the piedmont spring called Laghetto. This spring contributes about 350 L/s on average to the discharge of the river, which acts as a linear spring with an additional average equivalent contribution and represents the local groundwater base level. Based on the geological-structural setting of the area, the basin feeding the spring is supposed to roughly correspond to the Mt. Pelato-Mt. Sole basin and to extend for about 16 km². The inferred conceptual model shows that the groundwater contained in the Sabine carbonate aquifer: i) supplies both the Laghetto spring and the linear one along the river; ii) also flows in the local aquifer of the Neogene deposits that fill the intramontane basin of Rieti; and iii) has seasonal variability depending on the level reached in the basal carbonate aquifer. The paper proposes a preliminary model of groundwater flow based on quantitative hydrogeology criteria. The model was validated by the calculation of effective infiltration in the spring recharge area, by the physico-chemical parameters of the investigated waters and by isotope data. The correlation of piezometric data with spring elevations indicates that the middle Turano River valley is the zone of discharge of waters that infiltrate into a wide portion of the southern sector of the Rieti basin and which drain towards the plain, travelling in the locally exposed carbonate bedrock. The study thus suggests that the basal aquifer, drained at regional scale by the two large springs of Le Capore to the SW and Peschiera to the E, also has a local point of discharge in the Turano River valley.

KEYWORDS: localised and linear spring, carbonate aquifers, continental deposits, quantitative hydrogeology, central Apennines

INTRODUCTION

In Italy, Apennine streams often represent zones of discharge of regional-scale groundwater, draining the aquifers contained in the carbonate bedrock (BONI *et alii*, 1986). The occurrence of these linear

presenza di tali sorgenti lineari è ormai nota da diversi decenni lungo le principali valli e conche intramontane, dove spesso i depositi recenti plio-quadernari interposti fungono da transfer idrico tra gli acquiferi basali ed il corso d'acqua (PETITTA, 2009; PETITTA *et alii*, 2011). Questi drenaggi presentano una variabilità stagionale in termini di portata soprattutto laddove ha inizio il contributo in alveo, che varia in quota ed in ubicazione in funzione delle oscillazioni piezometriche. Talvolta però anche le condizioni geologico-strutturali influiscono sulla localizzazione delle emergenze, consentendo sia la presenza di sorgenti localizzate che di sorgenti in alveo, dovute all'interposizione di depositi recenti a media permeabilità, in grado di convogliare le acque sotterranee verso i fiumi. Le normali oscillazioni delle precipitazioni e di conseguenza dell'infiltrazione efficace su scala pluriennale possono quindi determinare variazioni non solo nell'entità della portata erogata, ma anche nelle modalità di alimentazione, favorendo l'emergenza condizionata dall'assetto strutturale o viceversa quella connessa al transfer idrico attraverso i depositi plio-quadernari di copertura. In tali condizioni idrogeologiche, anche drenaggi a carattere locale, alimentanti sorgenti di portata limitata a qualche centinaio di litri al secondo, possono assumere importanza non trascurabile nell'individuazione delle direzioni di drenaggio e degli spartiacque dei grandi acquiferi regionali, come nel caso del Fiume Turano qui studiato.

L'area oggetto di studio è localizzata nel Lazio nord-orientale al margine meridionale del bacino di Rieti e comprende la media valle del Fiume Turano. Questo nasce dalle pendici dei monti Carseolani e nel tronco superiore raccoglie le acque carsiche da essi provenienti. Il fiume corre in una valle contigua e all'incirca parallela a quella del Salto, in direzione NNW-SSE. A monte del paese di Posticciola è presente uno sbarramento artificiale che ha dato luogo al lago del Turano. L'area indagata si colloca a valle rispetto alla diga nel tratto compreso tra l'abitato di Rocca Sinibalda e Maglianello Basso, rispettivamente da sud verso nord (Fig. 1). Il Turano sfocia nella valle reatina in sinistra idrografica del fiume Velino, dopo la confluenza con il Fosso dell'Ariana.

Nel settore in esame il substrato carbonatico, affiorante con litotipi appartenenti alla Successione Sabina (CIVITELLI *et alii*, 1986; CORDA & MARIOTTI, 1986; COSENTINO & PAROTTO, 1986; GALLUZZO & SANTANTONIO, 2002), è in contatto con i depositi continentali neogenici di riempimento del bacino intramontano di Rieti (CAVINATO *et alii*, 1989; CAVINATO & PAROTTO, 1992; BARBERI & CAVINATO, 1993; CAVINATO, 1993).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il bacino di Rieti si imposta su una conca intramontana, formatasi a partire dal Pliocene Superiore all'interno del Dominio Umbro-Sabino. Si tratta di una depressione sub-rettangolare, orientata NNW-SSE, compresa tra due importanti strutture compressive: la dorsale dei Monti Reatini e quella dei Monti Sabini (Fig. 1) (COSENTINO *et alii*, 1991; COSENTINO & PAROTTO, 1991; CAVINATO *et alii*, 1992a). Da un punto di vista geologico il dominio Sabino rappresenta una zona di transizione tra bacini a differente sedimentazione: la piattaforma carbonatica laziale-abruzzese affiorante ad est rispetto alla linea Ole-

springs has been known for various decades along the main intramontane valleys, where the interposed recent Plio-Quaternary deposits often ensure the transfer of groundwater between basal aquifers and streams (PETITTA, 2009; PETITTA *et alii*, 2011). These drainages have seasonal variability in terms of discharge, especially in places where they start contributing to stream discharge, with variable elevation and location depending on piezometric oscillations. At times, geological-structural conditions, too, have an impact on the location of springs, which may be both localised and in-stream and are due to the interposition of recent deposits of average permeability, capable of channelling groundwater towards rivers. Normal changes in precipitation and effective infiltration over multiple years may entail changes not only in discharge but also in recharge, favouring the emergence of groundwater owing to the structural setting or via transfer through Plio-Quaternary covers. Under these hydrogeological conditions, also local drainages (feeding springs with a discharge of a few hundreds of litres per second) may help identify drainage pathways and the water divides of large regional aquifers, as in the case of the Turano River investigated in this study.

The area under review is located in north-eastern Latium, at the southern margin of the Rieti basin, and comprises the middle valley of the Turano River. This river originates from the piedmont of the Carseolani mountains and, in its upper reach, it collects the karst waters from the same mountains. The river flows along a valley that is adjacent and roughly parallel to the Salto valley, in a NNW-SSE direction. A dam, giving rise to lake Turano, occurs uphill of the village of Posticciola. The investigated area lies downstream of the dam, in the sector extending from the village of Rocca Sinibalda to the one of Maglianello Basso, from S to N, respectively (Fig. 1). The Turano River outflows into the Rieti valley, on the left bank of the Velino River, after its confluence with the Ariana stream.

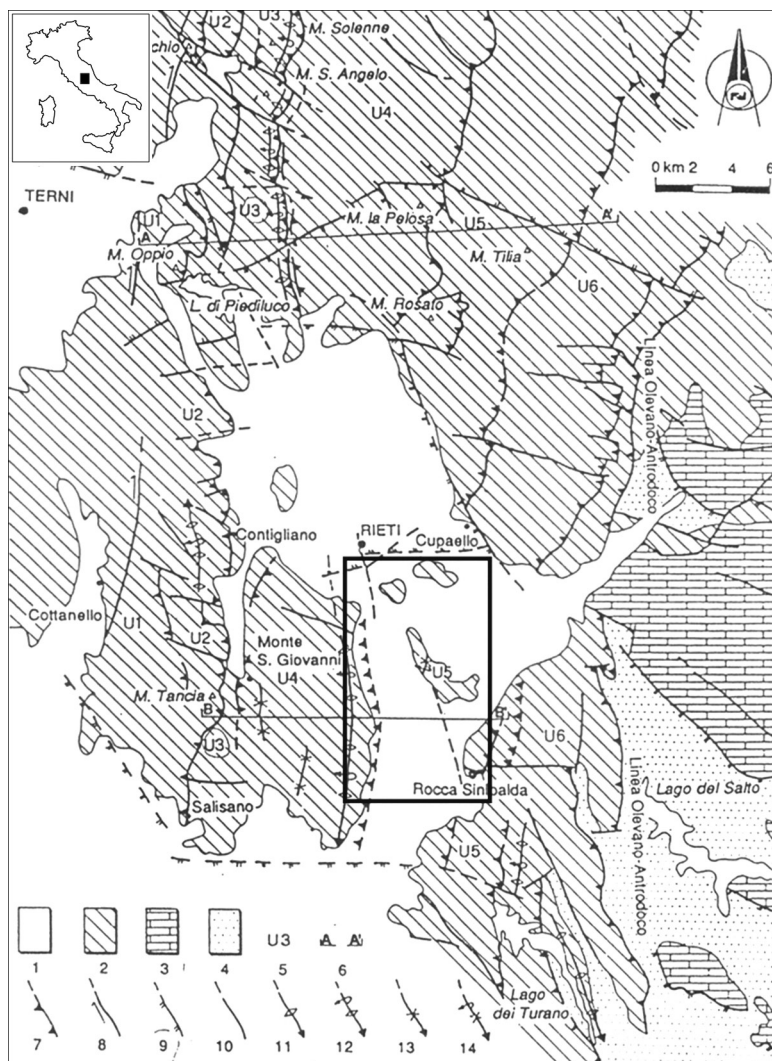
In this sector, the carbonate bedrock outcrops with lithotypes belonging to the Sabine succession (CIVITELLI *et alii*, 1986; CORDA & MARIOTTI, 1986; COSENTINO & PAROTTO, 1986; GALLUZZO & SANTANTONIO, 2002) and in contact with the continental deposits of Neogene age filling the intramontane basin of Rieti (CAVINATO *et alii*, 1989; CAVINATO & PAROTTO, 1992; BARBERI & CAVINATO, 1993; CAVINATO, 1993).

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SETTING

The Rieti basin lies in an intramontane valley that originated inside the Umbria-Sabina domain in upper Pliocene times. It is NNW-SSE-trending, sub-rectangular depression located between two major compressional structures: the Reatini Mts. ridge and the Sabini Mts. one (Fig. 1) (COSENTINO *et alii*, 1991; COSENTINO & PAROTTO, 1991; CAVINATO *et alii*, 1992a). Geologically, the Sabine domain is a zone of transition between basins with different sedimentation: the Latium-Abruzzi carbonate platform, exposed E of the Olevano-Anrodoco line (the eastern margin of the Reatini Mts. ridge) and the Umbria-

Fig. 1 - Principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area Sabina, nel riquadro l'area oggetto di studio. LEGENDA: 1) depositi plio-pleistocenici e coperture recenti; 2) unità stratigrafiche in facies pelagica e di transizione (Successione umbra e umbro-sabina); 3) unità stratigrafiche in facies di piattaforma carbonatica (Successione laziale-abruzzese); 4) depositi terrigeni tortoniano-messiniani; 5) sigla unità tettoniche; 6) traccia di sezione geologica, 7) sovrascorrimento; 8) faglia trascorrente; 9) faglia distensiva: i trattini indicano la parte ribassata e la direzione di movimento; 10) faglia indeterminata; 11) asse di anticlinale; 12) asse di anticlinale rovesciata; 13) asse di sinclinale; 14) asse di sinclinale rovesciata (da COSENTINO *et alii*, 1991)

- Main geological-structural setting of Sabina basin, the square shows the investigated area. LEGEND: 1) Plio-Pleistocene deposits and recent deposits; 2) pelagic-transitional facies units (Umbria-Sabina domain); 3) carbonate facies units (Latium-Abruzzi domain); 4) Sinorogenic deposits; 5) tectonic unit ID; 6) geological section line; 7) thrust; 8) extensional fault; 9) normal fault: dashed lines show dip and direction of transport; 10) unknown fault; 11) anticline forelimb; 12) anticline overturned forelimb; 13) syncline forelimb; 14) syncline overturned forelimb (from COSENTINO *et alii*, 1991)



vano-Antrodoco, margine orientale della dorsale dei Monti Reatini; ed il bacino umbro-marchigiano con sedimentazione pelagica.

Nel Miocene superiore l'area viene coinvolta nella formazione della catena appenninica e attraverso un'attività tettonica polifasica si forma un sistema di falde impilate verso i quadranti orientali. Per ciascuna dorsale si individuano diverse unità strutturali separate da superfici di sovrascorrimento di importanza regionale che comprendono termini via via più giovani passando da falde geometricamente più rilevate ad ovest a quelle a quota minore ad est. La Successione Sabina tipica, qui affiorante, è caratterizzata da una sedimentazione essenzialmente carbonatica in facies neritica, dal Trias superiore al Lias inferiore, e da termini calcareo-silico-marnosi, anche ricchi in selce, dal Lias medio al Miocene Inferiore (CORDA & MARIOTTI, 1986; GALLUZZO & SANTANTONIO, 2002). La paleo-morfologia del bacino indica nella media valle del fiume Turano la presenza in sinistra idrografica di affioramenti carbonatici poco estesi, localizzati a quote più basse rispetto a quelli sul versante

Marche basin with pelagic sedimentation.

In the upper Miocene, the area was involved in the formation of the Apennine chain through a polyphasic tectonic activity, which created a system of overthrusts towards the eastern quadrants. In each ridge, different structural units are identified; these units are separated by regional-scale thrust surfaces, which consist of gradually younger terms passing from geometrically higher thrusts to the W to lower ones towards E. The Sabine succession exposed here shows a dominantly neritic carbonate sedimentation (upper Trias to lower Lias) and calcareous-siliceous-marly terms, occasionally cherty (middle Lias to lower Miocene) (CORDA & MARIOTTI, 1986; GALLUZZO & SANTANTONIO, 2002). The paleo-morphology of the basin suggests the occurrence of limited carbonate outcrops in the valley of the Turano river, namely on its left bank. These outcrops lie at lower elevations than those on the opposite side, where the most ancient terms of the succession outcrop near the structural high of Mt.

opposto dove, in corrispondenza dell'alto strutturale del Monte Pelato, affiorano i termini più antichi della successione: Calcari e Marne a Posidonia, Calcari Diasprigni e Maiolica (SERVIZIO GEOLOGICO, 2013). Nel Pliocene superiore, lungo il bordo orientale del bacino si individua una master fault orientata N160° che determina una paleomorfologia ad alti strutturali e l'inizio di una intensa sedimentazione continentale fluvio-lacustre (CAVINATO *et alii*, 1989;CAVINATO *et alii*, 1992b; CAVINATO, 1993). Il ribassamento del substrato carbonatico favorisce l'impostazione di un paleo-reticolo fluviale che erode e smantella la catena portando alla deposizione dei conglomerati villafranchiani e delle alluvioni. Le caratteristiche del drenaggio superficiale dipendono dalla soglia del bacino, individuata nei depositi travertinosi della cascata delle Marmore. Il primo deposito di riempimento è rappresentato dall'Unità Deposizionale Inferiore (UDI), dall'Unità Inferiore di Posticciola (UIP) e dalla coeva Unità di Calcariola-Fosso Canalicchio (UCFC), depositi in facies di alluvial fan con uno spessore variabile dai 280 m ai 350 m e con area di alimentazione corrispondente alla dorsale dei Monti Reatini e del Monte Nuria. Sopra di essa in rapporto di paraconcordanza, si trova l'Unità Deposizionale Superiore (UDS) tipica di un ambiente fluvio-lacustre, dallo spessore variabile tra 50 m e 175 m, con un drenaggio che indica un cambiamento dell'area sorgente dal dominio umbro-marchigiano alla piattaforma laziale-abruzzese (BARBERI & CAVINATO, 1993) (Fig. 2).

L'area possiede caratteristiche geologico-strutturali ed idrogeologiche intermedie rispetto a quelle del bacino umbro-marchigiano e della piattaforma laziale-abruzzese. Da un lato, il dominio di bacino mostra un assetto strutturale tipicamente plicativo e una continuità idraulica tra le strutture che rende difficile l'individuazione di limiti idrogeologici ben distinti. Le dorsali tuttavia sono disarticolate da faglie che contribuiscono a ricaricare gli acquiferi profondi e a creare in superficie un reticolo idrografico ben sviluppato che incide le strutture e drena le falde

Pelato: Calcari e Marne a Posidonia, CalcariDiasprigni and Maiolica (ISPRA, 2013). A N160° master fault developed along the eastern edge of the basin in the upper Pliocene; the fault, producing a structural-high paleo-morphology, marked the onset of an intense fluvio-lacustrine continental sedimentation (CAVINATO *et alii*, 1989;CAVINATO *et alii*, 1992b; CAVINATO, 1993). The downthrown carbonate bedrock favoured the formation of a paleo-fluvial network, which eroded and dismantled the chain, leading to the deposition of Villafranchian conglomerates and alluvia. Surface drainage depends on the sill of the basin, identified in the travertine deposits of the Marmore falls. The first filling deposit includes the Lower Depositional Unit (UDI), the Lower Posticciola Unit (UIP) and the coeval Calcariola-Fosso-Canalicchio (UCFC) unit, alluvial fan deposits with a thickness of 280 to 350 m and a recharge zone corresponding to the ridge of the Reatini Mts. and of Mt. Nuria. The Upper Depositional Unit (UDS) unconformably overlies the above-mentioned units. This unit, typical of a fluvio-lacustrine environment, has a thickness of 50 to 175 m; its drainage reflects a change of the source area from the Umbria-Marche domain to the Latium-Abruzzi platform (BARBERI & CAVINATO, 1993) (Fig. 2).

The geological-structural and hydrogeological characteristics of the area are intermediate between those of the Umbria-Marche basin and those of the Latium-Abruzzi platform. On one hand, the basal domain displays a typically folded structural setting and a hydraulic continuity between the structures that makes it difficult to distinguish hydrogeological boundaries. However, the ridges are dislocated by faults, which help recharge deep aquifers and create a well-developed hydrographic network at the surface; by incising the structures and draining the aquifers, this network gives rise to numerous linear springs; localised springs are less frequent and

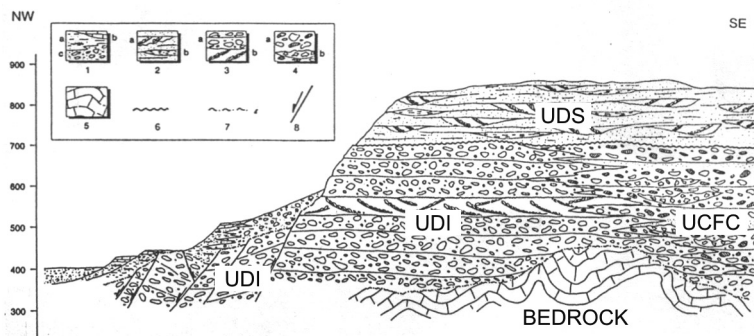


Fig. 2 - Schema dei rapporti stratigrafici delle unità villafranchiane e post-villafranchiane. LEGENDA: unità post-villafranchiane 1) a) depositi fluvio-lacustri; b) travertini; c) conglomerati rielaborati (Pleistocene medio-Olocene). Unità villafranchiane: 2) UDS in facies fluvio-lacustre (Villafranchiano superiore): a) depositi fluviali; b) depositi lacustri; 3) UDI in facies di alluvial fan (Villafranchiano inferiore): a) conglomerati massivi in corpi tabulari; b) conglomerati a stratificazione incrociata; 4) Unità di Calcariola Fosso Canalicchio (UCFC) in facies di alluvial fan (Villafranchiano inferiore): a) conglomerati in corpi tabulari; b) Breccie di Roccaranieri; 5) substrato carbonatico; 6) paraconcordanza; 7) discordanza angolare; 8) faglia diretta (da CAVINATO, 1992b)

- Stratigraphic sketch of Villafranchian and post-Villafranchian units. LEGEND: post-Villafranchian units 1) a) fluvial and lacustrine deposits; b) travertine; c) worked conglomerate deposits (Middle Pleistocene-Olocene). Villafranchian units: 2) fluvial and lacustrine UDS deposits (Upper Villafranchian): a) fluvial deposits; b) lacustrine deposits; 3) alluvial-fan UDI deposits (Low-Villafranchian): a) tabular conglomerate body; b) cross tabular set conglomerate; 4) Calcariola-Fosso Canalicchio alluvial fan unit (UCFC) (Low-Villafranchian): a) tabular body conglomerate; b) Rocca Ranieri breccia; 5) bedrock; 6) and 7) erosional surface; 8) normal fault (from CAVINATO, 1992b)

dando luogo allo sviluppo di numerose sorgenti lineari; le sorgenti puntuali sono meno frequenti e generalmente caratterizzate da portate non superiori al centinaio di litri/secondo. Dall'altro, il dominio di piattaforma carbonatica è caratterizzato da estese dorsali separate da diaframmi a bassa permeabilità, da un ruscellamento di superficie trascurabile e sorgenti periferiche con portate molto elevate e stabili (BONI *et alii*, 1986).

In Sabina sono presenti grandi acquiferi contenuti nelle rocce carbonatiche mesozoiche che alimentano le più cospicue sorgenti del Lazio ed in particolare l'area meridionale del bacino di Rieti si colloca a cavallo tra importanti aree ricche di gruppi sorgivi (CAPELLI *et alii*, 2012). Nel settore nord-orientale, le numerose emergenze del Peschiera, della piana di San Vittorino ed il drenaggio delle acque sotterranee lungo il corso del fiume Velino indicano una portata complessiva prossima ai 30 m³/s, livelli di base compresi tra 510 m e 405 m s.l.m. e un'area di alimentazione costituita prevalentemente dalle unità del Complesso di Piattaforma carbonatica (BONI *et alii*, 1995; PETITTA, 2009). All'interno del Complesso di Transizione piattaforma-bacino, sul bordo settentrionale del bacino di Rieti, si trova la sorgente di Santa Susanna che a quota 390m eroga una portata complessiva di oltre 5 m³/s drenando la dorsale dei monti Reatini (SPADONI *et alii*, 2010). Nel settore sud-occidentale è presente la sorgente Le Capore, a quota 248m s.l.m lungo l'alveo del torrente Farfa, con una portata di circa 5m³/s ed un'area di ricarica estesa dai Monti Sabini Occidentali e Meridionali (CAPELLI *et alii*, 1987; MARTARELLI *et alii*, 2008a, b) (Fig. 3).

Nell'area sabina affiorano estesamente i depositi plio-quadernari di riempimento della conca intramontana, indicativi di un ambiente a sedimentazione continentale fluviale e lacustre. Si tratta di sedimenti molto eterogenei con caratteristiche idrogeologiche variabili che generalmente contengono nei livelli più permeabili falde sospese. Queste, in prossimità di locali limiti a flusso nullo, possono emergere creando piccole sorgenti puntuali della portata di pochi L/s. Il rapporto tra questi depositi post-orogenici e gli acquiferi carbonatici non è finora stato indagato in dettaglio. Essendo caratterizzati da una minore infiltrazione efficace, possono localmente presentare limiti di permeabilità dando luogo alla formazione di sorgenti pedemontane basali. Nel caso di continuità idraulica con l'acquifero carbonatico, possono essere sede di acquiferi multi-falda; in tal caso, le acque sotterranee travasano verso questi depositi fino ad essere drenate da corpi idrici superficiali, determinando la presenza sul territorio di sorgenti a carattere lineare (PETITTA, 2009). Nel settore meridionale del bacino di Rieti, le sorgenti lineari garantiscono ai corsi d'acqua un carattere perenne e contribuiscono ad un aumento sensibile della portata dei principali tributari della piana reatina: il Turano, il Salto e il fiume Velino (MARTARELLI *et alii*, 2008a). I dati di letteratura considerano il fiume Turano una sorgente lineare nel tratto da Castel di Tora fino all'altezza, circa, del paese di Concerviano, con una portata complessiva tra i 0,5 e 1 m³/s ed una alimentazione dal substrato carbonatico-marnoso della serie sabina (BONI *et alii*, 1986; MARTARELLI *et alii*, 2008a, b).

MARTARELLI *et alii* (2008a,b) propongono una cartografia speri-

with a discharge that does not exceed some hundreds of L/s. On the other hand, the carbonate platform domain shows extensive ridges, separated by low-permeability boundaries, negligible surface runoff and peripheral springs with stable and very high discharge (BONI *et alii*, 1986).

The large aquifers hosted in the Mesozoic carbonate rocks of the Sabina area supply the most abundant springs of Latium; in particular, the southern area of the Rieti basin extends over important areas that are rich in groups of springs (CAPELLI *et alii*, 2012). In the north-eastern sector, the numerous springs of Peschiera, of the San Vittorino plain and groundwater drainage along the Velino river have a total discharge of nearly 30 m³/s, base levels of 510 to 405 m above sea level (asl) and a recharge zone chiefly consisting of the units of the carbonate-platform complex (BONI *et alii*, 1995; PETITTA, 2009). Inside the platform-basin transition complex, at the northern edge of the Rieti basin, lies the Santa Susanna spring, at an elevation of 390 m; this spring delivers 5 m³/s in total, representing the baseflow from the Reatini Mts. Ridge (MANFREDINI, 1972). In the south-western sector, the Le Capore spring (248 m asl) along the Farfa stream delivers about 5 m³/s; its recharge zone extends from the western to the southern Sabini Mts. (CAPELLI *et alii*, 1987; MARTARELLI *et alii*, 2008a) (Fig. 3).

Extensive deposits of Plio-quadernary age, indicative of a fluvial and lacustrine continental environment, fill the intramontane basin of the Sabina area. These sediments are very heterogeneous and with variable hydrogeological characteristics; their more permeable layers generally host perched aquifers. Near no-discharge boundaries, the groundwater from these aquifers may emerge, creating small localised springs with a discharge of few L/s. So far, the role that these post-orogenic deposits play in carbonate aquifers has not been investigated in detail. As these aquifers have lower effective infiltration, they may locally act as permeability boundaries, producing basal piedmont springs. If they are in hydraulic communication with the carbonate aquifer, they may hold multi-layered aquifers; in this case, groundwater travels towards these deposits until drained by shallow water bodies, forming linear springs (PETITTA, 2009). In the southern sector of the Rieti basin, linear springs guarantee the perennial character of streams and significantly increase discharge in the main tributaries of the Rieti plain: Turano, Salto and Velino (MARTARELLI *et alii*, 2008a,b). The literature considers the Turano River as a linear spring in its portion extending from Castel di Tora to near the village of Concerviano, with a total discharge of 0.5 to 1 m³/s and recharge from the carbonate-marly bedrock of the Sabine series (BONI *et alii*, 1986; MARTARELLI *et alii*, 2008a, b).

MARTARELLI *et alii* (2008a) propose an experimental map of the Rieti plain and of the Canera stream valley, describing their main hydrogeological complexes in detail and assessing effective infiltration based on the studies conducted by BONI *et alii* (1986, 1995).

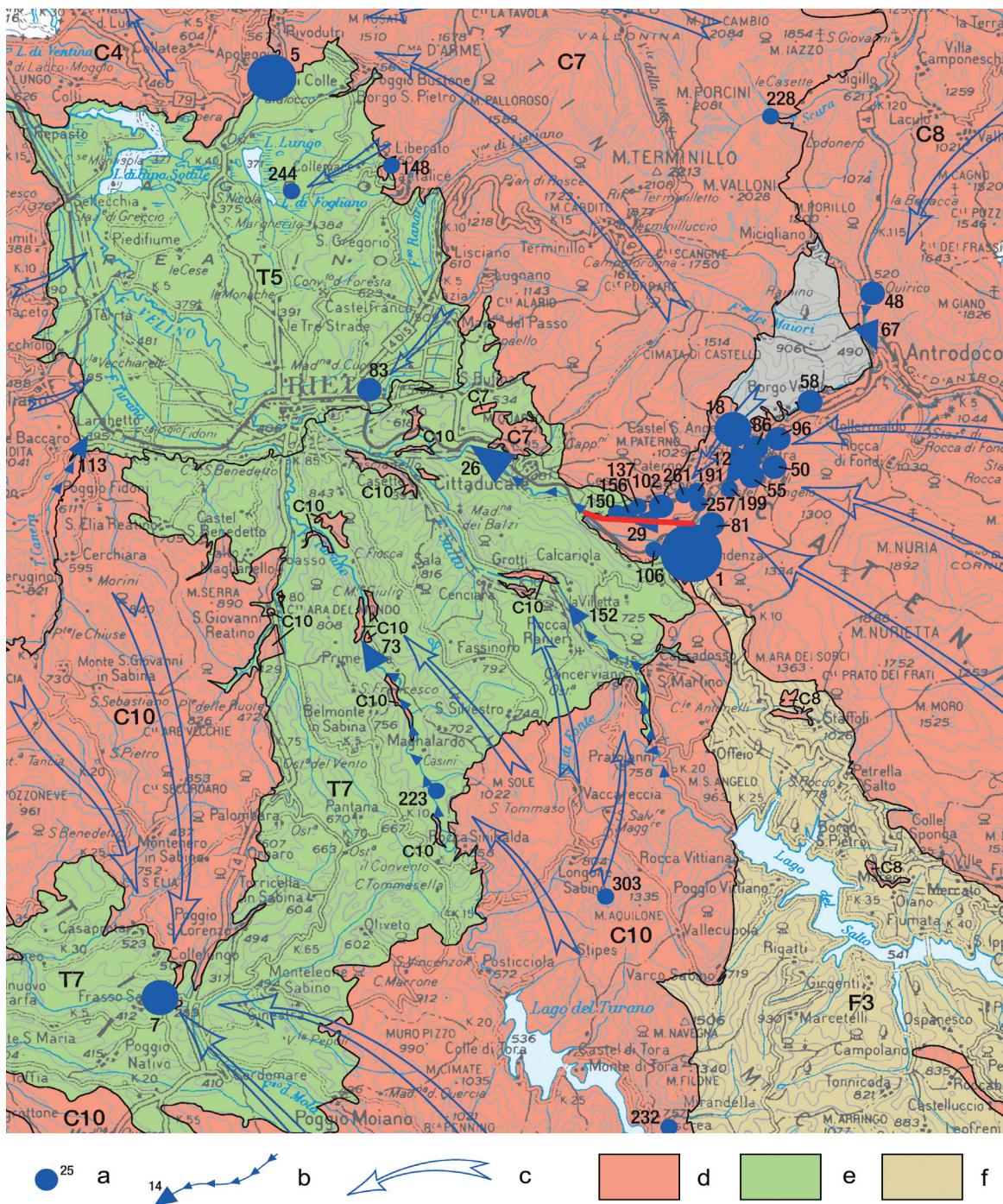


Fig. 3 - Stralcio della Carta delle Unità Idrogeologiche del Lazio in scala 1:250000 da (CAPELLI *et alii*, 2012). Nel riquadro è indicata l'area di studio. Legenda: a) sorgente puntuale e relativo numero di riferimento; b) sorgente lineare e relativo numero di riferimento; c) direzione del flusso idrico sotterraneo; d) Unità idrogeologica C10 dei Monti Sabini meridionali - Prenestini; e) Unità idrogeologica T7 dei Conglomerati Plio-Pleistocenici; f) Unità idrogeologica F3 del Lago del Salto

- Hydrogeological scheme from the hydrogeological unit map of Latium at 1:250000 scale (CAPELLI *et alii*, 2012). The box corresponds to the study area. Legend: a) Spring and ID number; b) Linear spring and ID number; c) Groundwater flow direction; d) Hydrogeological Unit C10 of "Monti Sabini meridionali - Prenestini"; e) Hydrogeological Unit T7 of "Conglomerati Plio-Pleistocene"; f) Hydrogeological Unit F3 of "Lago del Salto"

mentale della piana reatina e della valle del torrente Canera con una descrizione dettagliata dei principali complessi idrogeologici ed una valutazione dell'infiltrazione efficace basata sugli studi di BONI *et alii* (1986, 1995). Gli Autori distinguono in particolare nella media valle del fiume Turano (Monti Sabini Meridionali):

- Il complesso conglomeratico-sabbioso (Pliocene sup.-Pleistocene): caratterizzato da depositi tipici di un ambiente da conoide alluvionale a fluvio-lacustre, da una scarsa permeabilità, tuttavia variabile data la notevole eterogeneità dei sedimenti che lo caratterizzano, e da una infiltrazione efficace inferiore a 200 mm/anno.
- Il complesso marnoso-calcareo (Eocene sup.-Miocene medio): comprende la Scaglia Cinerea ed il Bisciario che costituiscono gli acquicludi degli acquiferi meso-cenozoici ed è dotato di una scarsa permeabilità e di una infiltrazione efficace inferiore a 200 mm/anno;
- Il complesso calcareo-marnoso (Cretacico medio-Eocene medio): è costituito dalle formazioni delle Marne a Fucoidi (acquicludi), Scaglia Bianca e Rossa ed è caratterizzato da una media permeabilità e da una infiltrazione efficace di 500-600 mm/anno;
- Il complesso calcareo-basale: comprende le formazioni dal Calcarea Massiccio fino alla Maiolica dove Rosso Ammonitico e Marne ad Aptici/Diaspri svolgono un limitato ruolo di separazione idraulica. E' dotato di una permeabilità elevata e di una infiltrazione efficace tra i 600 e 750 mm/anno.

I dati disponibili sulla nuova Carta Idrogeologica della Regione Lazio (CAPELLI *et alii*, 2012) indicano per l'unità dei monti Sabini Meridionali una infiltrazione efficace media di 500 mm/anno; per quella dei Monti Sabini Settentrionali 650 mm/anno, con una variazione per i singoli complessi idrogeologici che evidenzia la necessità di definire il parametro per ciascuna idrostruttura (MASTRO-RILLO *et alii*, 2009). L'andamento delle precipitazioni medie annue tra il 1951 ed il 2004 mostra variazioni da un minimo di 900 della stazione di Poggio Mirteto, ai 1100 mm della stazione di Rieti, fino a 1500 mm in quella di Contigliano, con valori massimi nei mesi di novembre-dicembre e minimi in luglio (MARTARELLI *et alii*, 2008a, b).

METODOLOGIA

Lo studio si basa sui risultati di quattro campagne di misure, realizzate in periodo estivo nel 2002 e nel 2013, finalizzate a valutare la portata media e minima delle sorgenti puntuali e lineari che alimentano il fiume Turano e alla raccolta dei principali parametri chimico-fisici delle acque, completate da analisi isotopiche dell'acqua in alcuni punti. Sono state eseguite misurazioni su sei sezioni complessive, cinque delle quali localizzate lungo il corso del fiume principale (I, II, III, IV, V). La sezione VI è stata ricavata lungo un affluente destro che confluisce nel Turano tra la sezione I e II misurando le acque provenienti dalla sorgente Laghetto (Fig. 4). Le misure sono sempre state effettuate lontano da eventi atmosferici significativi, di modo che gli incrementi registrati tra sezioni successive rappresentino una stima quantitativa della portata della sorgente lineare localizzata lungo il corso del fiume principale e le

In particular, in the Turano river valley (southern Sabini Mts.), the Authors identify:

- a conglomeratic-sandy complex (upper Pliocene-Pleistocene): deposits typical of an alluvial fan to a fluvio-lacustrine environment; permeability is low but variable, given the high heterogeneity of sediments; effective infiltration is below 200 mm/yr;
- a marly-calcareous complex (upper Eocene-middle Miocene): including Scaglia Cinerea and Bisciario, i.e. the aquicludes of the Meso-Cenozoic aquifers; permeability is low and effective infiltration is below 200 mm/yr;
- a calcareous-marly complex (middle Cretaceous-middle Eocene): formations of Marne a Fucoidi (aquicludes), Scaglia Bianca and Scaglia Rossa; permeability is average and effective infiltration is 500-600 mm/yr;
- a calcareous-basal complex: including Calcarea Massiccio to Maiolica formations, where the Rosso Ammonitico and Marne ad Aptici/Diaspri play a minor role of hydraulic separation; permeability is high and effective infiltration ranges from 600 to 750 mm/yr.

The data of the new Hydrogeological Map of Latium (CAPELLI *et alii*, 2012) indicate 500 mm/yr of effective infiltration for the southern Sabini Mts. unit and 650 mm/yr for the northern Sabini Mts. one; variations within the individual hydrogeological complexes suggest the need to define this parameter for each hydrostructure (MASTRO-RILLO *et alii*, 2009). Yearly average precipitation from 1951 to 2004 shows variations from a minimum of 900 mm at the Poggio Mirteto station to 1,100 mm at the Rieti station and of up to 1,500 mm at the one of Contigliano, with maxima in November-December and minima in July (MARTARELLI *et alii*, 2008a, b).

METHODOLOGY

The study is based on the findings from four monitoring surveys, conducted in the summer period in 2002 and 2013. The surveys were expected to: i) assess the average and minimum discharge from the localised and linear springs supplying the Turano river; and ii) collect data on the main physico-chemical parameters of the waters, supported by isotope analyses of the same waters in some points. Measures were taken along a total of six sections, five of which located along the course of the main river (I, II, III, IV, V). Section VI was obtained along a small left tributary flowing into the Turano River between section I and section II, by measuring the waters from the Laghetto spring, lying at the piedmont of Mt. Pelato (Fig. 4). The measures were always taken in periods far from major weather events, so that increases recorded between successive sections would give a quantitative estimation of discharge from the linear spring along the course of

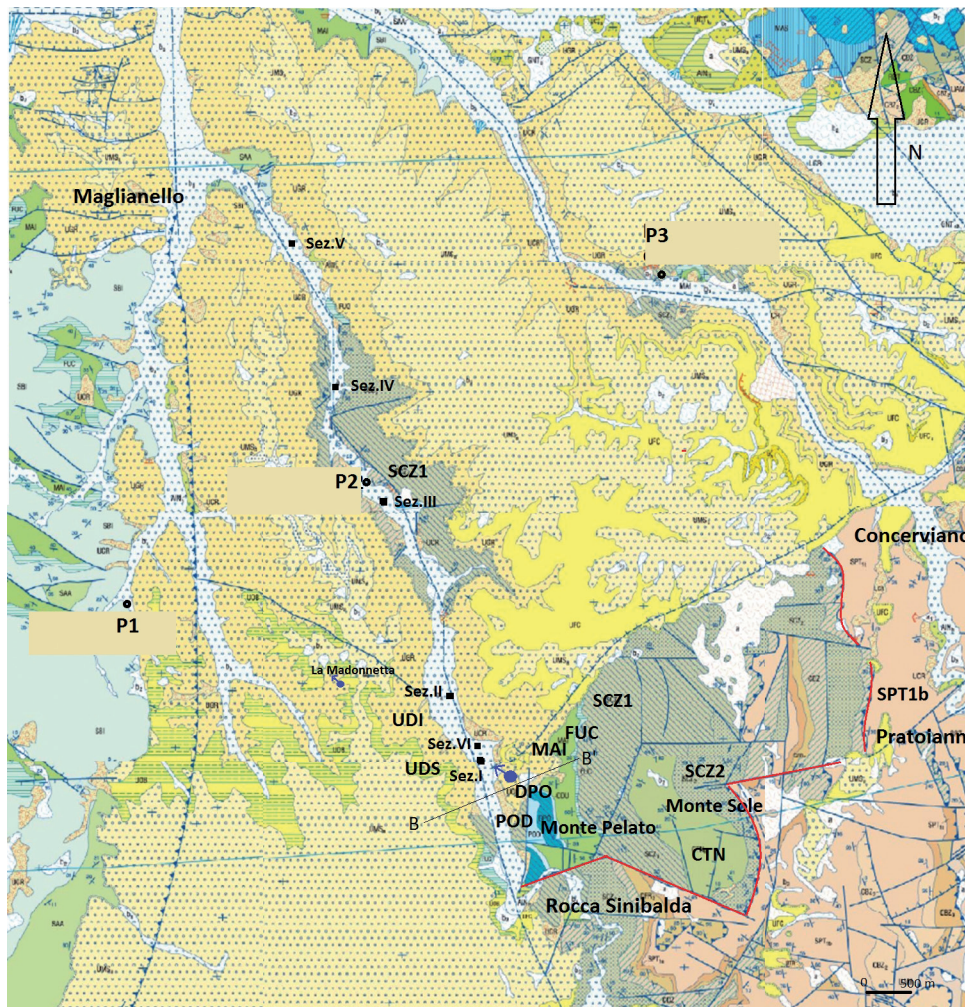


Fig. 4 - Caratteristiche geologiche della media valle del fiume Turano, sezioni e piezometri di monitoraggio. LEGENDA: POD) Calcari e marne a Posidonia; DPO) Calcari detritici con Posidonia; MAI) Maiolica; FUC) Fucoidi; SCZ1) Scaglia Detritica: Membro calcarenitico-calciuriditico; CTN) Scaglia Detritica: calcari cristallini; SCZ2) Scaglia Detritica: Membro calciuriditico-calcarenitico; SPT1b) Unità spongolitica: Membro marnoso di Guadagnolo. Per i depositi continentali neogenici sono indicate le unità deposizionali superiore ed inferiore, rispettivamente: UDS e UDI. B-B': sezione idrogeologica di Fig. 9. Le sezioni di misura si riferiscono alla Tabella 1 ed i piezometri alla Fig. 7. Sezione BB' di Fig. 9 (Modificata da ISPRA, 2013)

- *Turano middle valley geological setting, discharge survey location and monitoring piezometers. Formation LEGEND: POD) "Calcari and marne a Posidonia"; DPO) "Calcari detritici con Posidonia"; MAI) "Maiolica"; FUC) "Fucoidi"; SCZ1) "Scaglia Detritica: Membro calcarenitico-calciuriditico"; CTN) "Scaglia Detritica: calcari cristallini"; SCZ2) "Scaglia Detritica: Membro calciuriditico-calcarenitico"; SPT1b) "Unità spongolitica: Membro marnoso di Guadagnolo". Villafranchian continental deposits are divided into upper and lower depositional unit, UDS and UDI. Section B-B' refers to Fig. 9. Discharge measurement locations refer to Table 1 and piezometers to Fig. 7. BB' line refers to Fig. 9 (modified from ISPRA, 2013)*

quote di affioramento della falda identifichino l'estensione del reticolo idrografico perenne (BONI *et alii*, 1993).

Il rilevamento geologico di dettaglio e le informazioni geologico-strutturali generali dell'area hanno permesso di delineare la possibile geometria e la relativa estensione del bacino di alimentazione della sorgente Laghetto, comprendente la struttura del Monte Pelato-Monte Sole.

I dati raccolti sono stati interpretati secondo i criteri dell'idrogeologia quantitativa per ricostruire un modello preliminare di circolazione idrica sotterranea dove il parametro infiltrazione efficace, ottenuto dal

the main river and that groundwater outcrop elevations would identify the extent of the perennial hydrographic network (BONI *et alii*, 1993).

The geometry and extent of the basin supplying the Laghetto spring (including the Mt. Pelato-Mt. Sole structure) were inferred from detailed geological surveys and general geological-structural data about the investigated area.

The collected data were interpreted under quantitative hydrogeology criteria, with a view to reconstructing a preliminary model of groundwater flow. This model was validated through the effec-

rapporto tra la portata media erogata dalla sorgente Laghetto e la sua area di alimentazione, è stato utilizzato per la validazione (BONI *et alii*, 1986). Il censimento delle sorgenti è stato accompagnato dalla misura in situ dei principali parametri chimico-fisici delle acque: la temperatura (°C), il pH e la conducibilità elettrica (µS/cm), eseguiti utilizzando la sonda multi-parametrica della WTW, modello “Multi 340i”.

L’attività di campagna ha inoltre previsto un monitoraggio della falda intercettata da tre piezometri dislocati in diversi settori dell’area meridionale del bacino di Rieti (Fig. 4), a nord-ovest rispetto all’area di alimentazione della sorgente Laghetto.

Campionamenti per le analisi isotopiche dell’acqua sono stati eseguiti sulle sezioni I, II, III e VI, sui piezometri P1, P2, P3 e sulla sorgente La Madonnetta. Le relative analisi sono state eseguite presso il Laboratorio di Idrologia Isotopica dell’Università di Parma.

RISULTATI

I risultati delle misure di portata in L/s sono sintetizzati in Tab. 1 e visualizzati in Fig. 5. La scarsità di piogge della stagione estiva e l’assenza del rilascio dalla diga di Posticcioia, fanno ritenere che la curva relativa al periodo di luglio 2002 rispecchi l’andamento del flusso di base lungo il corso del fiume Turano (portata media di 167 L/s). I dati

tive infiltration parameter, given by the ratio of the average discharge from the Laghetto spring to its recharge zone (BONI *et alii*, 1986). The survey of springs was associated with in-situ measures of the key physico-chemical parameters of the waters: temperature (°C), pH and electrical conductivity (µS/cm); the measures were taken by using the WTW (Mod. 340i) multiparametric probe. Field activities included the monitoring of the water table, intercepted by three piezometers located in different sectors of the southern area of the Rieti basin (Fig. 4), NW of the Laghetto spring recharge zone.

Water samples for isotope analyses were collected from the river sections I, II, III and VI and from the piezometers P1-P2-P3; a sample comes from the perched spring La Madonnetta (Fig. 4). The related analyses were carried out at the “Laboratorio di Idrologia Isotopica” of the Parma University.

RESULTS

Table 1 and Figure 5 summarise the results of discharge measures in terms of L/s. Scarce precipitation in the summer period and no releases from the Posticcioia dam infer that the curve for the July 2002 period reflects the trend of the base flow along the Turano river (average discharge: 167 L/s). The data of section VI indicate that discharge

Sections	Elevation (m a.s.l.)	Discharge 07/2002	Discharge 11/2002	Discharge 06/2013	Discharge 08/2013	Mean Discharge
I	416	0	341	706	384	358
II	411	223	547	1419	1349	885
III	406	206	965	2009	1065	1061
IV	401	222	977	1569	886	914
V	398	185	398	1641	1247	1003
VI	412	54	111	671	582	355

Tab. 1 - Sintesi delle portate misurate in L/s nelle sei sezioni della media valle del Fiume Turano
- Results of discharge surveys in L/s along the six measurement locations of Turano middle valley

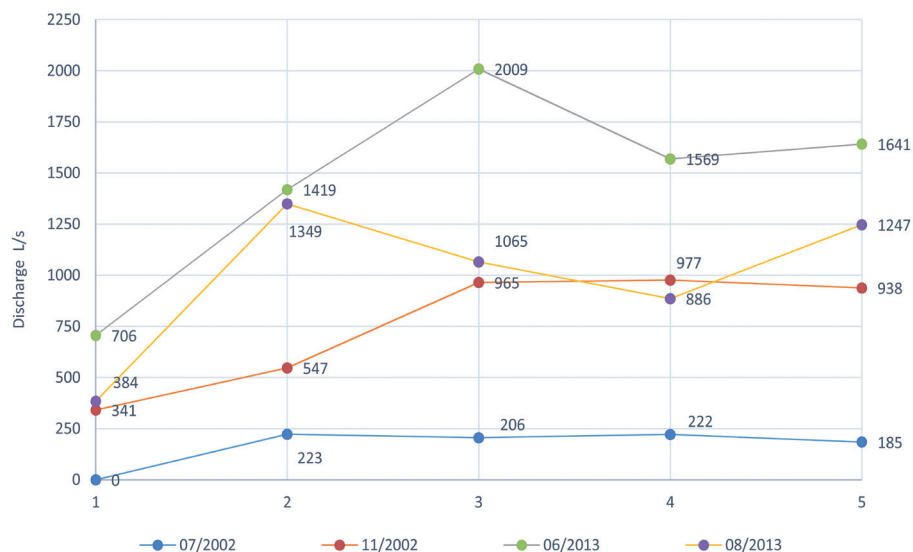


Fig. 5 - Andamento delle portate in L/s registrate nelle cinque sezioni localizzate lungo il corso del Fiume Turano. Durante le misure del luglio 2002 il rilascio dalla diga di Posticcioia era nullo
- Discharge trend in L/s at five measurement locations along Turano river. Only during measurements made in July 2002, the river does not receive water from Posticcioia dam

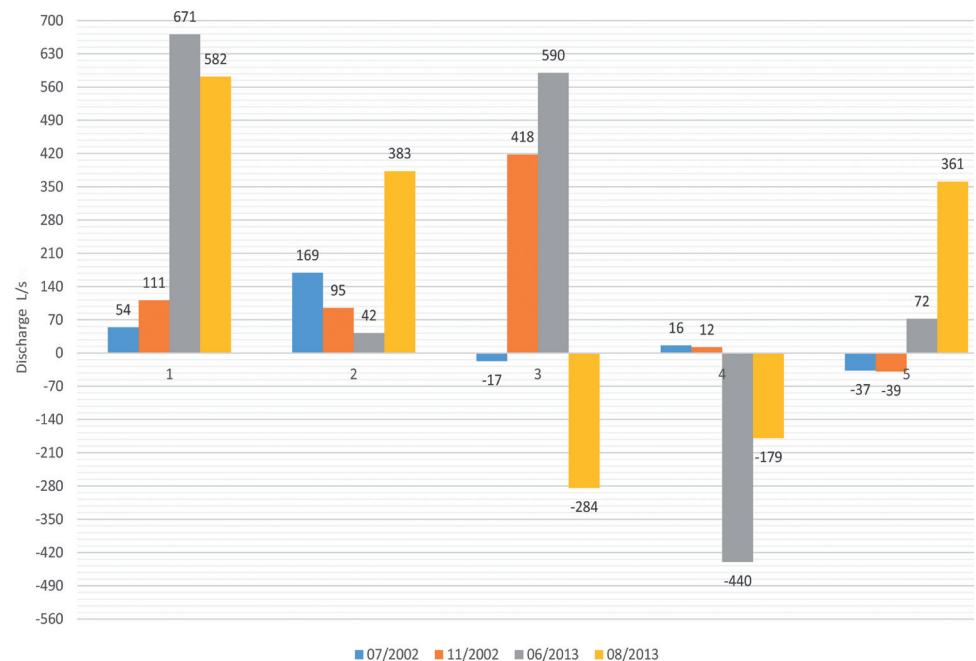
relativi alla sezione VI mostrano che il regime della sorgente Laghetto varia stagionalmente, con una portata media di circa 355 L/s e minima di 54 L/s registrata nel 2002. La Figura 6 mostra le variazioni di portata tra due sezioni successive lungo il corso del fiume principale. Mediamente i dati raccolti indicano che il fiume Turano nel tratto compreso tra la sezione I e II subisce un incremento netto di 172 L/s e tra la sezione II e III di 177 L/s, per una portata totale della sorgente lineare di circa 350 L/s. La risorsa idrica sotterranea complessiva, con il contributo della sorgente pedemontana, arriva a circa 700 L/s. Tra la sezione III e IV si riscontra un decremento medio in alveo di 148 L/s, mentre tra la IV e V un incremento medio di 89 L/s. Negli ultimi due tratti menzionati i dati indicano che il comportamento del fiume Turano risulta essere talvolta drenante, talvolta perdente nei confronti della falda; rispettivamente si osserva un'inversione di tendenza tra gli andamenti registrati durante le campagne del 2002 e quelle del 2013.

I dati raccolti durante la campagna del luglio 2002 sono maggiormente rappresentativi delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee emergenti nella media valle del Fiume Turano (Tab. 2). Queste mostrano un carattere debolmente alcalino, tipico di acque cir-

from the Laghetto spring is seasonally variable: from an average of roughly 355 L/s to a minimum of 54 L/s in 2002, a year with below-average precipitation. Figure 6 displays discharge changes between two successive sections along the course of the main river. On average, the gathered data indicate that discharge in the Turano River sharply rises by 172 L/s between section I and section II and by 177 L/s between section II and III, with a total discharge from the linear spring of about 350 L/s. The overall groundwater resource, together with the contribution from the piedmont spring, reaches approximately 700 L/s. In-stream discharge decreases on average by 148 L/s between section III and IV and increases on average by 89 L/s between section IV and V. The data obtained for the latter two sections suggest that the river may alternatively drain or lose groundwater; a reversal trend was observed in the surveys of 2002 and 2013.

The data gathered in the July 2002 survey are the most representative ones of the physico-chemical characteristics of the waters emerging in the middle Turano river valley (Tab. 2). These waters are weakly alkaline, which is typical of waters flowing through carbonate rocks, but their alkalinity gradually increases downstream.

Fig. 6 - Andamento della portata in L/s della sorgente Laghetto e variazioni di portata tra sezioni successive lungo l'alveo del fiume Turano. LEGENDA: 1) portate registrate nella Sez. VI; 2) variazioni di portata registrate tra le Sez. II-I; 3) variazioni di portata tra le Sez. III-II; 4) variazioni di portata tra le Sez. IV-III e 5) variazioni di portata tra le Sez. V-IV



Period 07/2002	Sez.I	Sez.II	Sez.III	Sez.IV	Sez.V	Sez.VI
pH	7,36	7,75	7,92	8,12	8,06	7,66
Temperature (°C)	14,2	15,1	15,9	17	16,8	15,1
Conductivity (µS/cm)	505	505	502	486	460	504

Tab. 2 - Valori dei principali parametri chimico-fisici delle acque sorgive che alimentano il corso del fiume Turano registrati durante la campagna del luglio 2002, in assenza di acque di ruscellamento e senza il rilascio della diga di Posticcioia

- Main physico-chemical parameter values of groundwater flowing into the Turano river, recorded during July 2002 measurements, without run off and water from Posticcioia dam

**HYDROGEOLOGICAL SURVEYS TO ASSESS GROUNDWATER RESOURCES
IN THE MIDDLE VALLEY OF THE TURANO RIVER (CENTRAL ITALY)**

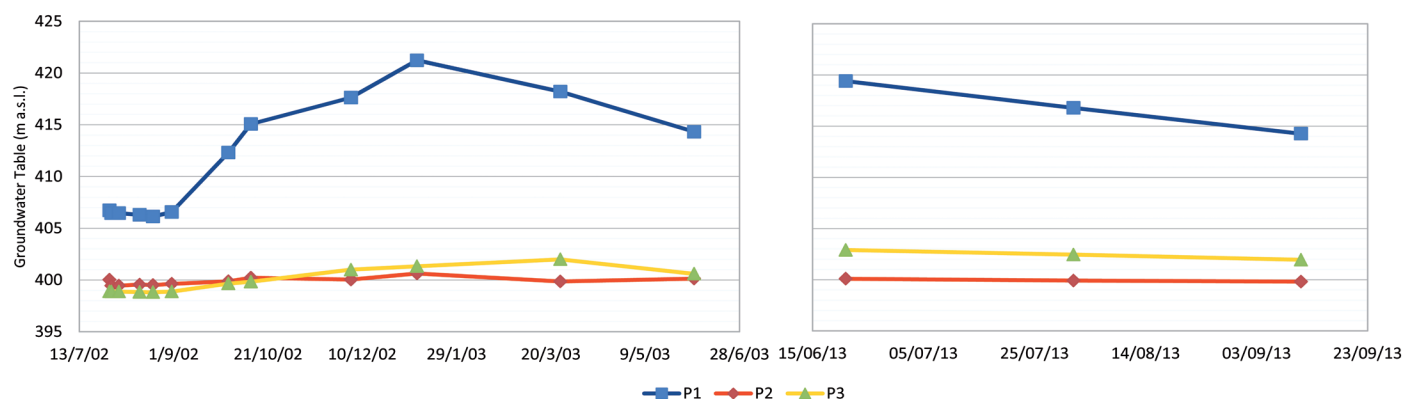


Fig. 7 - Andamento del livello di falda in metri sul livello del mare nei tre piezometri dislocati nel settore meridionale del bacino di Rieti (ubicazione in Fig. 4)
- Water table trend in m a.s.l. in monitored piezometers located in the southern Rieti basin (location in Fig. 4)

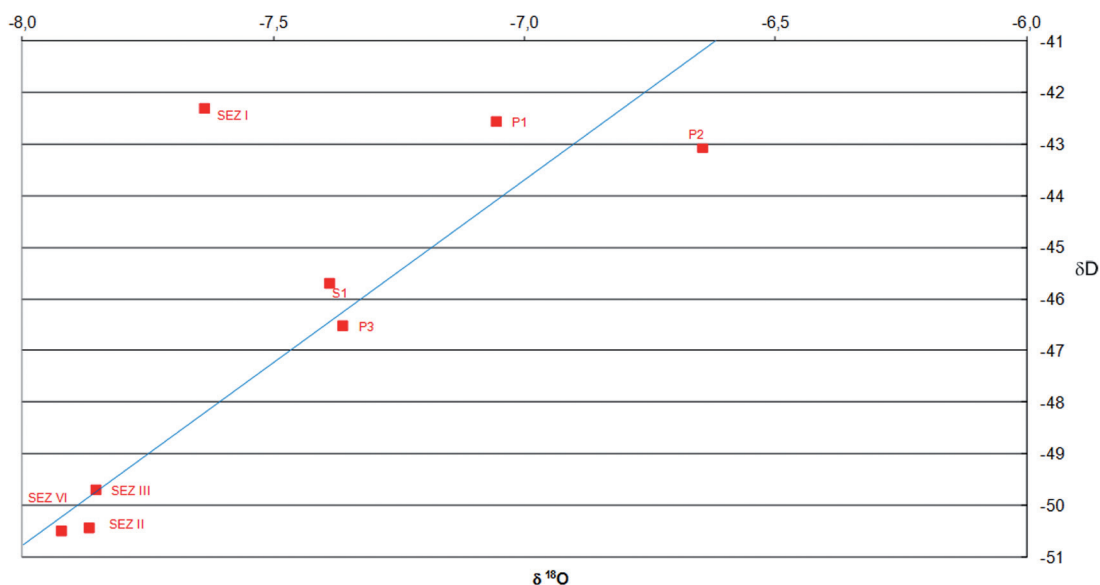


Fig. 8 - Dati isotopici relativi alle sezioni di misura sul Turano, ai piezometri e alla sorgente locale La Madonnetta (S1). L'ubicazione dei punti di campionamento è in figura 4. La retta blu rappresenta la linea isotopica relativa all'Italia Centrale secondo LONGINELLI & SELMO, 2003
- Isotope data related to Turano River measurement sites, to piezometers and to the perched spring Madonnetta (S1). Location in Fig. 4. The blue line represents the Meteoric Line for Central Italy (LONGINELLI & SELMO, 2003)

colanti in rocce carbonatiche, che aumenta gradualmente verso valle. I valori di conducibilità elettrica più elevati si osservano tra la sezione I e III, in corrispondenza del drenaggio delle sorgenti lineare e puntuale de Laghetto. Il livello della falda, monitorato su tre piezometri con continuità dal luglio del 2002 fino a giugno del 2003 e nel 2013, è riportato in Fig. 7. Nella media valle del fiume Turano (P2) questo si mantiene nel complesso a quote inferiori rispetto ai livelli nelle limitrofe valli del torrente Ariana (P1) ad ovest e del fiume Salto (P3) ad est. I dati isotopici confermano un'alimentazione da ricarica meteorica, allineandosi lungo una retta di correlazione simile a quella per l'Italia Centrale (LONGINELLI & SELMO, 2003). I valori ottenuti sono compresi tra -42.5 e -50.5 $\delta D\%$ e tra -7.92 e -6.65 per il $\delta^{18}O\%$ (Fig. 8).

The highest values of electrical conductivity are observed between section I and section III, near the drainage of the linear and localised spring of Laghetto. Figure 7 displays the groundwater level, continuously monitored via three piezometers from July 2002 to June 2003 and in 2013. In the middle Turano river valley (P2), the groundwater level usually remains at lower elevations than those in the nearby valleys of the Ariana stream (P1) to the W and of the Salto River (P3) to the E.

Isotopic data confirm the origin of groundwater from rainfall, showing a correlation line very similar to the Central Italy one (LONGINELLI & SELMO, 2003). Measured values range from -42.5 to -50.5 for $\delta D\%$ and from -7.92 to -6.65 for $\delta^{18}O\%$ (Fig. 8).

DISCUSSIONE

L'area studiata si colloca all'interno di una zona di recapito delle acque sotterranee che si infiltrano nel settore meridionale del bacino di Rieti e confluiscono nel fiume Turano attraverso il contributo di una sorgente pedemontana ed un drenaggio diretto in alveo.

La sorgente puntuale Laghetto può essere considerata espressione del livello di base locale della falda contenuta nei complessi carbonatici del substrato umbro-sabino. Considerando la portata media erogata (355 L/s) e un'area di alimentazione approssimativamente di 16 km² si ottiene una infiltrazione efficace compresa tra 600 e 700 mm/anno, valore leggermente superiore ma comunque confrontabile con quelli noti in letteratura relativi al substrato carbonatico sabino (MARTARELLI *et alii*, 2008a, b). Il bacino di alimentazione corrisponderebbe alla struttura del Monte Pelato-Monte Sole, dove i principali acquiferi appartengono al complesso calcareo-basale e calcareo-marnoso e comprendono rispettivamente la formazione della Maiolica e della Scaglia Detritica. Il Membro marnoso della Formazione di Guadagnolo ed i depositi appartenenti al complesso conglomeratico-sabbioso rappresentano i potenziali limiti a flusso nullo della struttura e le principali linee tettoniche, quale il sovrascorrimento Prato Gianni-Concerviano, ne costituiscono le barriere idrauliche (Fig. 4).

Le portate in gioco complessivamente variano tra i circa 220 L/s del 2003 fino agli oltre 800 L/s osservati nel 2013. La variabilità osservata nel regime di portata della sorgente è verosimilmente legata alla variazione della ricarica stagionale, come testimoniano gli studi di MARTARELLI *et alii* (2008) condotti nella vicina valle del torrente Canera, ed è plausibile ritenere che l'andamento delle precipitazioni a scala pluriennale condizioni l'infiltrazione efficace nell'area di alimentazione della sorgente. La portata minima (54 L/s) registrata nel mese di luglio del 2002 coincide con un'annata caratterizzata da scarse precipitazioni e con una infiltrazione efficace presumibilmente più bassa rispetto alla media. Nel 2013, quando la sorgente è a pieno regime, si ipotizzano maggiori precipitazioni, elevata infiltrazione efficace decisamente superiore alla media ed un gradiente idraulico tale da giustificare portate anche superiori ai 600 L/s.

Un profilo geologico trasversale alla valle del Turano passante per la sorgente Laghetto, mostra i rapporti stratigrafici e l'assetto idrogeologico dell'area del Monte Pelato (Fig. 9). Da questa ricostruzione emerge che la falda regionale oltre ad alimentare la sorgente è in relazione con l'acquifero locale contenuto nei depositi conglomeratici; la mancanza di emergenze puntuali al contatto diretto tra il substrato e i depositi recenti su tutta l'area indagata conferma la continuità idraulica laterale tra questi due acquiferi. Le interrelazioni tra la sorgente Laghetto ed il drenaggio lineare lungo il Turano sono tali che quando la sorgente è in fase di magra, il drenaggio in alveo tra la sezione I e II è più ingente; quando al contrario la sorgente è a pieno regime, il contributo tra queste due sezioni è inferiore, raggiungendo il valore minimo (42 L/s) quando la sorgente eroga la portata massima di 671 L/s. I dati chimico fisici confortano questa ipotesi, in quanto il pH e la conducibilità elettrica

DISCUSSION

The investigated area lies in a zone of discharge of groundwater that infiltrates into the southern sector of the Rieti basin and flows into the Turano River, thanks to the contribution of a piedmont spring and direct in-stream drainage.

The localised spring of Laghetto may be regarded as the expression of the local base level of the groundwater contained in the calcareous-basal complex of the Umbria-Sabina bedrock. Considering its average discharge (355 L/s) and a recharge zone of approximately 16 km², effective infiltration is 600 to 700 mm/yr, a value slightly higher, but anyway comparable with those reported in the literature for the Sabine carbonate bedrock (MARTARELLI *et alii*, 2008a, b). The recharge basin corresponds to the Mt. Pelato-Mt. Sole structure, where the main aquifers belong to the calcareous-basal and calcareous-marly complexes and include the Maiolica formation and the Scaglia-Detritica one, respectively. The marly member of the Guadagnolo formation and the deposits of the conglomeratic-sandy complex represent the potential no-discharge boundaries of the structure, whereas the main tectonic lines, e.g. the Prato Gianni-Concerviano overthrust, represent their hydraulic barriers (Fig. 4).

Total discharge ranges between 220 L/s in 2003 and more than 800 L/s recorded in 2013. The variability of discharge from this spring is likely to be related to changes in seasonal recharge, as testified by the studies conducted by MARTARELLI *et alii* (2008b) in the neighbouring Canera stream valley. It is plausible to assume that the long-term pattern of precipitation has an impact on effective infiltration in the spring recharge zone. The minimum discharge (54 L/s) recorded in July 2002 corresponds to a year of scarce precipitation and with a presumably below-average effective precipitation. Conversely, the high-flow conditions recorded in 2013 imply higher precipitation, high effective infiltration (definitely above average) and a hydraulic gradient justifying discharges of more than 600 L/s.

A geological section transversal to the Turano valley and passing through the Laghetto spring shows the stratigraphic relationships and the hydrogeological setting of the Mt. Pelato area (Fig. 9). This reconstruction infers that the regional groundwater not only recharges the localised spring, but is also in communication with the local aquifer contained in the conglomeratic deposits of the UDI. The absence of localised springs at the direct contact between the bedrock and the recent deposits, throughout the investigated area, substantiates the lateral hydraulic continuity existing between these two aquifers. The interrelations between the Laghetto spring and linear drainage in the Turano River are such that when the spring is under low-flow conditions, in-stream drainage between section I and section II is more significant. Conversely, when the spring is under high-flow conditions, the in-stream contribution between these two sections is smaller, reaching a minimum of 42 L/s, when the spring delivers its peak discharge of 671 L/s.

Physico-chemical data corroborate this hypothesis, taking into account that electric conductivity in the Turano River between sec-

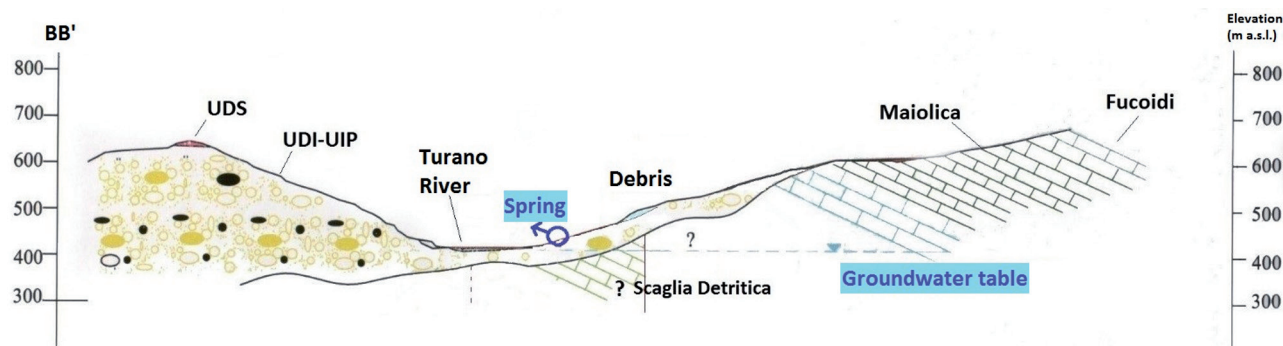


Fig. 9 - Sezione idrogeologica semplificata trasversale alla media valle del fiume Turano, passante per la sorgente Laghetto (BB' in Fig. 4)
- Hydrogeological section crossing the middle valley of Turano river at Laghetto spring (BB' in Fig.4)

nella sez. VI, emissario della sorgente, e nel tratto tra le sezioni I e III risultano del tutto simili. Ulteriore conferma viene dai dati isotopici da cui emerge inoltre un'area di alimentazione localizzata a quote medie più elevate per la sorgente Laghetto (sez. VI) rispetto alle altre acque sotterranee campionate. Lungo il Turano i valori isotopici cambiano in corrispondenza dell'incremento in alveo tra la sezione I e III, confermando una zona di alimentazione comune per la sorgente puntuale e lineare. La sorgente La Madonnetta, connessa ad una falda sospesa, presenta valori meno negativi dei due isotopi, confermando indirettamente un bacino di alimentazione per la sorgente Laghetto a quote medie più alte, corrispondente al rilievo carbonatico del Monte Pelato-Monte Sole.

Nei due anni rispettivi di osservazione, il 2002 e il 2013, le condizioni idrogeologiche sono state completamente differenti, sia dal punto di vista della ricarica degli acquiferi appenninici, con minimo pluriennale riscontrato tra il 2002 ed il 2003 (PETITTA, 2009), che dell'entità del rilascio della diga di Posticcioia, avente valori massimi nel 2013. Si possono quindi ipotizzare due modalità differenti di alimentazione della sorgente Laghetto e della corrispondente sorgente lineare, pur alimentate dalle medesime aree di alimentazione. Negli anni e nei periodi di magra, con stazionamento della falda a quote più basse e con gradienti idraulici inferiori, viene privilegiato il drenaggio in alveo e la sorgente puntuale presenta deflussi minimi; viceversa, quando la quota di saturazione nell'acquifero carbonatico basale aumenta, le condizioni strutturali di alimentazione della sorgente Laghetto consentono un deflusso maggiore, probabilmente per la presenza di direttrici preferenziali connesse con la fratturazione, con conseguente minore travaso idrico verso i depositi continentali e quindi verso l'alimentazione fluviale.

La presenza della sorgente lineare tra la sezione I e III indica che il recapito finale delle acque sotterranee, che dall'acquifero carbonatico travasano verso i depositi continentali neogenici (UDI e alluvioni), è rappresentato dal fiume Turano. Nel tratto tra la sezione I e II la portata media della risorsa idrica sotterranea proveniente dall'acquifero carbonatico è complessivamente 527 L/s, dato che per essere giustificato necessiterebbe di un'area di alimentazione ben più estesa

tion I and III is very similar to the one measured on section VI, the outlet of the Laghetto spring. Additional confirmation comes from isotopic data, highlighting a recharge area of the Laghetto spring having relative higher elevation than the rest of the sampled groundwater. Along the Turano River, the isotopic data converge to the same values of the Laghetto spring, confirming that the streambed spring has the same recharge area than the Laghetto spring. The perched spring Madonnetta shows isotopic values less negative than the Laghetto spring and the Turano River streambed spring, indirectly confirming the existence of a recharge area for the bigger spring having higher elevation, corresponding to the one of the carbonate ridge Pelato Mt.-Sole Mt.

In the two years of observation, 2002 and 2013, hydrological conditions were completely different in terms of both recharge of Apennine aquifers, with a multi-year minimum observed between 2002 and 2003 (PETITTA, 2009), and releases from the Posticcioia dam (with peak values in 2013). Hence, two different modes of recharge may be hypothesised for the Laghetto spring and the corresponding linear spring, albeit supplied from the same recharge zones. In low-flow years and periods - with the groundwater level at lower elevations and with lower hydraulic gradients - in-stream drainage is dominant and the localised spring has minimum discharge values. By contrast, when the saturation level in the basal carbonate aquifer rises, the structural conditions for recharge of the Laghetto spring induce a higher discharge, probably as a result of preferential pathways connected with fracturing and the consequent transfer of smaller amounts of water towards continental deposits and the river.

The occurrence of the linear spring between section I and section III unquestionably indicates that the Turano River is the ultimate zone of discharge of groundwater moving from the carbonate aquifer towards Neogene continental deposits (UDI and alluvia). Between section I and section II, the average discharge of groundwater from the carbonate aquifer totals 527 L/s on average. To be justified, this value would require a zone much wider (25-40 km²) than 16 km², taking into account the expected effective infiltration (500-650 mm/yr). Also, the extent of drainage (177 L/s) between section II and section

di 16 km² (tra 25 e 40 km²) rispetto ai valori di infiltrazione efficace attesi (500-650 mm/anno). Anche l'entità del drenaggio tra la sezione II e III (177 L/s) indica un'area di alimentazione più estesa degli affioramenti di Scaglia Detritica presenti in questo tratto fluviale. E' possibile che tra l'acquifero basale contenuto nel complesso della Maiolica (alto strutturale) e in quello della Scaglia Detritica tettonicamente ribassata esista una continuità ed una alimentazione laterale. In questa ottica, correlando i dati della sorgente lineare al piezometro P2, si osserva una falda con un gradiente idraulico minimo diretto verso la piana di Rieti, a luoghi intercettata dall'incisione fluviale che determina, nel tratto prossimo alla confluenza con il Fosso dell'Ariana, un nuovo drenaggio in alveo (89 L/s).

I dati isotopici relativi ai piezometri confermano che la valle del Turano rappresenta il settore più depresso in quanto il piezometro P2 mostra valori meno negativi rispetto agli altri due piezometri. Ne consegue che anche la falda contenuta nei depositi detritici viene drenata lungo la valle dall'incisione fluviale.

CONCLUSIONI

Lo studio, condotto tra il 2002 ed il 2013, ha permesso di quantificare la risorsa idrica rinnovabile emergente nella media valle del fiume Turano e di elaborare un modello concettuale di circolazione idrica sotterranea basato sui criteri dell'idrogeologia quantitativa. La sorgente Laghetto contribuisce ad alimentare il fiume principale con una portata media di 355 L/s ed in condizioni di magra con una portata minima registrata di 54 L/s, presentando una notevole variabilità pluviennale, in funzione dell'entità della ricarica ma anche connessa alle condizioni geologico-strutturali locali. Secondo il modello proposto, si tratta di una emergenza della falda contenuta nel complesso calcareo-basale in possibile continuità idraulica stratigrafica con l'acquifero contenuto nella Scaglia Detritica, corrispondente alla struttura del Monte Pelato-Monte Sole. L'infiltrazione efficace calcolata considerando un'area di ricarica di 16 km² è compatibile con le stime proposte dagli Autori per i principali complessi idrogeologici dell'area sabina (BONI *et alii*, 1986; MARTARELLI *et alii*, 2008a, b). L'assetto idrogeologico locale e i dati isotopici mostrano anche una diretta relazione tra la falda dell'acquifero carbonatico e quella contenuta nei depositi continentali neogenici che, in questo settore, non ostacolano la circolazione idrica sotterranea verso la sorgente Laghetto e verso il corso d'acqua. Il fiume Turano drena la falda regionale da quota 416 m fino a 406 m s.l.m. con una portata media di circa 350 L/s, portando il contributo medio di acque sotterranee provenienti da questo settore a circa 700 L/s. Un ulteriore drenaggio è presente anche in un breve tratto prossimo alla confluenza con il fosso dell'Ariana tra quota 401 m e 398 m s.l.m. dove l'incremento medio è di circa 90 L/s, correlato a perdite in alveo dello stesso ordine di grandezza nel tratto afferente subito a monte del fiume Turano. La variabilità della portata della sorgente lineare ha andamento opposto rispetto a quella della sorgente Laghetto, portando ad un modello concettuale della circolazione idrica che vede prevalere il drenaggio più intenso verso la sorgente Laghetto in con-

III points to a recharge zone wider than the Scaglia Detritica outcrops occurring in this portion of the river. Hence, it is plausible to assume that the basal aquifer of the Maiolica complex and the one of the tectonically downthrown Scaglia Detritica are in hydraulic continuity and laterally recharged from zones much wider than the bedrock outcrops near the spring. Based on the above assumption, the correlation of the data of the linear spring with those from piezometer P2 (close to the Turano River and thus representing the base level) suggests that groundwater has a minimum hydraulic gradient towards the Rieti Plain and is intercepted by the river. This fact causes a new in-stream drainage (89 L/s) in the terminal reach of the river, near its confluence with the Ariana stream.

Isotopic data from piezometers give a confirmation that the Turano Valley represents the lowest local drainage system, taking into account that P2 shows isotopic values less negative respect with the other piezometers; it means that also the groundwater from the recent deposits is drained by the Turano River along the valley.

CONCLUSIONS

The study conducted between 2002 and 2013 quantified the renewable groundwater resource emerging in the middle Turano River valley, proposing a preliminary conceptual model of groundwater flow based on quantitative hydrogeology. The Laghetto spring contributes to the main river with an average discharge of 355 L/s and, under low-flow conditions, with a minimum recorded discharge of 54 L/s; however, discharge is highly variable over the years, supposedly depending on changes in infiltration but also on local geological-structural conditions. Under the proposed model, this spring delivers groundwater from the calcareous-basal complex, which may be in stratigraphic hydraulic continuity with the aquifer of Scaglia Detritica, corresponding to the Mt. Pelato-Mt. Sole structure. Effective infiltration, calculated considering a recharge zone of 16 km², is consistent with the estimations made by the Authors for the main hydrogeological complexes of the Sabina area (BONI *et alii*, 1986; MARTARELLI *et alii*, 2008a,b). Nevertheless, the local hydrogeological setting and isotopic data also show a likely direct relationship between groundwater from the carbonate aquifer and the one contained in recent deposits; in this sector, the latter deposits do not hinder groundwater flow towards the Laghetto spring and the river. The Turano river drains the regional groundwater at an elevation of 416 to 406 m asl, near the Laghetto spring, with an average discharge of roughly 350 L/s, for a total groundwater contribution of about 700 L/s. An additional drainage of about 90 L/s, related to river discharge decreases recorded upstream, is present also in a second short portion of the river near its confluence with the Ariana stream at an elevation of 401 to 398 m a.s.l. The variability of discharge from the linear spring is opposite to the one of the Laghetto spring. That leads to a conceptual model of groundwater flow in which, under low-flow conditions, drainage by the Turano River is dominant and, otherwise, under higher-recharge conditions, groundwater flow is more intense

dizioni di maggiore alimentazione, grazie probabilmente al drenaggio preferenziale da parte del substrato fratturato.

Per giustificare la portata complessiva è necessario considerare un bacino di alimentazione al di fuori dell'area oggetto di studio, in quanto l'estensione degli affioramenti carbonatici non giustifica gli incrementi di portata media totale registrata nei periodi piovosi (2013). I valori isotopici della sorgente Laghetto e del corrispondente drenaggio in alveo confermano questa ipotesi, essendo i più bassi dell'intera area di studio. Di conseguenza il fiume Turano funge da livello generale di base della circolazione idrica sotterranea a scala più estesa, nel settore compreso tra le grandi sorgenti di Le Capore e del Peschiera a ENE, come confermato dai dati piezometrici ed isotopici raccolti durante il monitoraggio.

towards the Laghetto spring, thanks probably to preferential drainage by the fracture network of the bedrock.

To justify the total discharge of about 700 L/s is necessary to consider a recharge basin likely extended well beyond the investigated area, since the extent of carbonate outcrops does not justify the increases in overall average discharge that are recorded in rainy periods (2013). The isotopic value of the Laghetto spring and of the corresponding streambed spring corroborate this hypothesis, corresponding to the higher isotopic recharge elevation of the entire basin. Finally, it can be asserted that the Turano River represents the baseflow level of groundwater flow at a wider scale, in the regional framework of the bigger springs Le Capore at SW and Peschiera at ENE, as stated by piezometric and isotopic data collected during the surveys.

OPERE CITATE / REFERENCES

- BARBERI R. & CAVINATO G.P. (1993) - *Analisi sedimentologiche ed evoluzione paleogeografia del settore meridionale del bacino di Rieti*. Studi geologici Camerti, volume speciale **1**: 39-53.
- BONI C. & BONO P. (1982) - *Prima valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace nei sistemi carsici della piattaforma carbonatica laziale abruzzese, umbro-marchigiano-sabina (Italia centrale)*. Geologia applicata e idrogeologia, **17**, Bari.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema idrogeologico dell'Italia centrale, scala 1:500000*. Mem. Soc. Geol. It., **35**: 991-1012.
- BONI C., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) - *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio*. Collana di bibliografie scientifiche CNR, **78**.
- BONI C., CAPELLI G. & PETITTA M. (1995) - *Carta idrogeologica della alta e media valle del fiume Velino*. Università La Sapienza, Com. Mont. Velino VI zona.
- CAPELLI G., COSENTINO D., MESSINA P., RAFFI R. & VENTURA G. (1987) - *Modalità di ricarica ed assetto strutturale dell'acquifero delle sorgenti Capore-S. Angelo (Monti Lucretili -Sabina meridionale)*. Geologica Romana, **26**: 419-447.
- CAPELLI G., MASTRORILLO L., MAZZA R. & PETITTA M. (2012) - *Carta delle unità idrogeologiche della Regione Lazio in scala 1:250000*. Regione Lazio- Area Difesa del Suolo.
- CAVINATO G.P., COSENTINO D., CHIARETTI F. & SERVA L. (1989) - *Caratteri geologico-strutturali del margine orientale della conca di Rieti*. Boll. Soc. Geologica, **108**: 207-218.
- CAVINATO G.P., DE RITA D., MILLI S. & ZARLENGA F. (1992a) - *Correlazione tra i principali eventi tettonici, sedimentari, vulcanici ed eustatici che hanno interessato l'entroterra (conche intra-appenniniche) e il margine costiero tirrenico laziale durante il Pliocene superiore ed il Pleistocene*. Studi Geologici Camerti, volume speciale **1**: 109-114.
- CAVINATO G.P., MICCADEI E. & PAROTTO M. (1992b) - *Stato dell'arte delle conoscenze sulla geologia plio-quadernaria dell'Italia centrale (settore laziale)*. Studi Geologici Camerti, volume speciale **1**: 27-31.
- CAVINATO G.P. & PAROTTO M. (1992) - *Evoluzione tettonica e paleogeografia della Conca di Rieti (Appennino Centrale)*. Mem. Soc. Geol. It., **45**: 608-609.
- CAVINATO G.P. (1993) - *Recent tectonic evolution of the quaternary deposits of the Rieti basin: southern part*. Geologica Romana, **29**: 411-434.
- CIVITELLI G., CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) - *Il Bacino Sabino: 2) sedimentologia e stratigrafia della serie calcarea e marnoso-spongolitica (Paleogene-Miocene)*. Mem. Soc. Geol. It., **35**: 33-47.
- CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) - *Il Bacino Sabino: 1) fenomeni di risedimentazione nella serie di Osteria Tancia*. Boll. Soc. Geol. It., **105**: 41-63.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1986) - *Assetto strutturale dei Monti Lucretili settentrionali (Sabina): nuovi dati e schema tettonico preliminare*. Geologica Romana, **25**: 73-90.
- COSENTINO D., SCOPPOLA C., SCROCCA D. & VECCHIA P. (1991) - *Stile strutturale dei monti Reatini e dei monti Sabini settentrionali a confronto*. Studi geologici Camerti, volume speciale **2**: 55-61.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1991) - *La struttura a falde della Sabina (Appennino Centrale)*. Studi geologici Camerti, volume speciale **2**: 381-387.
- GALLUZZO F. & SANTANTONIO M. (2002) - *The Sabina Plateau: a new element in the Mesozoic paleogeography of Central Apennines*. Boll. Soc. Geol. It., Volume speciale **1**: 561-588.
- ISPRA (2013) - *Foglio CARG Cittaducale n°357, scala 1/50.000 (versione su web)*; responsabile scientifico PAROTTO M., coordinatore scientifico COSENTINO D.
- LONGINELLI A. & SELMO E. (2003) - *Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map*. Journal of Hydrology, **270**: 75-88.
- MANFREDINI M. (1972) - *Studio idrogeologico della piana di Rieti*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque del CNR, **6**: 87-122.
- MARTARELLI L., PETITTA M., SCALISE A.R. & SILVI A. (2008a) - *Cartografia idrogeologica sperimentale della piana reatina (Lazio)*. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, **LXXXI**: 137-156.

- MARTARELLI L., PARIS F., PETITTA M., RIVELLINO S., SCALISE A.R. & SILVI A. (2008b) - *Cartografia idrogeologica sperimentale nella valle del Torrente Canera (Rieti, Lazio)*. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, **LXXXI**: 157-174.
- MASTORILLO L., BALDONI T., BANZATO F., BOSCHERINI A., CASCONI D., CHECCUCCI R., PETITTA M. & BONI C. (2009) - *Analisi idrogeologica quantitativa del dominio carbonatico umbro*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment **1/2009**.
- PETITTA M. (2009) - *Idrogeologia della media valle del fiume Velino e della piana di S.Vittorino (Rieti, Italia Centrale)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, **1/2009**.
- PETITTA M., PRIMAVERA P., TUCCIMEI P. & ARAVENA R. (2011) - *Interaction between deep and shallow groundwater systems in areas affected by Quaternary tectonics (Central Italy): a geochemical and isotope approach*. Environmental Earth Sciences, **63**: 11-30.
- SPADONI M., BRILLI M., GIUSTINI F. & PETITTA M. (2010) - *Using GIS for modelling the impact of current climate trend on the recharge area of the S.Susanna spring (central Apennines, Italy)*. Hydrological processes, **24**: 50-64.

Received September 2013 - Accepted November 2013