

AGGIORNAMENTO DELLE CONOSCENZE SULLE RISORSE IDRICHE DEI MONTI DI AMELIA (ITALIA CENTRALE)

UPDATE ON KNOWLEDGE OF WATER RESOURCES OF AMELIA MOUNTAINS (CENTRAL ITALY)

LUCIO DI MATTEO^(*), WALTER DRAGONI^(*) & DANIELA VALIGI^(*)

^(*) University of Perugia - Department of Earth Sciences - 06123 Perugia (PG) Italy
E-mail: valigi@unipg.it

RIASSUNTO

I Monti di Amelia, situati nell'Italia Centrale, sono costituiti da formazioni calcaree appartenenti alla Serie Umbro-Marchigiana, alla Successione Umbro-Romagnola e alle Unità Toscane. Nella dorsale è presente un acquifero regionale, drenante da N verso S, che contribuisce ad alimentare il gruppo sorgentizio di Stifone-Nera Montoro, caratterizzato da alte portate e salinità. Nella zona settentrionale dei Monti di Amelia, i dati piezometrici disponibili indicano la presenza di un flusso verso E, strettamente legato all'assetto geologico strutturale locale dell'area. Durante il periodo 2006-2008, nei pozzi idropotabili profondi presenti nella zona settentrionale della struttura, è stata registrata una riduzione dei livelli piezometrici, ricollegabile al perdurare di periodi di forte riduzione della pioggia e quindi della ricarica e all'incremento dei prelievi. Nello stesso intervallo di tempo la concentrazione in solfati nelle acque è aumentata di circa il 35%: tale incremento è riconducibile al prelievo di acque bicarbonato-solfato-alcantino terroso caratterizzate da un maggiore contenuto in solfati rispetto a quelle più superficiali di tipo bicarbonato-calciche. Il bilancio idrogeologico medio annuo mostra che i Monti di Amelia contribuiscono per non più del 15% alla portata totale del gruppo sorgentizio di Stifone-Nera Montoro. Di conseguenza oltre all'area di alimentazione dei Monti di Amelia, sono necessari non meno di 1000 km² per giustificare l'insieme delle portate sorgentizie; tali zone d'alimentazione vanno ricercate nei Monti di Narni, nelle Dorsali Martana e Sabina e probabilmente nella zona meridionale dei Monti della Valnerina e/o nel flusso regionale dalle strutture carbonatiche dell'Umbria Nord-orientale. Rimane da chiarire se il Monte Peglia e la parte settentrionale dei Monti di Amelia contribuiscono all'alimentazione delle sorgenti di base di Stifone-Nera Montoro, che nel complesso possono fornire al massimo una portata di 0.5 m³/s.

TERMINI CHIAVE: bilancio idrogeologico, sorgente di Stifone, gestione delle risorse idriche, sistema carsico

INTRODUZIONE

Il presente lavoro, sulla base di indagini inedite, aggiorna le conoscenze sulla circolazione idrica sotterranea nella zona settentrionale della catena carbonatica Narnese-Amerina (Italia Centrale).

ABSTRACT

The Amelia Mountains, in Central Italy, are mainly made up by a set of limestone formations belonging to the Umbria-Marche, the Umbria-Romagnola Sequences and the Tuscan Units. A regional aquifer located in the Amelia Mountains drains towards the high-discharge, high-salinity Stifone-Nera Montoro springs. The piezometric data in the northern part of the system indicate an eastward flowpath, strictly related to the local geological and structural set up. During the 2006-2008 period some deep wells, located in the northern section of the structure, that provide high quality drinking water, registered a reduction in water-levels, caused by a recent decrease in rainfall and in groundwater recharge, coupled with a high pumping rate. In the same period, sulphate concentrations have progressively increased by about 35%: the sulphate increasing is probably produced by the pumping of deep bicarbonate-sulphate-alkaline-earth waters characterized by high content of sulphates than the shallower aquifers (calcium-bicarbonate). The average water budget seems to show that the system provides at most only 15% of the total discharge of the Stifone-Nera Montoro springs. Hence the water budget indicates that the Stifone springs are fed by the Amelia Mountains besides a further 1000 km² area. Recharge areas are to be found in the Narni Mountains, the Martani chain, the Sabini chain and probably in the lower part of the Valnerina Mountains and/or in the regional flow coming from north-eastern Umbria. At present it is not clear if the Peglia Mountain and the northern part of the Amelia Mountains feed the Stifone-Nera Montoro springs: these areas produce a maximum discharge of 0.5 m³/s.

KEY WORDS: water budget, Stifone spring, water management, karst system

INTRODUCTION

The present paper, based on unpublished information, updates knowledge about groundwater circulation in the northern area of the carbonatic Narnese-Amerina chain (Central Italy).

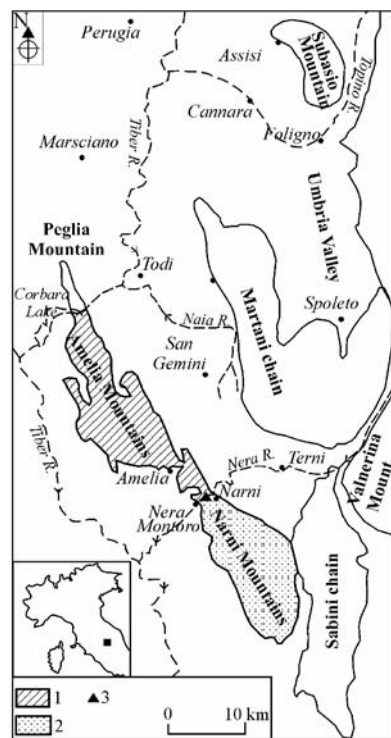


Fig. 1 - Localizzazione dell'area di studio. 1) Monti di Amelia, 2) Monti di Narni. 1 e 2 costituiscono la catena Narnese-Amerina. 3) sistema sorgentizio di Narni-Stifone-Nera Montoro
 - Location map of the studied area. 1) Amelia Mountains, 2) Narni Mountains. 1 and 2 constitute the Narnese-Amerina chain. 3) Narni-Stifone-Nera Montoro springs

Nella dorsale è presente un acquifero drenante verso l'importante gruppo sorgentizio di Stifone-Nera Montoro, localizzato nella parte centrale della struttura, lungo la gola del F. Nera (Fig. 1). In particolare lo studio è focalizzato sulla struttura compresa tra il Nera ed il Lago di Corbara (Fig. 1), da ora in poi qui denominata "Monti di Amelia".

Il primo studio a carattere idrologico è quello di ZOPPI (1892) il quale, attraverso la misura delle portate sorgentizie dei molini presenti lungo la gola del Nera, valutò una portata superiore ai $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Gli studi idrogeologici, eseguiti negli ultimi decenni, hanno messo in evidenza come le sorgenti di Stifone-Nera Montoro siano il recapito finale di una complessa circolazione idrica sotterranea che deve interessare, per motivi di bilancio idrogeologico, anche alcune strutture idrogeologiche contigue alla catena Narnese-Amerina (BONI *et alii*, 1986; CHIOCCHINI *et alii*, 1987; Regione dell'Umbria, 1989; BONI *et alii*, 1991; Regione dell'Umbria, 1991). Nel periodo 1996-2004, a seguito degli studi condotti dalla Regione dell'Umbria (1995), in prossimità del Lago di Corbara sono stati perforati diversi pozzi per uso idropotabile (pozzi de La Pasquarella e il pozzo di Ponte dell'Argentario). CAMBI (1996, 1999) e BEDINI (2002) hanno eseguito su questi pozzi diverse prove di pompaggio, finalizzate alla stima della portata massima estraibile. FRONDINI (1995) e CHIODINI *et alii* (1999) hanno condotto studi geochimici ed isotopici analizzando le relazioni con i contigui acquiferi carbonatici dell'Italia Centrale. MINISSALE *et alii* (2002) hanno analizzato le acque delle sorgenti di Stifone, la cui salinità massima è risultata prossima a quella misurata da BONI *et alii* (1986). DI MATTEO *et alii*

The Narnese-Amerina chain is an important carbonatic structure of Central Italy. It contains a regional aquifer draining towards the Stifone springs, located in the central part of the structure along the River Nera, which crosses the chain through a narrow gorge (Fig. 1). In this paper we shall deal mainly with the northern part of the structure, i.e. the area between the River Nera and Lake Corbara (Fig. 1) which from now on will be referred to as the "Amelia Mountains".

The first hydrologic study of the area was carried out by ZOPPI (1892) who by measuring the discharges from the mills along the Nera gorge estimated the springs discharge to be more than $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Studies carried out in recent decades have showed by means the water budget that the Stifone-Nera Montoro springs are fed by a complex groundwater circulation from some carbonatic structures surrounding the Narnese-Amerna chain (BONI *et alii*, 1986; CHIOCCHINI *et alii*, 1987; Regione dell'Umbria, 1989; BONI *et alii*, 1991; Regione dell'Umbria, 1991). After studies conducted by the Regione dell'Umbria (1995) several pumping wells were drilled in the Amelia Mountains during 1996-2004, near the Lake Corbara (La Pasquarella and Ponte dell'Argentario wells). CAMBI (1996, 1999) and BEDINI (2002) made some pumping tests aimed at defining the aquifers and to estimating the possible maximum amount of drinking water that could be pumped from them. Geochemical and isotopic studies were conducted by FRONDINI (1995) and CHIODINI *et alii* (1999), analysing relations with adjoining carbonatic regional aquifers in Central Italy. MINISSALE *et alii* (2002) carried out hydrochemical analyses of the Stifone spring and reported maximum salinity values close to those measured by BONI *et alii* (1986). DI

(2005) hanno effettuato una revisione delle principali risorse idropotabili nella zona meridionale dell'Umbria (ATO Umbria 2), utile per la corretta gestione delle acque sotterranee e allo scopo di ridefinire le disponibilità idriche in funzione delle proiezioni demografiche al 2020 e delle variazioni climatiche in atto (DRAGONI, 1998; IPCC, 2007). BEDINI *et alii* (2005) e MASSARELLI (2005) hanno trattato le caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche degli acquiferi superficiali e profondi della zona settentrionale dei Monti di Amelia. Nell'ambito del progetto Regione Umbria (2006) sono state realizzate nuove carte geologiche (scala 1:10.000) e idrogeologiche (1:25.000) ed eseguite nuove indagini idrochimiche. MORGANTINI *et alii* (2008) riportano una sintesi aggiornata delle caratteristiche idrochimiche di alcune strutture carbonatiche dell'Umbria, tra cui la catena Narnese-Amerina e quella Martana, quest'ultima localizzata alcuni chilometri più a NE.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

La catena Narnese-Amerina rappresenta un elemento strutturale che si sviluppa secondo direttrici NW-SE per circa 45 km, fra i bacini Plio-Pleistocenici del F. Paglia/F. Tevere ad ovest ed il bacino tiberino plio-pleistocenico ad est (fra Todi ed il F. Nera). Questi depositi, di origine marina e continentale ricoprono i terreni triassico-miocenici appartenenti alla Successione Umbro-Marchigiana, alla Successione Umbro-Romagnola ed alle Unità Toscane (AMBROSETTI *et alii*, 1987; DAMIANI & TUSCANO, 1991; DAMIANI, 1991; AMBROSETTI & BASILICI, 1994; REGIONE DELL'UMBRIA, 1995; BASILICI, 1997; ALBIANELLI *et alii*, 1999; BIZZARRI *et alii*, 2003; GIROTTI & MANCINI, 2003).

Tutti gli studi geologico-strutturali del settore centrale della catena Narnese-Amerina (i.e. nei pressi delle gole del F. Nera) hanno evidenziato un sistema complesso di accavallamenti, costituiti da due o più corpi/unità intensamente tettonizzati, a loro volta sovrapposti ad una unità più esterna, già strutturata in sistemi di anticlinali e sinclinali, localmente a vergenza occidentale (BONCIO *et alii*, 1995; CALAMITA *et alii*, 1995; BIGI & PIERANTONI, 1997; BIGI *et alii*, 2000). Nei Monti di Amelia, ed in particolare sul versante centro-orientale, è presente un notevole carsismo, con presenza di doline e sistemi ipogei, favorito dalla scarsa acclività e dalla presenza di una fitta rete di fratture (FAZZINI, 1968; MINCIARELLI, 2004).

Dal punto di vista idrogeologico, nella struttura affiora diffusamente il complesso dei Calcari Basali (Calcere Massiccio e Corniola). La Figura 2 riporta lo schema idrogeologico con la localizzazione delle principali risorse idriche e le probabili direzioni di flusso dell'acquifero di base. I Monti di Amelia sono delimitati a N dal Tevere, presso il Lago di Corbara, e a S dal Nera. A SE il sistema carbonatico è bordato dal complesso argillo-sabbioso fluvio-lacustre, a NW da quello argilloso marino-salmastro, mentre a SW e NE dal complesso sabbioso (marino salmastro e fluviale) sede di un acquifero multifalda avente una circolazione idrica indipendente da quella della struttura carbonatica (MINCIARELLI, 2004; REGIONE UMBRIA, 2006). L'acquifero carbonatico è più profondo di quel-

MATTEO *et alii* (2005) carried out a revision of the main drinking-water resources in southern Umbria (ATO Umbria 2), aimed at a rational management of the water resources and at redefining the water supplies according to demographic projections until the year 2020 and the ongoing climatic change (DRAGONI, 1998; IPCC, 2007). BEDINI *et alii* (2005) and MASSARELLI (2005) have described the hydrochemical and hydrogeological properties of the shallow and deep aquifers of the northern Narnese-Amerina chain.

Within the Regione Umbria (2006) project new geological (scale 1:10.000) and hydrogeological (scale 1:25.000) maps were made and new hydrochemical investigations were carried out. MORGANTINI *et alii* (2006) report an updated synthesis of the hydrochemical characteristics of some of the carbonatic structures of Umbria, amongst which the Narnese-Amerina Chain and the Martani Chain, the latter located few kilometres to the NE.

GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS

The Amelia Mountains run in a NW-SE direction for about 45 km, between the Plio-Pleistocene basins of the rivers Paglia and Tiber to the west, and the Plio-Pleistocene sediments between Todi and the River Nera to the east. In this area, marine and continental deposits cover the Triassic-Miocene Formations belonging to the Umbria-Marche and the Umbria-Romagnola Sequences and the Tuscan Units (AMBROSETTI *et alii*, 1987; DAMIANI & TUSCANO, 1991; DAMIANI, 1991; AMBROSETTI & BASILICI, 1994; Regione dell'Umbria, 1995; BASILICI, 1997; ALBIANELLI *et alii*, 1999; BIZZARRI *et alii*, 2003; GIROTTI & MANCINI, 2003).

Several papers on the structural characteristics of the central sector of the Narnese-Amerina chain (i.e. around the Nera gorge) were found in literature. All of these hypothesised a complex system of two or more overlapping bodies/units, highly fractured, in turn overlapping an eastern unit, already structured into a systems of anticlines and synclines and locally dipping west (BONCIO *et alii*, 1995; CALAMITA *et alii*, 1995; BIGI & PIERANTONI, 1997; BIGI *et alii*, 2000). Many karstic phenomena (dolines and karst cavities) occur in the central-eastern area of the Amelia Mountains, because of the low acclivity and the presence of highly developed fracture networks (FAZZINI, 1968; MINCIARELLI, 2004).

The Base Limestones Complex (Calcere Massiccio and Corniola Formations) outcrops extensively in the central-northern part of the Amelia Mountains. Figure 2 shows the hydrogeological map of the area, with the location of the main water resources and of the main flow directions of the deep aquifer. The Amelia Mountains are delimited by the River Tiber and the Lake Corbara to the N and the River Nera to the S. To the SE the Amelia Mountains are bounded by a fluvio-lacustrine sandy-clay complex, at NW by a marine/brackish clay complex. To the SW and NE there is a set of sandy sediments, of marine and/or fluvial nature. All of these sediments around the Amelia Mountains, have a low bulk per-

lo marino e fluvio-lacustre (CHIOCCHINI *et alii*, 1987; BEDINI *et alii*, 2005). All'interno della struttura dei Monti di Amelia sono presenti solo poche sorgenti, alimentate da acquiferi sospesi emergenti al contatto tra il Complesso Marnoso-Siliceo-Calcareo e i Calcari Basali.

L'idrografia superficiale è poco sviluppata e non sono presenti fiumi perenni: l'unico fosso di una certa importanza è il Rio Grande, che incide la struttura carbonatica appena a NW di Amelia. Esso ha un regime torrentizio strettamente legato agli apporti superficiali dal complesso argillo-sabbioso, affiorante diffusamente nella zona centro-orientale della struttura (Fig. 2). A dispetto della fratturazione e dell'alta permeabilità dei calcari, le portate del Rio Grande non sembrano essere alimentate da questi: se ciò è vero si deve anzi dedurre che essi drenino una parte delle portate del Rio Grande, che quindi contribuirebbe ad alimentare, almeno nelle stagioni piovose,

meability and contain multilayered/perched aquifers (MINCIARELLI, 2004; REGIONE UMBRIA, 2006). The carbonatic aquifer is much deeper than the marine and fluvio-lacustrine ones (CHIOCCHINI *et alii*, 1987; BEDINI *et alii*, 2005).

There are only a few perched springs along the carbonatic chain, fed by the shallow water tables of the Base Limestone complex in contact with the Marly-Siliceous-Calcareous complex.

The hydrographic network is poorly developed and there are no permanent rivers: the only stream of any importance is the Rio Grande, which cut the carbonatic structure just NW of Amelia town. It has a torrential regime with discharges strictly related to the runoff from the clayey-sandy complex that outcrops diffusely in the central eastern area of the structure (Fig. 2). In despite of fracturation and of the high permeability of the limestones, the discharge of the Rio Grande does

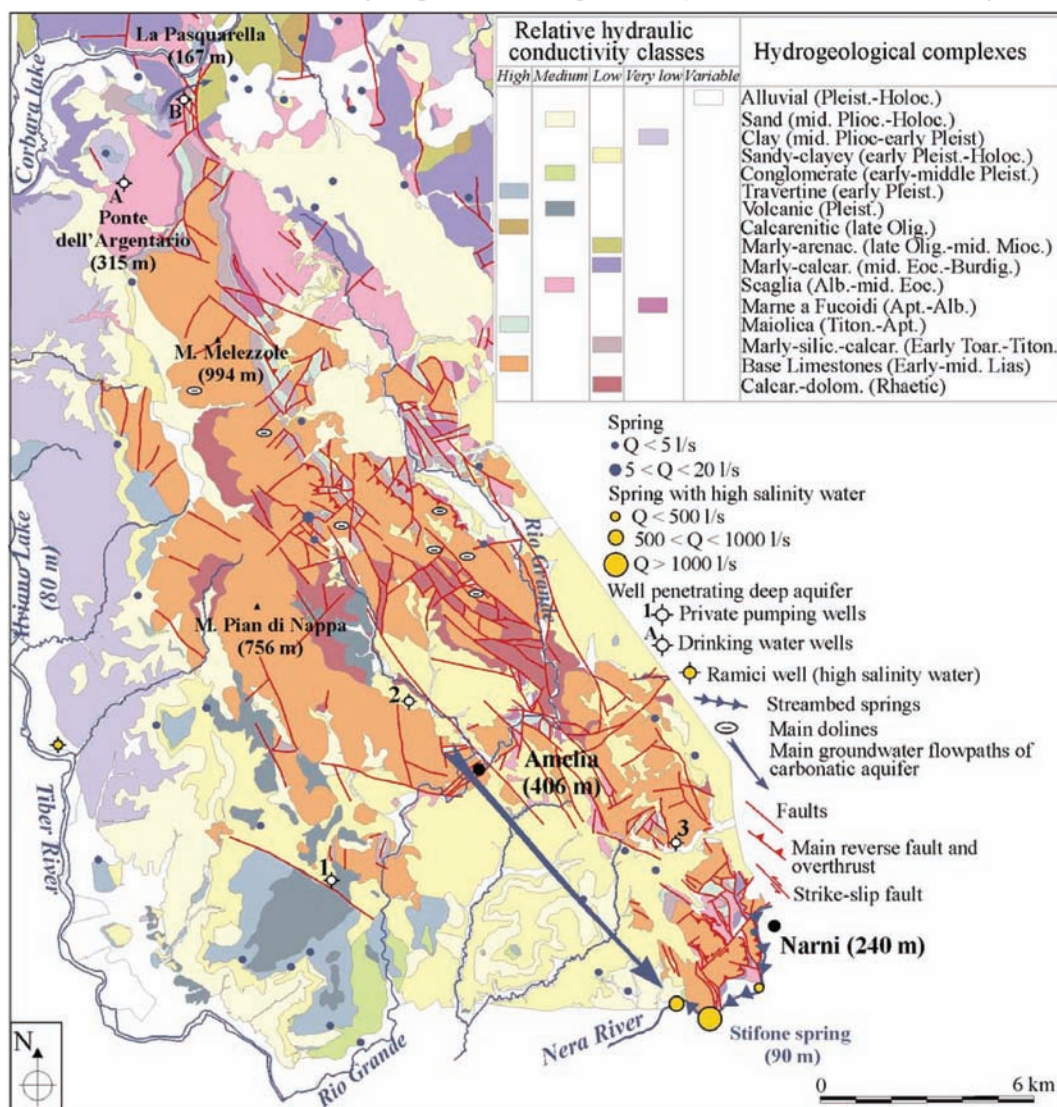


Fig. 2 - Schema idrogeologico dei Monti di Amelia
- Hydrogeological map of the Amelia Mountains

il deflusso sotterraneo della struttura. Ulteriori indagini e misure accurate di portata nei periodi piovosi, piuttosto difficoltose vista la larghezza della gola e lo spessore di materiale alluvionale grossolano nel letto del torrente, dovrebbero essere condotte per dimostrare tale ipotesi.

PRINCIPALI RISORSE IDRICHE

Sorgenti di Stifone-Nera Montoro

L'elemento idrogeologico più importante della catena Narnese-Amerina è rappresentato dalle numerose sorgenti ubicate lungo l'incisione del Nera nei pressi di Narni. Le portate di queste sorgenti non vengono monitorate in quanto il F. Nera, lungo questo tratto, è condizionato da un articolato sistema di prelievi e rilasci idroelettrici ed industriali (Fig. 3): nella zona d'interesse di questo studio sono presenti le due dighe Recentino e La Morica, che controllano le portate in alveo (Fig. 3).

Con riferimento alla Figura 3 il Nera, appena a valle della diga di Recentino, risulta quasi asciutto: la diga blocca il deflusso e l'acqua

not seem to be fed by these: on the contrary it seems that at least during the rainy season, the discharge of the Rio Grande contributes to recharge the structure. Further and more accurate investigations, which are made difficult by of the thickness of the alluvial streambed and by the narrow gorge should be carried out to demonstrate this hypothesis.

MAIN WATER RESOURCES

Stifone-Nera Montoro springs

The most important water resources of the Narnese-Amerina chain are the many springs located along the River Nera, near Narni. In this area the River Nera has a complex artificial regime, with regulated inflows and outflows due to two hydroelectric power stations and two dams (Recentino and La Morica dams), which heavily influence the river discharge (Fig. 3).

Referring to Figure 3, the River Nera, just downstream from the Recentino dam, is almost dry, as the water has been diverted to the chemical industries and to the hydroelectric power station of Nera Montoro. About 200 m downstream from the Recentino dam and before

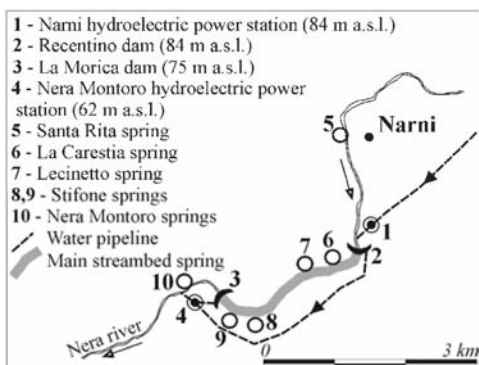


Fig. 3 - Punti di prelievo e rilascio lungo le gole del F. Nera, tra Narni e Nera Montoro
 - Withdrawal and outflow points along River Nera, between Narni and Nera Montoro

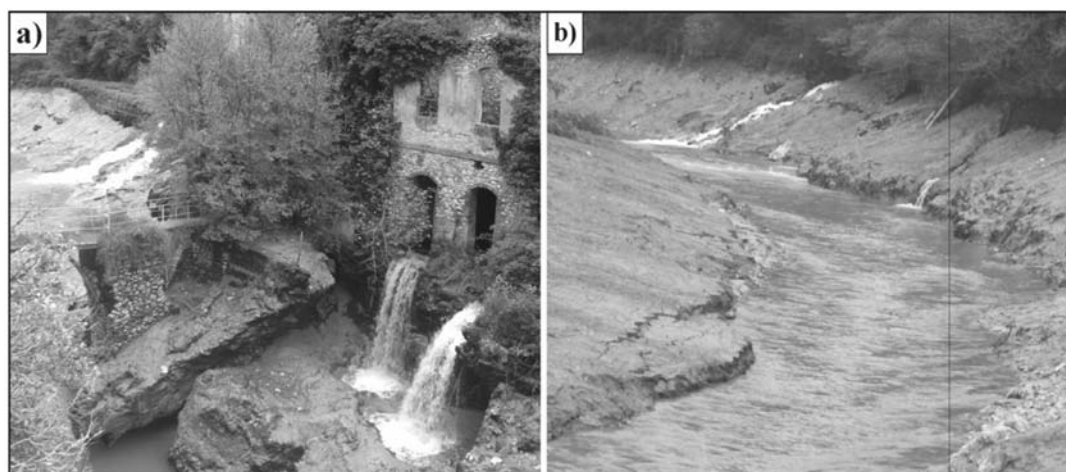


Fig. 4 - a) Sorgenti nei pressi di Stifone. b) Sorgenti lineari in sinistra idrografica tra le dighe di Recentino e La Morica. Foto effettuate da C. CARDELLINI durante i lavori di manutenzione degli invasi (gennaio 2006)
 - Springs near the village of Stifone. b) Streambed springs on the left bank of the river between the dams of Recentino and La Morica. Photos made by C. CARDELLINI during a period when the reservoirs were empty due to maintenance operations on the dams (January 2006)

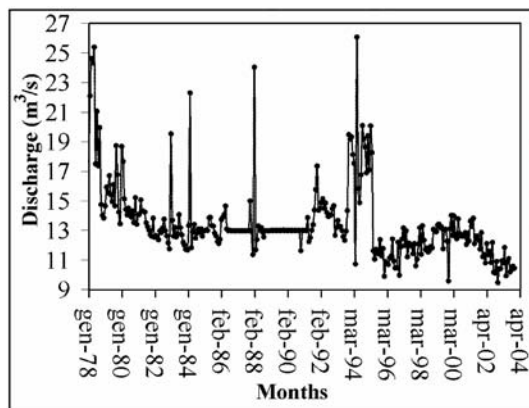


Fig. 5 - Portate delle sorgenti di Stifone derivate dall'energia elettrica turbinata alla centrale idroelettrica di Nera Montoro nel periodo 1978-2003 (dati forniti da ENDESA Italia)
 - Discharge of Stifone springs estimated at the Nera Montoro hydroelectric power station for 1978-2003 period (data supplied by ENDESA Italia)

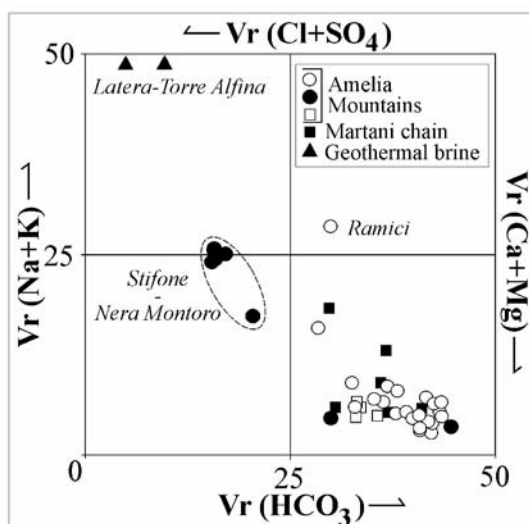


Fig. 6 - Diagramma di Langelier-Ludwig modificato da MORGANTINI *et alii* (2008). Per i Monti di Amelia i cerchi pieni indicano le sorgenti di Narni-Stifone-Nera Montoro, i quadrati vuoti i pozzi de La Pasquarella e i cerchi vuoti le sorgenti degli acquiferi sospesi
 Langelier-Ludwig diagram, modified from MORGANTINI *et alii* (2008). Regarding the Amelia Mountains: black circles indicate Narni-Stifone-Nera Montoro springs, white squares La Pasquarella water wells and white circles perched springs

del fiume viene derivata verso il polo chimico e la centrale idroelettrica di Nera Montoro. Circa 200 m a valle della diga di Recentino e prima della diga de La Morica, sono presenti una serie di emergenze puntuali (Lecinetto e Carestia) e lineari che incrementano gradualmente la portata, raggiungendo il massimo valore in corrispondenza di Stifone (Fig. 4). Quest'acqua viene derivata a valle dalla diga de La Morica e turbinata alla centrale idroelettrica di Nera Montoro (Fig. 3). La Figura 5 mostra le portate turbinare medie mensili per il periodo 1978-2003, gentilmente fornite dall'ENDESA Italia. Come riferito dall'ENDESA la stima della portata delle sorgenti è da ritenersi affidabile a partire dal 1995: prima del 1995 venivano turbinare sia le acque sorgentizie di Stifone che quelle dei periodi di piena del Nera. Nel periodo 1978-1995 la portata media in uscita, dedotta dall'energia elettrica prodotta, è stata di $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre nel periodo 1995-2003 è stata di circa $12.0 \text{ m}^3/\text{s}$. A valle della Diga de La Morica ed a monte della Diga di Recentino sono presenti altre sorgenti in alveo la cui portata media misurata è di circa $1.0\text{-}1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (MINCIARELLI, 2004). Pertanto, la portata totale del gruppo sorgentizio di Stifone-Nera Montoro non è inferiore a $13.0\text{-}13.5 \text{ m}^3/\text{s}$, sostanzialmente coincidente con i $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$ stimati da BONI (2000).

the La Morica dam some springs (Lecinetto, Carestia and some streambed springs) gradually increase the river discharge, which reach a maximum value close to Stifone village (Fig. 4). Water stored in the La Morica reservoir has been diverted downstream to the turbines of the Nera Montoro power station (Fig. 3). Figure 5 shows the average monthly discharges deduced from the energy produced by the hydraulic turbines for the period 1978-2003, kindly supplied by ENDESA Italia. According to ENDESA such a procedure to estimate the discharge of the springs can be applied only after 1995: before 1995 the turbines were producing electricity using both the water discharged by the springs and the surface water of the River Nera. Actually, during the 1978-1995 period the average output obtained by means of the electricity produced was $14.4 \text{ m}^3/\text{s}$, while for the 1995-2003 period the average output deduced was $12.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Downstream of the La Morica dam and upstream of the Recentino dam, some discharge measurements, carried out along the River Nera on some streambed springs, showed a total discharge of about $1.0\text{-}1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (MINCIARELLI, 2005). Thus the overall discharge of the Stifone-Nera Montoro springs is not less than $13\text{-}13.5 \text{ m}^3/\text{s}$, basically similar to the amount estimated by BONI (2000).

The Narni-Stifone-Nera Montoro system, except for some bicar-

Le acque del sistema sorgentizio di Narni-Stifone-Nera Montoro, ad eccezione di alcune sorgenti bicarbonato-alcalino-terroso del gruppo di Narni (sorgente 5 in Fig. 3), sono di tipo solfato-alcalino-terroso e cloruro-alcalino e non idonee per uso idropotabile. Sebbene i due tipi di acque abbiano valori simili nel contenuto di Ca, Mg e HCO_3 sono differenti i contenuti di Na, Cl e SO_4 ; la salinità e la conducibilità sono molto alte (rispettivamente 2-3 g/l e 3500-4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) con alti contenuti in solfati (400-500 ppm) e cloruri (600-700 ppm). La Figura 6 mostra il diagramma Langelier-Ludwig per le sorgenti di Stifone-Nera Montoro, per le sorgenti in acquiferi sospesi e per i pozzi ad uso idropotabile de La Pasquarella. La Figura 6 mostra inoltre la composizione chimica del pozzo Ramici (cfr. Fig. 2), unico pozzo perforante l'acquifero carbonatico avente acque ad alta salinità (conducibilità elettrica di circa 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), e quella di alcune sorgenti localizzate nella vicina Catena Martana (MORGANTINI *et alii*, 2008).

Pozzi

Nel settore settentrionale dei Monti di Amelia, lungo il Fosso La Pasquarella e in località Ponte dell'Argentario a Civitella del Lago, sono stati perforati 7 pozzi e 2 piezometri (Fig. 2). Questi pozzi sono stati realizzati dall'Umbra delle Acque e dalla Regione dell'Umbria, sulla base di studi di dettaglio eseguiti dalla Regione dell'Umbria (1989), BONI *et alii* (1991) e Regione dell'Umbria (1991). In questo settore dei Monti d'Amelia, contrariamente alle sorgenti di Stifone-Nera Montoro, le acque sono risultate idonee al consumo umano (Fig. 6). La Figura 7a mostra le stratigrafie ricostruite con l'ausilio del cutting di perforazione e dei logs geofisici; nelle stesse stratigrafie viene riportata anche la posizione dei tratti filtrati. I filtri sono posizionati nella parte alta del Complesso dei Calcari Basali al fine di evitare l'emungimento di acque a maggior contenuto in solfati rispetto a quelle del Complesso della Maiolica. Solo il piezometro Pz1 e il pozzo P5 in Figura 7a si attestano nell'acquifero superficiale del Complesso della Maiolica. Secondo i dati geochimici e geologico-strutturali i due acquiferi dei Complessi della Maiolica e dei Calcari Basali sono idraulicamente interconnessi: quello della Maiolica è di tipo bicarbonato-calcico mentre quello dei Calcari Basali è bicarbonato alcalino-terroso. La tabella 1 riporta i risultati delle analisi chimiche delle acque dei pozzi P5 e P1 e dei piezometri Pz1 e Pz2. La Figura 7a mostra inoltre i valori di trasmissività ricavati da CAMBI (1996, 1999), BEDINI (2002), BEDINI *et alii* (2005) e MASSARELLI (2005).

Well	pH	Electr. conduc. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eh (mV)	SO_4 (mg/L)	Cl (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	HCO_3 (mg/L)	NO_3 (mg/L)	NO_2 (mg/L)	NH_4 (mg/L)	P (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)
P5	6.95	578	152	42	20	10	2.00	108	6.6	296.5	1.1	<0.01	<0.04	<0.02	<0.05	<0.05
P1	6.94	685	168	77	26	14	2.60	102	14.0	309.9	4.9	<0.01	<0.04	<0.02	<0.05	<0.05
Pz2	7.54	604	166	55	20	27	4.2	92	7.7	285.5	9.3	<0.01	<0.05	0.05	0.46	0.43
Pz1	7.65	611	168	51	16	11	2.9	105	8.3	291.6	8.4	<0.01	<0.04	<0.02	<0.05	<0.05

Tab. 1 - Analisi chimiche delle acque di alcuni pozzi e piezometri del campo pozzi de La Pasquarella (zona settentrionale dei Monti di Amelia); dati ripresi da BEDINI (2002). La localizzazione dei filtri dei pozzi e la loro profondità sono riportate in Fig. 7a
 - Chemical analysis of waters of some wells and piezometers of La Pasquarella well field (northern part of Amelia Mountains) BEDINI (2002). Wells screen location and the depth of wells are showed in Fig. 7a

bonate-earth-alkaline springs of the Narni group (e.g., spring 5 in Fig. 3), is classified as being between the earthy alkali-sulphate and the chloride-alkaline type: therefore it is not suitable for drinking.

Although they have similar contents of Ca, Mg and HCO_3 , they show differences in Na, Cl and SO_4 ; the salinity and electric conductivity are very high (respectively, 2-3 g/l and 3500-4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), with high content of sulphates (400-500 ppm) and chlorides (600-700 ppm). Figure 6 shows the Langelier-Ludwig diagram for the Stifone-Nera Montoro springs, for perched springs and for drinking-water wells of La Pasquarella. Figure 6 also shows the chemical composition of the Ramici well (cf. Fig. 2), the only one with high-salinity waters in the carbonatic aquifer (electric conductivity of about 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), and some springs in the nearby carbonatic Martani chain (MORGANTINI *et alii*, 2008).

Wells

With reference to the geological map in Figure 2, in the northern sector of the Amelia Mountains, 6 wells and 2 piezometers were drilled along the La Pasquarella stream; another well was drilled near Ponte dell'Argentario at Civitella del Lago. All these wells were drilled by Umbra Acque and the Regione Umbria, following studies by Regione dell'Umbria, 1989; BONI *et alii*, 1991; Regione dell'Umbria, 1991). In this sector the Amelia Mountains, unlike the saline Stifone-Nera Montoro springs, the groundwaters are suitable for drinking (Fig. 6).

Figure 7a shows the stratigraphies reconstructed according to the drilling cuttings, the geophysical logs and the position of the well screens. Well screens were positioned in the higher part of the Base Limestones Complex, in order to avoid extracting high salinity waters which can produced a worsening of shallower waters (Maiolica Complex). Piezometer Pz1 and well P5 in Figure 7a are drilled in the shallow aquifer of the Maiolica complex. According to geochemical and geological-structural data, the two aquifers of the Maiolica and Base Limestones complexes are hydraulically interconnected: that of Maiolica is bicarbonate-calcic whereas that of the Base Limestone is bicarbonate-earth alkaline. Table 1 shows results of hydrochemical data of P5 and P1 wells and of Pz1 and Pz2 piezometers. Figure 7a also shows the transmissivity values as obtained by CAMBI (1996-1999), BEDINI (2002), BEDINI *et alii* (2005) and MASSARELLI (2005).

A study of the undisturbed piezometric levels (2004) showed in the

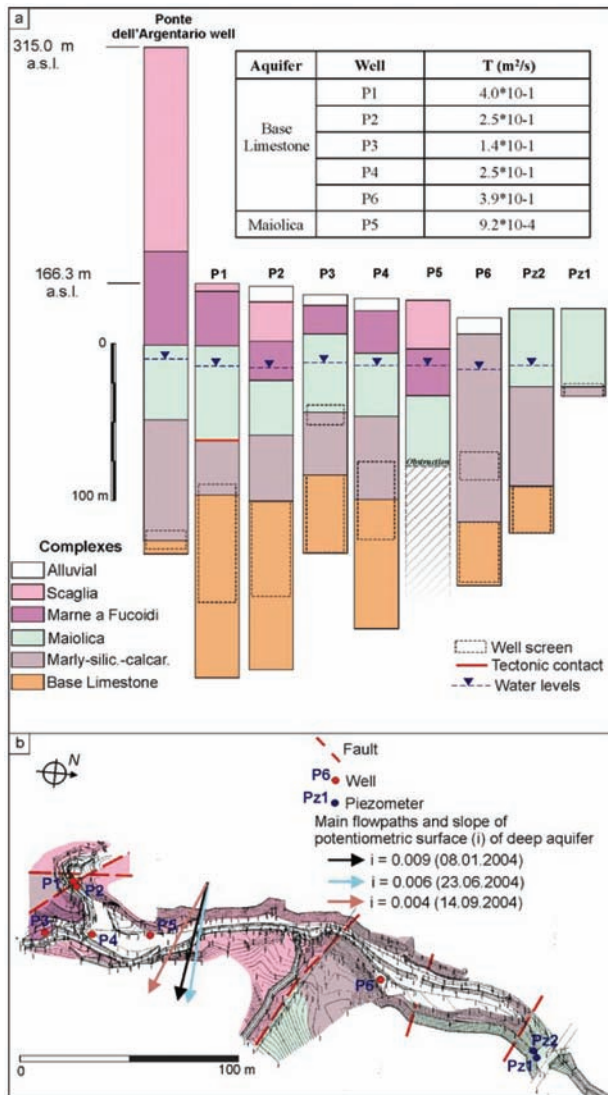


Fig. 7 - a) Stratigrafie dei pozzi e piezometri del campo pozzi de La Pasquarella e del pozzo di Ponte dell'Argentario con i valori di transmissività derivati dalle prove di pompaggio. b) Principali direzioni di flusso e gradienti della falda di base nel corso del 2004 nell'area del campo pozzi de La Pasquarella: carta geologica di base ripresa e modificata da MASSARELLI (2005).

- a) Stratigraphies of wells and piezometers at La Pasquarella well field and at Ponte dell'Argentario, showing transmissivity values estimated according to pumping tests. b) Main flowpaths and slope of potentiometric surface of deep aquifer during 2004 in the La Pasquarella well field: base geological map modified from MASSARELLI (2005)

Lo studio dei livelli in condizioni indisturbate (anno 2004) ha evidenziato, nella zona del campo pozzi de La Pasquarella, un flusso all'incirca verso E con gradienti idraulici compresi tra 0.004 e 0.009 (Fig. 7b). Come si può osservare, a carattere locale, la circolazione idrica è fortemente condizionata dalla presenza di numerose faglie dirette con direzione prevalente EW. La Figura 8 mostra le oscillazioni piezometriche in condizioni indisturbate della falda dei pozzi profondi de La Pasquarella e di Ponte dell'Argentario, misurati nel periodo settembre 2003-settembre 2004. L'andamento piezometrico del pozzo di Ponte dell'Argentario e di quelli de La Pasquarella è simile anche se le oscillazioni massime nel periodo di osservazione sono molto differenti, rispettivamente di 2 m e circa 8 m. Al momento non si hanno sufficienti informazioni per capire le eventuali interconnessioni tra l'acquifero di Ponte dell'Argentario e quello de La Pasquarella, visto che le conoscenze idrochimiche della zona di Ponte dell'Argentario sono a tutt'oggi ancora incomplete. A seguito della

La Pasquarella well field a flowpath roughly directed eastward with hydraulic gradients between 0.004 and 0.009 (Fig. 7b). As can be noted local groundwater circulation is strongly conditioned by the presence of many faults roughly oriented EW. Figure 8 shows the undisturbed piezometric levels for the September 2003-September 2004 period registered on La Pasquarella and Ponte dell'Argentario deep wells: both show a similar piezometric trend although the maximum fluctuations during the observation period are very different, respectively 2 m and about 8 m. At the moment it is not clear if the Ponte dell'Argentario aquifer is interconnected with that of La Pasquarella because few data on the hydrochemistry of Ponte dell'Argentario aquifer are known. After La Pasquarella well field started working (2006) a reductions in water levels of about 13 m in the piezometer Pz2 and of about 4 m in the well of Ponte dell'Argentario were registered (Fig. 9a).

Since summer 2007, a substantial lowering of the levels has occurred, due presumably to the high drop in recharge during the

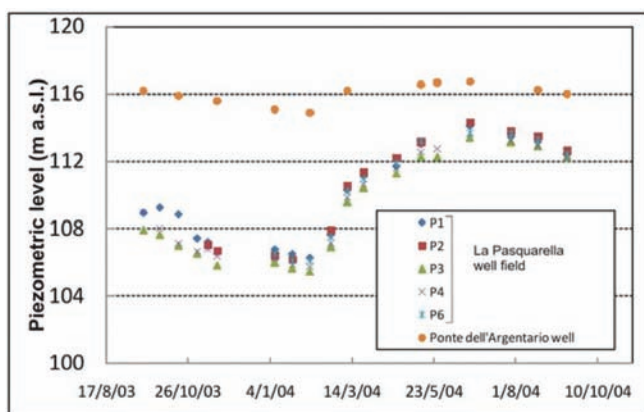


Fig. 8 - Dati piezometrici in condizioni indisturbate del pozzo di Ponte dell'Argentario e dei pozzi de La Pasquarella durante il periodo 2003-2004
 - Undisturbed piezometric data of the Ponte dell'Argentario well and La Pasquarella well field during 2003-2004 period

nessa in funzione del campo pozzi de La Pasquarella (dal 2006) sono stati registrati decrementi massimi nei livelli piezometrici di circa 13 m nel piezometro Pz2 e di circa 4 m nel pozzo di Ponte dell'Argentario (Fig. 9a). A partire dall'estate 2007 si è assistito ad una rapida diminuzione dei livelli, diminuzione collegata presumibilmente dalla riduzione della ricarica e dall'aumento dei prelievi nel periodo 2006-2007: questi ultimi hanno raggiunto nell'estate del 2007 circa 300 l/s (Fig. 9a), mentre il 2007 è stato un anno singolarmente siccitoso. Il bilancio idrogeologico mensile eseguito con il metodo Thornthwaite-Mather, per gli anni 2006 e 2007, utilizzando le piogge e le temperature della stazione di Orvieto, indica una ricarica del 17% inferiore a quella media annua calcolata per il periodo 1969-1999 e del 50% inferiore rispetto a quella del periodo 1921-2007. La concentrazione dei solfati da ottobre 2006 a febbraio 2008 è progressivamente aumentata raggiungendo circa 125 mg/l (Fig. 9b): questo valore, sebbene al di sotto del valore massimo per il consumo umano, corrisponde ad un incremento di circa il 35%, non trascurabile, soprattutto se si considera il breve intervallo temporale in cui è avvenuto.

Alcuni pozzi profondi (ad uso industriale e/o agricolo) che intercettano la falda di base sono stati perforati in anni recenti anche nella zona centro-meridionale dei Monti d'Amelia (Fig. 2). La Tabella 2 mostra che la conducibilità elettrica delle acque è minore di quella del gruppo di Stifone-Nera Montoro, con valori più elevati nella zona occidentale (pozzo n. 1 di Fig. 2).

Assumendo la presenza di un solo acquifero profondo, i dati piezometrici del gennaio 2007 indicano una direzione di flusso verso le

Well	Well depth (m)	Water levels (m a.s.l.)	Electrical conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
1	210	116	1531	15.5
2	300	130	664	13.6
3	300	96	790	14.7

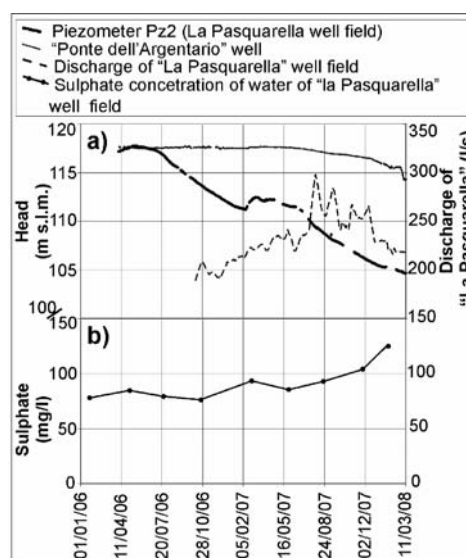


Fig. 9 - a) Dati piezometrici del pozzo di Ponte dell'Argentario, del piezometro Pz2 e valori di portata emunta dal campo pozzi de La Pasquarella (dati piezometrici ripresi da ARPA-Umbria). b) Concentrazioni dei solfati durante il periodo 2006-2008.
 - Piezometric data of the Ponte dell'Argentario well, piezometer Pz2 and pumping rate from La Pasquarella well field (Piezometric data from ARPA-Umbria). b) Sulphate concentrations during 2006-2008

2006-2007 period and worsened by the high pumping rate, which reached 300 l/s during summer 2007 (Fig. 9a). In both 2006 and 2007, a monthly water budget carried out with the Thornthwaite-Mather method (rainfall and temperature measurements made at the Orvieto gauge), indicates a surplus of 17% less than the average annual surplus for the 1969-1999 and a surplus of 50% less than that calculated for the 1921-2007 period. Sulphate concentrations have progressively increased, reaching about 125 mg/l (Fig. 9b): this value, although still below the maximum limit for human consumption, indicates a non negligible increase by about 35% during October 2006- February 2007 especially considering the time span.

In the last few years, some deep wells (for industrial and/or agricultural use) have been drilled in the central-southern sector of the Amelia Mountains (Fig. 2, Tab. 2). Table 1 shows that the electrical conductivity of the waters pumped by these wells is lower than that of the Stifone-Nera Montoro springs, with higher values in the western area (well 1 in Fig. 2).

Assuming the presence of only one deep aquifer, the piezometric data for January 2007 indicate a flow direction towards the Stifone-Nera Montoro springs, with a hydraulic gradient of about

Tab. 2 - Dati piezometrici e di conducibilità elettrica dei pozzi profondi localizzati nella zona centro-meridionale dei Monti di Amelia, misurati nel gennaio 2007 (la localizzazione dei pozzi è riportata in Fig. 2)
 - Piezometric and electrical conductivity data of deep wells in central-southern area of the Amelia Mountains for January 2007 (wells location is reported in Fig. 2)

sorgenti Stifone-Nera Montoro con un gradiente idraulico di circa 0.004. Le analisi idrogeochimiche indicano che le acque dei pozzi 2 e 3 risultano idonee al consumo umano; l'ipotesi sulla circolazione (collegamento diretto con le sorgenti di Stifone - Montoro) dovrebbe essere verificata con ulteriori indagini idrogeologiche e geochemiche.

BILANCIO IDROGEOLOGICO

In passato diversi studi hanno cercato di definire le aree di alimentazione delle sorgenti di Stifone-Nera Montoro; a tal fine sono stati effettuati vari bilanci idrogeologici a scala media annua: la Tabella 3 riporta una sintesi delle varie componenti del bilancio idrogeologico come riportate da BONI *et alii* (1986), BONI *et alii* (1991) e BONI (2000).

Nel presente studio è stato eseguito un nuovo bilancio idrogeologico medio annuo sul sistema dei Monti di Amelia (MA) prendendo come periodo di riferimento il periodo 1969-1999. Questo intervallo temporale è stato scelto perché la percentuale dei dati termo-pluviometrici mancanti è inferiore al 20%: nei periodi successivi la qualità e quantità dei dati disponibili appare essere peggiore. Il sistema dei Monti Amelia ha un'area di 175 km² ed una quota media di 470 m s.l.m. A partire dai dati delle stazioni disponibili (Tab. 4) è stata stimata una pioggia media di circa 0.975 m/anno, utilizzando la migliore correlazione quota (q)-pioggia ($P = 0.6 * q + 693.47$, $R^2 = 0.64$). Gli autori sono coscienti che la correlazione non è particolarmente soddisfacente, e può servire solo per stime di larga massima, ma al momento non sembra sia possibile eseguire stime migliori.

La temperatura media annua (13.4°C) è stata stimata usando il gradiente teorico di -0.6°C per ogni 100 m di quota. Questo gradiente è stato sostanzialmente confermato dai valori medi annui di temperatura delle stazioni di Todi (13.61°C, 411 m s.l.m.) e quella di Terni (15.13°C, 170 m s.l.m.), entrambe poste ad est dei Monti di Amelia.

La Tabella 5 mostra i risultati del bilancio idrogeologico medio annuo, dove per la stima dell'evapotraspirazione reale (ETR) è stata utilizzata la formula di Turc. Il metodo di Turc è stato scelto in quanto per l'area di studio non sono disponibili dati climatici specifici (velocità del vento, umidità, irraggiamento, ecc.) necessari per l'applicazione di meto-

0.004. Hypotheses regarding groundwater circulation have to be confirmed by new piezometric and hydrochemical data: in any case the water from wells 2 and 3 is of good quality and suitable for human consumption.

WATER BUDGET

Several previous works, aimed on finding the Stifone-Nera Montoro springs recharge area, estimated the mean annual water budgets: Table 3 shows a synthesis of the various components of the water budget as shown by BONI *et alii* (1986), BONI *et alii* (1991) and BONI (2000).

Present work reports the mean annual water budget for the Amelia Mountains system (MA) evaluated on 1969-1999 period: this period was chosen because the percentage of missing thermo-pluviometric data is lower than 20% while after 1999 the quantity and quality of data is poor. The Amelia Mountains structure covers an area of 175 km² with an average altitude of 470 m a.s.l. Using thermo-pluviometric data of weather station shown in Table 4 a 0.975 m/year mean rainfall was estimated using the elevation (q)-rainfall correlation ($P = 0.6 * q + 693.47$, $R^2 = 0.64$). The authors are aware that unfortunately the correlation is not very satisfactory and can only be used for a rough estimate, but currently it is not possible to make a better estimate.

Because of a shortage of thermometers the average temperature was estimated using a theoretical gradient of -0.6°C for every 100 metres of altitude above sea level. The above gradient was confirmed by the average annual temperature values at the Todi (13.61°C, 411 m a.s.l.) and Terni gauges (15.13°C, 170 m a.s.l.) both located on the eastern part of the system. An average annual temperature of 13.4 °C was thus obtained at the average altitude of the system.

Table 5 shows the average annual water budget based on Turc's formula for estimating the evapotranspiration (ETR). Turc's method was chosen because the lack of specific weather and climatic data (wind speed, umidity, solar radiation, etc.) did not allow the use of sounder methods like, for instance, the Penman-Monteith. It has to

Authors	Recharge Area (km ²)	P (m)	ETR+R (m)	I (m)	Measured discharge (m ³ /s)	Estimated discharge (m ³ /s)	Hydrological structures
BONI <i>et alii</i> (1986)	742	1.068	0.431	0.637	15	-	CS, MA, MN, MP, CM
BONI <i>et alii</i> (1991)	277	1.048	0.669	0.379	-	3.3	CS*, MA, MN, MP
	238	1.105	0.682	0.423	-	3.2	CM
BONI (2000)	740	-	-	-	13.5	-	CS, MA, MN, MP, CM

Tab. 3 - Bilanci idrogeologici medi annui del sistema sorgentizio di Stifone-Nera Montoro eseguiti da BONI *et alii* (1986), BONI *et alii* (1991) e BONI (2000). Le sigle indicano: CS (Catena Sabina), CS* (Catena Sabina umbra), MA (Monti di Amelia), MN (Monti di Narni), MP (Monte Peglia), CM (Catena Martana), P (Pioggia), ETR (Evapotraspirazione), R (Ruscaldamento), I (Infiltrazione efficace)
 - Mean annual water budgets of recharge area of Stifone-Nera Montoro springs made by BONI *et alii* (1986), BONI *et alii* (1991) e BONI (2000). Symbols indicate: CS (Sabina Chain), CS* (Sabina Chain on Umbria Region), MA (Amelia Mountains), MN (Narni Mountains), MP (Peglia Mountain), CM (Martana Chain), P (Rainfall), ETR (Evapotranspiration), R (Runoff), I (Recharge)

Tab. 4 - Stazioni pluviometriche utilizzate per il bilancio idrogeologico medio annuo
 - Rain gauges used to define the climatic characteristics of the study area

Rain Gauges	Altitude (m a.s.l.)	Mean rainfall (m/year)
Amelia	406	0.863
Alviano	89	0.728
Calvi dell'Umbria	401	0.938
Corbara	119	0.714
Narni Scalo	95	1.030
Prodo	404	0.886
San Gemini	336	0.934
Terni	170	0.859

Recharge area (km ²)	Mean elevation (m a.s.l.)	P (m/year)	ETR (m/year)	S=P-ETR (m/year)	Imax (m/year)	Imax (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
175	470	0.975	0.610	0.365	0.365	2	13-15

Tab. 5 - Bilancio idrogeologico medio annuo dei Monti di Amelia (1969-1999). Pioggia (P), Evapotraspirazione (ETR), Eccedenza idrica (S), Ricarica massima (Imax), Range di portata media misurata del gruppo sorgentizio di Stifone-Nera Montoro (Q)
 - Average annual water budget for Amelia Mountains (1969-1999). Rainfall (R), Evapotranspiration (ETR), Surplus (S), Maximum recharge (Imax), Range of mean discharge of Stifone-Nera Montoro springs (Q)

di più complessi, quali quello di Penman-Monteith. Va inoltre evidenziato che la formula di Turc fornisce in genere buoni risultati per i climi temperati quali quelli dell'Italia Centro-Settentrionale: gli errori nella stima di ETR sono probabilmente dovuti più all'incertezza dei dati pluviometrici che al metodo utilizzato (DI MATTEO & DRAGONI, 2006).

Nell'ipotesi, improbabile, che il ruscellamento sia totalmente trascurabile e che quindi tutta l'eccedenza idrica (S) corrisponda all'infiltrazione efficace ($I = 0.365$ m/anno), i Monti di Amelia contribuiscono alla portata delle sorgenti di Stifone-Nera Montoro per non più di 2 m³/s (Tab. 5). Assumendo la ricarica qui stimata come ricarica media delle strutture alimentanti le sorgenti di base, le strutture idrogeologiche individuate in passato (Monti di Amelia, Monti di Narni, Catena Sabina, Catena Martana e Monte Peglia) sono in grado di fornire una portata non superiore a 8 m³/s. Questo suggerisce che, nell'ipotesi che la portata media delle sorgenti di Stifone-Nera Montoro sia compresa fra 13 e 15 m³/s (BONI *et alii*, 1986; BONI, 2000; stime ENDESA effettuate nel periodo 1995-2004), l'area di ricarica delle sorgenti di Stifone-Nera Montoro dovrebbe essere non inferiore a 1000 km². Rimane aperta la questione dell'individuazione delle ulteriori strutture che dovrebbero contribuire all'alimentazione delle sorgenti di Stifone-Nera Montoro. In prima analisi l'apporto potrebbe derivare dalla parte meridionale dei Monti della Valnerina e/o dal flusso regionale proveniente dalle strutture carbonatiche dell'Umbria nord-orientale. La presenza di una complessa circolazione idrica sotterranea che interessa alcune strutture carbonatiche dell'Umbria nord-orientale è stata recentemente evidenziata durante la perforazione di un pozzo idropotabile (pozzo Renano) nella zona settentrionale del M. Subasio (vedi Fig. 1). Il pozzo, profondo circa 260 m, ha intercettato l'acquifero dei Calcari Basali che in questa zona presenta delle acque ad elevata conducibilità elettrica e salinità (circa 2020 µS/cm, TDS = 1291.74 mg/L, da FRONDINI, 2008). Considerando che a sud-ovest delle strutture carbonatiche nord-orientali non sono presenti emergenze di rilievo, come accade per quella del

be noted that in temperate climate areas like Central- Northern Italy, Turc's method is widely used and appears to give good results; indeed the errors in the estimations of ETR are probably due more to the uncertainty about rainfall values than to the methods used for its calculation (DI MATTEO & DRAGONI, 2006).

Following the unrealistic hypothesis that water runoff is null and therefore all the surplus (S) equals the recharge ($I = 0.365$ m/year), the Amelia Mountains contribute to the discharge of the Stifone-Nera Montoro springs by no more than 2 m³/s (Tab. 5). Assuming the recharge here estimated as average recharge rate of the structures that feed the base springs, the structures considered in the past (Amelia Mountains, Narni Mountains, Sabine Chain, Martana Chain and Mount Peglia) can produce a maximum discharge of 8 m³/s. This suggests that in the hypothesis that the average discharge of the Stifone-Nera Montoro springs is between the range of 13-15 m³/s (BONI *et alii*, 1986; BONI, 2000; estimate by ENDESA carried out in the 1995-2004 period), the recharge area of the Stifone-Nera Montoro springs can't be smaller than 1000 km². The problem of which structures contribute to producing the required volumes remains open. Structures which may contribute include the limestone reliefs of the low Valnerina and/or the regional flow coming from the carbonatic structures of NE Umbria. Recently the drilling of a deep well (Renano well) on the northern part of the Subasio structure (see Fig. 1 for location) seems to confirm a complex groundwater circulation which can feed the Stifone-Nera Montoro springs. The Renano well (depth of about 260 m), which intercepted the Calcari Basali aquifer, is characterized by an high electrical conductivity and by an high salinity (2020 µS/cm, TDS = 1291.74 mg/L; FRONDINI, 2008). Part of the water infiltrating in the carbonate structures of the eastern sector is not discharged by the springs located at the border of the carbonate outcrops (i.e. Subasio Mount): thus a groundwater flow can be

M. Subasio, non si può escludere che il flusso, dopo lunghi tempi di residenza, sia diretto verso SW, quindi verso le uniche sorgenti di rilievo che sono proprio quelle di Stifone-Nera Montoro.

CONCLUSIONI

- Le informazioni piezometriche disponibili per la zona centro-meridionale della struttura indicano la presenza di un flusso con direzione NW-SE diretto verso il gruppo sorgentizio di Stifone-Nera Montoro. I pozzi che si attestano nella falda di base sia della zona centrale dei Monti di Amelia (pozzi n. 2 e 3) che della zona settentrionale de La Pasquarella (P1) presentano delle conducibilità elettriche inferiori a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quindi molto più bassi di quelli riscontrati a Stifone-Nera Montoro. Questo suggerisce che la salinità elevata delle sorgenti di Stifone non abbia origine nella struttura dei Monti di Amelia ma nei circuiti lunghi e profondi che interessano le strutture idrogeologiche circostanti. Le acque dei pozzi 2 e 3 sono di buona qualità e, come per quelli de La Pasquarella, potrebbero essere utilizzate per scopi idropotabili.
- Una progressiva riduzione annuale di precipitazione è stata registrata sin dai primi anni del secolo scorso, soprattutto nel settore settentrionale, come dimostrano i trend delle piogge annue misurate nelle stazioni meteorologiche di Orvieto e Prodo (Regione dell'Umbria, 2006). Essi indicano una diminuzione della pioggia, statisticamente significativa, di 3-4 mm/anno, coerente con quanto già osservato nella maggior parte delle stazioni dell'Italia centrale (BRUNETTI *et alii*, 2006; IPCC, 2007; DRAGONI & SUKHJA, 2008). Questa progressiva riduzione delle precipitazioni, richiede una revisione degli attuali piani di gestione delle risorse idriche al fine di evitare problemi di sovrasfruttamento e peggioramento della qualità delle acque, come sembra stia succedendo nel campo pozzi de La Pasquarella (Fig. 8).
- I dati a disposizione indicano che la ricarica media annua del settore centro-settentrionale della catena Narnese-Amerina contribuisce per non più del 15% alla portata totale delle sorgenti di Stifone-Nera Montoro. Secondo il bilancio idrogeologico qui eseguito, l'area di ricarica delle sorgenti di Stifone-Nera Montoro dovrebbe essere non inferiore ai 1000 km² e dovrebbe comprendere i Monti di Amelia, i Monti di Narni, la Catena Martana e la Catena Sabina, già indicate da BONI (2000). Tali strutture, però, non sono sufficienti a giustificare la portata complessiva delle sorgenti, e ciò implica un probabile apporto dalla zona meridionale dei Monti della Valnerina e/o dal flusso regionale proveniente dall'Umbria Nord-Orientale, come evidenziato da recenti perforazioni profonde nella zona del M. Subasio.
- Nella zona settentrionale dei Monti di Amelia, dati piezometrici recenti (che risultano essere basati su livellazioni con precisione centimetrica) indicano la presenza di un flusso verso E, che appare strettamente legato all'assetto geologico-strutturale, locale, dell'area. Questo flusso è al momento di difficile interpretazione, dato che non sono noti né il punto di recapito, né quanto si estende

directed towards the main spring in the SW part of Umbria (Stifone-Nera Montoro springs).

CONCLUSIONS

- Available piezometric data for the central-southern area of the Amelia Mountains indicate the presence of a flow running NW-SE towards the Stifone-Nera Montoro springs. Wells which intercept the deep groundwater circulation both on the central part of Amelia Mountains (wells n. 2 and 3) and on the northern sector of the structure (well P1 of La Pasquarella well field) show electrical conductivity values lower than 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. These values are much less than those registered at the Stifone-Nera Montoro springs. This suggests that the salinity of the Stifone springs does not originate in the Amelia Mountains, but is due to long, deep circuits from the surrounding structures. Consequently also the central-eastern area of the Amelia Mountains may contain deep water of sufficiently good quality for drinking purposes.
- A gradual reduction in annual rainfall has been recorded since the early years of the last century, mainly in the northern sector, as shown by precipitation trends measured at the Orvieto and Prodo rain gauges (DI MATTEO & DRAGONI, 2006a). They indicate a statistically significant decrease in rainfall of 3-4 mm/year, consistent with values already measured in most stations in Central Italy (BRUNETTI *et alii*, 2006; IPCC, 2007; DRAGONI & SUKHJA, 2008). This progressive reduction in precipitation, requires a revision of present water management plans in order to avoid problems of over exploitation and of worsening the water quality, as seems to be happening at the La Pasquarella well field (Fig. 8).
- The average annual recharge of the central-northern Narnese-Amerina chain provides at most only 15% of the total discharge of the Stifone-Nera Montoro springs. According to the water budget the recharge area of the Stifone-Nera Montoro springs should not be smaller than 1000 km² and ought to include the Amelia Mountains, the Narni Mountains, the Sabina Chain, the Martana Chain already identified by BONI (2000). Nevertheless these structures cannot justify the overall discharge of the base springs and that implies a probable contribution from the southern part of the Valnerina Mountains and/or the regional flow coming from the north-eastern Umbria.
- Recent piezometric data indicate the presence of a groundwater flow directed eastward in the northern area of the Amelia Mountains. This flow seems to be tightly connected to the local geological and structural set up of the area. It is at present difficult to understand how far south it extends, what is the final path and if it is just a local phenomenon. Therefore the question whether this area together with the contiguous carbonatic structure of Mount Peglia (Fig. 1) contributes to feeding the base

verso sud, né se sia un fenomeno solo locale. Rimane quindi da chiarire se quest'area, insieme alla contigua struttura carbonatica del Monte Peglia (Fig. 1) contribuisce all'alimentazione delle sorgenti di base di Stifone-Nera Montoro. Assumendo la stessa ricarica stimata per la struttura dei Monti di Amelia, queste aree, che nel complesso non superano i 50 km², possono fornire al massimo una portata di 0.5 m³/s.

In conclusione, a dispetto delle indagini effettuate, la questione delle sorgenti di Stifone, già affrontata da Boni e collaboratori alcuni decenni addietro, non è ancora risolta: è opinione degli scriventi che non lo potrà essere finché non si avranno a disposizione appropriati dati idrometeorologici ed idrogeochimici, a tutt'oggi carenti.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Servizio Difesa del Suolo, Cave, Miniere ed Acque Minerali 2a Sezione - Piani e programmi per la difesa del suolo - Idrografico Regionale Umbria, l'ENDESA Italia, nelle persone dell'Ing. Biacchi Cristiano e dell'Ing. Spogli Giuliano, per i dati di portata delle Sorgenti di Stifone-Nera Montoro e per gli schemi dei rilasci-prelievi lungo il F. Nera, la Umbra Acque (Geol. Vacca Gaetano) e l'ARPA dell'Umbria per i dati idrochimici e piezometrici del campo pozzi de La Pasquarella.

OPERE CITATE/REFERENCES

- ALBIANELLI A., BASILICI G., GIAMPAOLO C., GLIOZZI E., LO MASTRO S., MAZZINI I., NAPOLEONE G. & PONTINI M.R. (1999) - *Mid-late Pliocene palaeoenvironmental variations in the Valtiberina (Tiber Valley) lacustrine rhythmites: ostracod and pollen distributions related to the magnetocyclic record*. 2nd Limnogeological Congress, Brest (France), May 26th-30th, 1999.
- AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., ESU D., GIROTTI O., LA MONICA G.B., LANDINI B. & PARISI G. (1987) - *Il Pliocene ed il Pleistocene inferiore del bacino del fiume Tevere nell'Umbria meridionale*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **10**: 10-33.
- AMBROSETTI P. & BASILICI G. (1994) - *Appennino Umbro-Marchigiano*. Guide Geologiche Regionali, 7, a cura della Società Geologica Italiana - Roma, BE - MA editrice.
- BASILICI G. (1997) - *Sedimentary facies in an extensional and deep-lacustrine depositional system: the Pliocene Tiberino Basin, Central Italy*. Sedimentary Geology, **109**: 73-94.
- BEDINI S. (2002) - *Caratterizzazione idrogeologica ed idrogeochimica delle acque sotterranee della zona circostante il "Fosso della Pasquarella", settore settentrionale della Catena narnese-amerina (Umbria Meridionale)*. Tesi di laurea Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia.
- BEDINI S., CAMBI C., FRONDI F. & VALIGI D. (2005) - *Caratteristiche idrogeologiche ed idrogeochimiche delle acque sotterranee nel settore nord della Catena Narnese-Amerina (Umbria sud, Italia)*. FIST Geoitalia 2005, Spoleto (PG), 21-23 settembre 2005.
- BIGI S. & PIERANTONI P.P. (1997) - *Assetto geologico-strutturale della dorsale Narnese-Amerina a nord di Amelia (Appennino Centrale)*. Studi Geologici Camerti, **14**: 329-336.
- BIGI S., MANDRONE S., PIERANTONI P.P. & ROSSI D. (2000) - *Structural analyses and restoration of structural cross section in the northern central sector of the Narni-Amelia ridge (Central Apennines)*. Mem. Soc. Geol. It., **55**: 185-192.
- BIZZARRI R., AMBROSETTI P., ARGENTI P.I., GATTA G.D. & BALDANZA A. (2003) - *L'affioramento del Caio (Lago di Corbara, Orvieto, Italia Centrale) nell'ambito dell'evoluzione paleogeografica plio - pleistocenica della Valle del Tevere: evidenze sedimentologiche e stratigrafiche*. Il Quaternario, **16** (2): 240-255.
- BONCIO P., BACHECA A., BROZZETTI F. & LAVECCHIA G. (1995) - *Analisi geometrica e cinematica del settore centrale della catena Narnese-Amerina (Umbria Sud-Occidentale)*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale **1995/1**, 73-86.
- BONI C. (2000) - *Karst aquifers of the Central Apennines*. Hydrogeologie, **4**: 49-62.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema Idrogeologico Dell'Italia Centrale*. A) Carta Idrogeologica (Scala 1:500000); B) Carta Idrologica (Scala 1:500000); C) Carta Dei Bilanci Idrogeologici e Delle Risorse Idriche Sotterranee (Scala 1:1000000). Mem. Soc. Geol. It, **35**, 991-1012.
- BONI C., FALCONE M., GIAQUINTO S., MARTINI E. & ZOPPIS L. (1991) - *Risorse idriche sotterranee dei massicci umbri*. In: Le acque sotterranee in Umbria. Protagon Ed., Perugia. 49-64.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., MONTI F. & NANNI T. (2006) - *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumen-*

spings of Stifone-Nera Montoro remains open. Assuming the same recharge rate estimated for the Amelia Mountains these areas (about 50 km²) could only supply a maximum discharge of 0.5 m³/s.

In conclusion, despite the more recent studies, the problem of defining recharge area of the Stifone springs, already studied by Boni and colleagues several decades ago, has not yet been solved, and will not be until reliable meteorological and piezometric data, still insufficient, will be available.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the Servizio Difesa del Suolo, Cave, Miniere ed Acque Minerali 2a Sezione - Piani e programmi per la difesa del suolo - Idrografico Regionale Umbria, who provided most of the meteorological data, the ENDESA Italia (Eng. Biacchi Cristiano and Eng. Spogli Giuliano) for discharge data of Stifone-Nera Montoro springs and for dams' withdrawal-outflow information, the Umbra Acque (Geologist Vacca Gaetano) and the ARPA Umbria for hydrochemical and piezometric data of La Pasquarella well field.

- tal time series*. Int. J. Climatol. **26**: 345-381.
- CALAMITA F., PIERANTONI P.P. & PRONTONI R. (1995) - *Il sovrascorrimento di Narni (Appennino Centrale)*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale **1995/1**: 183-201.
- CAMBI C. (1996) - *Interpretazione delle prove di emungimento nel pozzo AC1 - Ponte dell'Argentario, Civitella del Lago (TR), area Monti di Amelia*. Relazione geologica, svolta nell'ambito del progetto della Regione Umbria "Risorse idriche sotterranee integrative e sostitutive da destinare al consumo umano: verifica delle portate estraibili".
- CAMBI C. (1999) - *Interpretazione delle prove di emungimento nel pozzo Pasquarella, area Monti di Amelia*. Relazione geologica, svolta nell'ambito del progetto della Regione Umbria "Risorse idriche sotterranee integrative e sostitutive da destinare al consumo umano: verifica delle portate estraibili".
- CHIOCCHINI U., CHIOCCHINI M. & MANNA F. (1987) - *Studio idrogeologico per il tracciato della galleria S. Croce della linea ferroviaria Orte/Falconara*. Geologia Applicata e Idrogeologia, **22**: 103-140.
- CHIODINI G., FRONDINI F., KERRICK D.M., ROGIE J., PARELLO F., PERUZZI L. & ZANZARI A.R. (1999) - *Quantification of deep CO₂ fluxes from Central Italy. Examples of carbon balance for regional aquifers and of soil diffuse degassing*. Chemical Geology **159**: 205-222.
- DAMIANI A.V. (1991) - *Osservazioni stratigrafico-strutturali sull'area fra la valle del F. Paglia e F. Tevere a sud del Lago Trasimeno*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale **1991/1**, sezione 3 dati regionali.
- DAMIANI A.V. & TUSCANO F. (1991) - *Panoramica sulla sedimentazione silico-clastica in facies umbra e i suoi rapporti con le unità ad affinità toscana*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale **1991/1**, sezione 3 dati regionali.
- DI MATTEO L. & DRAGONI W. (2006) - *Climate Change and Water Resources in Limestone and Mountain Areas: the case of Firenzuola Lake (Umbria, Italy)*. Hydrokarst 2006 (8th Conference on Limestone Hydrogeology), Neuchâtel, Switzerland, 46-52.
- DI MATTEO L., DRAGONI W., LATINI M. & SPINSANTI R. (2005) - *Risorse idriche sotterranee e loro gestione: il caso dell'ATO2 Umbria (Umbria Meridionale)*. Acque Sotterranee, **96**: 9-21.
- DRAGONI W. (1998) - *Some consideration regarding the radius of influence of a pumping well*. Hydrogeology, **3**: 21 - 25.
- DRAGONI W. & SUKHJIA B. S. (2008) - *Climate change and groundwater: a short review*. Geological Society, London, Special Publications, **288**: 1-12.
- FAZZINI P. (1968) - *La geologia dei Monti d'Amelia (stratigrafia e tettonica)*. Mem. Soc. Geol. Ital., **7**: 441-469.
- FRONDINI F. (1995) - *Geochemistry of ground water in South-Central Umbria*. Plinius, **13**: 79-83.
- FRONDINI F. (2008) - *Geochemistry of regional aquifer systems hosted by carbonate-evaporite formations in Umbria and southern Tuscany (central Italy)*. Applied Geochemistry, **23**: 2091-2104.
- GIROTTI O. & MANCINI M. (2003) - *Plio - Pleistocene stratigraphy and relations between marine and non-marine successions in the middle valley of Tiber river (Latium, Umbria)*. Il Quaternario, **16** (1bis): 89-106.
- IPCC (2007) - *Climate Change and Water, Impacts adaptation and vulnerability*. Ed. Parry M., Canziani O., Palutikof J., Van der Linden P., Hanson C. Working Group II. Cambridge University Press.
- MASSARELLI S. (2005) - *Studio idrogeologico del settore settentrionale della Catena Narnese-amerina (Umbria meridionale) in corrispondenza del "campo pozzi" realizzato in località Madonna della Pasquarella (TR)*. Tesi di laurea Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia.
- MINCIARELLI S. (2004) - *Contributo alle conoscenze idrogeologiche della catena narnese-amerina tra il lago di Corbara e Stifone*. Tesi di laurea non pubblicata. Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia.
- MINISALE A., KERRICK D.M., MAGRO G., MURRELL M.T., PALADINI M., RIHS S., STURCHIO N.C., TASSI F. & VASELLI O. (2002) - *Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications*. Earth and Planetary Science Letters, **203**: 709-728.
- MORGANTINI N., FRONDINI F. & CARDELLINI C. (2008) - *Natural trace elements baselines and dissolved loads in groundwater from carbonate aquifers of central Italy*. Phys. Chem. Earth, doi:10.1016/j.pce.2008.05.004.
- REGIONE DELL'UMBRIA (1989) - *Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione (I stralcio) - Relazione di Sintesi (Piano Lotti)*. Assessorato Difesa del Suolo, Ambiente e Infrastrutture, Perugia.
- REGIONE DELL'UMBRIA (1991) - *Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione (I stralcio) - I fase operativa, indagini geoidrologiche preliminari, Area Monti di Amelia e Monti Martani*. Assessorato Difesa del Suolo, Ambiente e Infrastrutture, Perugia.
- REGIONE DELL'UMBRIA (1995) - *Risorse idriche sotterranee integrative e sostitutive da destinare al consumo umano: verifica delle portate estraibili, Progetto esecutivo delle perforazioni di prova-produzione*. Assessorato Difesa del Suolo, Ambiente e Infrastrutture, Perugia.
- REGIONE DELL'UMBRIA (2006) - *Progetto Emergenza Idrica O.P.G.R. n. 48/04 "Analisi delle Risorse Idriche Sotterranee nell'Umbria Nord-Orientale e Sud-Occidentale"*. Regione dell'Umbria e Università degli Studi di Perugia. Rapporto interno del Servizio Geologico Regione dell'Umbria.
- ZOPPI G. (1892) - *Nera e Velino*. Carta idrografica d'Italia 14, Ministero dell'Agricoltura Industria e Commercio (Tevere).

Received September 2008 - Accepted January 2009