

Cartografia idrogeologica sperimentale delle aree dei Monti del Matese e del Monte Totila (Campania-Molise)

*Experimental hydrogeological cartography
of the Monti del Matese and Monte Totila districts
(Campania-Molise, Italy)*

CELICO P.B. (*), CELICO F. (**),
CACCIUNI A. (***)

RIASSUNTO - La verifica sperimentale di applicabilità della “Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000” per le aree dei Monti del Matese e del Monte Totila, ha evidenziato i limiti e le integrazioni necessarie alle proposte della “Guida” per aree con un complesso assetto geologico-strutturale, che determina una articolata circolazione idrica sotterranea. Gli studi condotti hanno evidenziato che, nell'idrostruttura carbonatica dei Monti del Matese, le sorgenti d'alta quota mostrano una notevole potenzialità, con una configurazione a “serbatoi in serie”, a differenza di quanto constatato nell'area del Monte Totila. Inoltre, è stata accertata, nella Piana del Fiume Sordo, l'esistenza di travaso idrico sotterraneo dal limitrofo massiccio carbonatico del Totila.

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia, Cartografia idrogeologica, Massicci carbonatici, Monti del Matese, Monte Totila.

ABSTRACT - This study is aimed to test the guidelines for the realization of the Italian official hydrogeological map, published in the “Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000”. The test areas of this work are the Monti del Matese and the Monte Totila districts. This research has highlighted the limitations and the necessary implementations to the cited guidelines when areas with complex geological-structural settings and groundwater flow systems are observed.

Unlike in the Monte Totila area, in the Monti del Matese carbonate hydrostructure, high-altitude springs showing a remarkable discharge occur. In the Sordo River Plain the study have evidenced groundwater flowthrough from the neighbouring Monte Totila carbonate massif.

KEY WORDS: Hydrogeology, Hydrogeological cartography, Carbonatic massifs, Monti del Matese, Monte Totila.

(*) Università degli Studi di Napoli “Federico II” - Dipartimento di Scienze della Terra

(**) Università degli Studi del Molise - *Groundwater Research Center*

(***) ISPRA - Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale

1. - PREMESSA

Il presente lavoro riassume, dopo un'ampia revisione ed aggiornamento sia nei dati idrogeologici sia nella veste editoriale e cartografica, i risultati ottenuti in seguito ad uno studio realizzato nell'ambito di una convenzione tra Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali - Servizio Geologico Nazionale (ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia) e Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Scienze della Terra.

Durante lo studio sono state svolte attività concernenti "Verifiche sperimentali di applicabilità della Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" nelle aree dei Monti del Matese e del Monte Totila comprese:

- nella porzione settentrionale dell'idrostruttura carbonatica dei Monti del Matese (Campania e Molise) e la limitrofa Piana di Boiano. Quest'area, che ha una estensione di 130 km² ed è bordata a Sud, dalla linea tettonica "Lago del Matese - Lentino", ad Est, dall'abitato di Guardiaregia, a Nord, dalla linea tettonica "Monteroduni - Boiano" e ad Ovest, dal F. Volturno, è caratterizzata dalla presenza di un acquifero costituito prevalentemente da calcari di piattaforma e da una limitrofa piana detritico-alluvionale;

- nell'acquifero carbonatico del Monte Totila (Molise) e la limitrofa Piana del Fiume Sordo. Quest'area, che ha una estensione di 150 km² ed è bordata a Sud, dalla Piana del Fiume Carpino, ad Est, dagli abitati di Macchiagodena e Frosolone, a Nord, dal Fiume Trigno e, ad Ovest, dalla Piana del Fiume Sordo e dall'abitato di Miranda, è caratterizzata da un acquifero costituito prevalentemente da successioni calcareo-silico-marnose di scarpata-bacino e da una limitrofa piana fluvio-lacustre.

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. - MONTI DEL MATESE

La zona centrale dei Monti del Matese è caratterizzata da sequenze deposizionali di piattaforma subsidente dal Triassico superiore al Cretacico superiore, ricoperte in trasgressione da calcari organogeni del Miocene medio di ambiente neritico aperto (SELLI, 1957; PESCATORE, 1965; IETTO, 1971; COCCO, 1971), mentre lungo il bordo NE si riconoscono complessi sedimentari di margine di età cenomaniana-campaniana.

La fascia di transizione è generalmente caratterizzata dall'abbondanza di facies detritiche con evidenti fenomeni di risedimentazione e brusche variazioni nella distribuzione areale, definite da passaggi litologici sia in senso laterale sia verticale.

Studi condotti nell'area del Matese evidenziano diverse modalità di collegamento paleogeografico tra il dominio di piattaforma carbonatica dei Monti del Matese ed dominio bacinale dei Monti di Frosolone. Da un punto di vista strutturale, nella porzione del Matese nord-occidentale si osserva (IETTO, 1971, DE CORSO *et alii*, 1998, SCROCCA & TOZZI, 1999) la presenza di strutture legate alla compressione miocenica, tra cui la struttura anticlinale (nota come "anticlinale del Matese") a cui è associata una struttura sinclinale nel settore del Torrente Lorda ("sinclinale del torrente Lorda"). Il sistema anticlinale-sinclinale risulta poi ulteriormente dislocato da un piano di accavallamento che presenta rigetti non molto elevati (*fault-propagation-fold*). Per quanto riguarda invece il Matese orientale, il contatto tettonico tra il massiccio carbonatico e le unità bacinali, si realizza su sistemi di faglie distensive con orientazione prevalentemente E-W (SCROCCA & TOZZI, 1999) o su sistemi di faglie sub-verticali, con orientazione prevalente E-W e NW-SE, che provocano il rilassamento dei termini terrigeni (SCROCCA *et alii*, 1995).

L'orientamento delle principali discontinuità tettoniche, all'interno del massiccio, è appenninico (NW-SE) e tirrenico (SW-NE) (COCCO, 1971). Tali faglie sono successivamente tagliate da strutture trascorrenti orientate E-W e WNW-ESE. A partire dal Pleistocene medio, un regime deformativo a carattere estensionale, con direzione principalmente NW-SE, si sostituisce a quello trascorrente; tale regime distensivo ha determinato la formazione di faglie dirette e la riattivazione di elementi tettonici trascorrenti preesistenti, (N-S sinistre e ENE-WNW destre). L'attività estensionale sembra proseguire senza variazioni sino ad oggi (NASO *et alii*, 2000).

L'area dei Monti del Matese è costituita da una potente successione meso-cenozoica in facies di piattaforma carbonatica, nel Matese orientale, ed in facies di margine, nel Matese occidentale. In misura marginale sono invece presenti coperture mioceniche.

2.2. - MONTE TOTILA

Nell'area del Monte Totila le successioni stratigrafiche sono riconducibili ad un paleo-ambiente di scarpata, caratterizzato da sedimentazione calcareo-marnoso-selciosa, dal Cretacico fino al

Miocene con notevoli apporti detritici dalla zona di piattaforma (M.ti di Venafro-Isernia; Montagnola di Frosolone; zona di Sepino) (PESCATORE, 1965; PIRONON, 1980; PATACCA *et alii*, 1992).

La configurazione attuale di queste aree è il risultato complessivo della continua evoluzione paleogeografica e dei notevoli sconvolgimenti tettonici che a più riprese, ma particolarmente nel Mio-Pleistocene, hanno deformato e disarticolato le unità tettoniche preesistenti, complicandone ulteriormente la geometria dei rapporti. Esiste un generale accordo in letteratura (CLERMONTÉ, 1982; RENEAUD *et alii*, 1990) sull'originario collegamento paleogeografico tra il settore NW del Matese settentrionale ed il dominio della Montagnola di Frosolone. Quindi, sia il Matese che la Montagnola di Frosolone farebbero parte di una stessa struttura tettonica sovrascorsa verso N sul dominio molisano. Da un punto di vista geologico-strutturale tale ipotesi è avvalorata dal rinvenimento, lungo il fianco NW della Montagnola di Frosolone, della prosecuzione del fronte di accavallamento che borda a NE i Monti Ernici e che prosegue nel settore di Castelromano. Questo sovrascorrimento delimiterebbe un *thrust sheet* di I ordine causando la sovrapposizione tettonica dell'insieme dei Monti Ernici, dei Monti di Venafro, della Montagnola di Frosolone e, per quanto finora noto, del Matese Settentrionale sui domini terrigeni delle Unità Molisane (SCROCCA *et alii*, 1995). Inoltre, l'assetto tettonico della Montagnola di Frosolone è caratterizzato da una struttura a cupola ampia ed appiattita, molto evidente nella sua metà SE, dislocata da diversi sistemi di faglie che non ne alterano in modo significativo la continuità. Lungo i bordi meridionale ed orientale è osservabile la regolare transizione stratigrafica tra la successione carbonatica e i depositi terrigeni. Il bordo SW, infine, è delimitato da un vistoso sistema di faglie dirette con orientazione medio appenninica, che deprime verso SW le strutture della Montagnola di Frosolone (SCROCCA & TOZZI, 1999).

3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La circolazione idrica sotterranea all'interno dell'idrostruttura carbonatica di Monte Totila (CELICO, 1978, 1983a, 1983b) è estremamente articolata a causa del complesso assetto geologico-strutturale e della coesistenza di litotipi a permeabilità relativa significativamente diversa.

Tale articolazione si manifesta, innanzitutto, attraverso la presenza di numerose emergenze sorgive di notevole entità, collocate a quote anche

sensibilmente diverse, caratterizzate, in parte, da regimi variabili ed, in parte, da regimi modulati.

La medesima articolazione è, inoltre, responsabile della formazione di corpi idrici sotterranei sovrapposti, con la creazione di diverse "falde sospese"; falde la cui potenzialità è comunque piuttosto modesta, in rapporto a quella delle falde basali.

Riguardo alla Piana del Fiume Sordo di particolare interesse è l'esistenza di rapporti di travaso idrico sotterraneo dal limitrofo massiccio carbonatico che risulta diversificato, a scala di dettaglio, a seconda degli orizzonti litologici presi in esame.

L'idrostruttura carbonatica dei Monti del Matese (CIVITA, 1969; CHIOCCHINI, 1972; CELICO, 1978, 1983a, 1983b; CORNIELLO *et alii*, 1988; CASALE & CELICO, 1995; CELICO & MUSILLI, 2005; CELICO *et alii*, 200; PETRELLA *et alii*, 2007; PETRELLA *et alii*, 2008; PETRELLA *et alii*, 2009; PETRELLA & CELICO, 2009) mostra anch'essa la coesistenza di numerose scaturigini, tra le quali quelle ad alta quota mostrano una notevole potenzialità, a differenza di quanto constatato nell'area campione di Monte Totila. Inoltre, la loro distribuzione spaziale, vista alla luce dell'assetto geologico-strutturale, consentirebbe, allo stato attuale, di ipotizzare l'esistenza, in alcuni casi, di ampi corpi idrici sotterranei d'alta quota, caratterizzati da una configurazione a "serbatoi in serie". Tuttavia, soprattutto in virtù dei relativamente brevi tempi di residenza delle acque sotterranee all'interno dell'acquifero, tali scaturigini si mostrano altamente vulnerabili all'inquinamento, con particolare riferimento a quello microbiologico (CELICO *et alii*, 2004a; CELICO *et alii*, 2004b; CELICO & NACLERIO, 2005; CELICO *et alii*, 2007a; CELICO *et alii*, 2007b; CELICO *et alii*, 2008; NACLERIO *et alii*, 2008; NACLERIO & CELICO, 2009; NACLERIO *et alii*, 2009a; NACLERIO *et alii*, 2009b).

4. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Per la realizzazione della Carta Idrogeologica a scala 1:50.000, i litotipi affioranti sono stati raggruppati in *complessi idrogeologici* aventi, nel loro insieme, un comportamento sostanzialmente simile nei confronti dell'infiltrazione, del grado di permeabilità e della circolazione idrica sotterranea (CIVITA, 1973). A tale scopo è stata utilizzata la Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000, fogli n° 153, 161 e 162 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1970, 1971a, 1971b).

Più in dettaglio, sono stati distinti i seguenti complessi: dolomitico, calcareo-dolomitico, calcareo, dei diaspri, calcareo-silico-marnoso, calcareo-marnoso, calcareo-marnoso-argilloso, marnoso-

calcareo, argilloso-marnoso-calcareo, arenaceo-marnoso-argilloso, argilloso-marnoso-arenaceo, arenaceo-conglomeratico-marnoso, dei travertini, delle terre rosse, detritico, fluvio-lacustre e alluvionale. Di seguito si riporta la descrizione litologica e la permeabilità per ogni complesso individuato:

- nel complesso dolomitico sono state accorpate le dolomie saccaroidi bianche o grigie, in strati e banchi, talora con intercalazioni di dolomie microcristalline bituminose grigio-scure o nere, cataclastiche, soprattutto al piede dei versanti; a tale complesso è stato attribuito un grado di permeabilità medio per fratturazione;

- del complesso calcareo-dolomitico fanno parte dolomie e calcari dolomitici in strati e banchi, con frequenti lamine stromatolitiche, talora con prevalenza di calcari nella parte alta; calciruditi intraformazionali con cemento dolomizzato verde o rosato; calcari detritico-pseudoolitici, subordinatamente, oolitici, avana, grigi e nocciola, alternati a calcari compatti e a dolomie; tale complesso è caratterizzato da una permeabilità alta per fratturazione e subordinatamente per carsismo;

- nel complesso calcareo sono stati accorpate breccie e brecciole calcaree monogeniche; calcari bianchi subcristallini; calcareniti bianche a cemento spatico, ben stratificate; calcareniti, talora marnose, prevalentemente organogene; calcareniti e breccie calcaree; breccie in prevalenza stratificate, con elementi calcarei a luoghi arrotondati, più o meno cementate; breccie poligeniche ad elementi e cemento calcarei, passante a brecciola avana stratificata, lentiforme e discontinua; calcari oolitici e pisoliti grigio scuri; talora calciruditi con rare intercalazioni di marne giallastre e verdi; calcareniti e calciruditi biancastre; calcari oolitici e pisoliti grigio scuri; calciruditi con rare intercalazioni di marne giallastre e verdi. Questo complesso è caratterizzato da una permeabilità elevata per fratturazione e carsismo;

- nel complesso dei diaspri sono stati accorpate i diaspri rossi e scisti silicei nerastrati e i diaspri varicolori con intercalazioni di calcari detritici, calcari tipo "scaglia" e marne; eteropici, nella parte alta, a calcari ed a brecciole poligeniche, ben stratificati, con arnioni e straterelli di selce; il complesso ha una permeabilità medio-bassa per fratturazione;

- del complesso calcareo-silico-marnoso fanno parte le calcareniti a grana fine e calcari marnosi avana, spesso selciferi, ben stratificati; intercalazioni calcareo-clastiche di vario spessore; esso è caratterizzato da un grado di permeabilità medio-alto per fratturazione e carsismo;

- il complesso calcareo-marnoso comprende calcari marnosi intercalati a marne ed a rari strati di calcareniti calciruditi, con arnioni e straterelli di

selce grigia, grigio-avana e rosso-violacea; calcareniti, calcari oolitici e pisoliti, avana e grigi; marne e calcari marnosi giallastri e verdi; marne argilloso-siltose, varicolori; marne arenacee. Tale complesso è caratterizzato da una permeabilità medio-alta per fratturazione e carsismo;

- nel complesso calcareo-marnoso-argilloso sono state accorpate calcareniti, calcari marnosi brecciole poligeniche avana alternate, verso il basso, a marne ed argille verdastre, calcareniti fini avana con arnioni a lenti di selce grigio-avana; a tale complesso è stato attribuito un grado di permeabilità medio per fratturazione;

- del complesso marnoso-calcareo fanno parte le marne verdi e grigie, calcari grigio-verdasti, calcareniti avana-grigiastre, sottilmente stratificati, con selce grigio-avana in straterelli e lenti; esso è caratterizzato da un grado di permeabilità medio-basso per fratturazione;

- il complesso argilloso-marnoso-calcareo comprende le argille e argille siltose ed arenacee grigie o varicolori, con lenti, spesso di grandi dimensioni, di arenarie micacee ed intercalazioni discontinue di calcari marnosi avana e verdastri, calcareniti grigio-avana; a tale complesso è stato attribuito un grado di permeabilità basso per porosità e fratturazione;

- del complesso arenaceo-marnoso-argilloso fanno parte arenarie con livelli di marne e argille marnose grigiastre, con qualche intercalazione conglomeratica nella parte più alta; tale complesso è caratterizzato da una permeabilità molto bassa per porosità e fratturazione;

- il complesso argilloso-marnoso-arenaceo comprende marne ed argille cineree con frequenti intercalazioni verso l'alto di arenarie grigio-azzurre e calcareniti avana; la permeabilità è molto bassa, per porosità e fratturazione;

- del complesso arenaceo-conglomeratico-marnoso fanno parte le arenarie in grossi banchi, con livelli conglomeratico-marnosi costituenti cornici e sferoidi; a tale complesso è stato attribuito un grado di permeabilità medio-basso per porosità e fratturazione;

- il complesso dei travertini comprende i travertini, talora intercalari o coperti da livelli di ciottoli calcarei; esso è caratterizzato da un grado di permeabilità alto per porosità e fratturazione;

- del complesso delle terre rosse fanno parte le terre rosse e detriti delle depressioni di tipo carsico; questi litotipi sono caratterizzati da un grado di permeabilità basso per porosità;

- nel complesso detritico sono stati accorpate il detrito di falda sciolto o debolmente cementato, caratterizzato da una permeabilità molto alta per porosità;

- nel complesso fluvio-lacustre sono state accorpate marne argillose e varvate, sabbie argillose e sabbie a volte con livelli torbosi; lenti di ciottoli poligenici; argille sabbiose, limi, sabbie con lenti di ciottoli calcarei di piccole dimensioni, e di lapilli e pomici; terreni umiferi scuri, talora misti a detriti incoerenti; limi ed argille limose di colmata di depressioni bonificate; a tale complesso è stato attribuito un grado di permeabilità medio per porosità;

- del complesso alluvionale fanno parte le alluvioni antiche terrazzate e le alluvioni ghiaiose degli alvei attuali e di gola; a tale complesso è stato attribuito un grado di permeabilità molto alto per porosità.

5. - IDRODINAMICA SOTTERRANEA NELLE AREE DI STUDIO

Nella predisposizione della Carta Idrogeologica assume un ruolo determinante la caratterizzazione dei corpi idrici, pertanto sono stati individuati i principali punti d'acqua (sorgenti, pozzi e corsi d'acqua) presenti nell'area di studio, ed individuati quelli collocati nei punti più significativi ai fini dell'affinamento degli schemi e delle modalità di circolazione idrica sotterranea nelle aree di studio.

Sono stati analizzati i dati storici (CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1959, 1962, 1974, 1976a, 1976b, 1978), ed eseguito un monitoraggio mensile della durata di un anno (ottobre 2002-novembre 2003) dei seguenti punti d'acqua.

Per quanto riguarda l'idrostruttura carbonatica del Matese (la numerazione è identificativa dei singoli punti d'acqua nella Carta Idrogeologica in tasca di copertina):

a. il gruppo sorgivo Lago Matese (Sorgente Santa Maria n. 1, Fosso Dei Cavoli n. 2, Fosso Fatello n. 3, Varo della Cannella n. 4, Strega Vitelli n. 5, Rio Freddo n. 6, Capo di Campo n. 7 e il gruppo sorgivo Capo le Mandre n. 18); l'analisi di tali sorgenti è di particolare interesse per l'affinamento delle conoscenze circa le modalità di circolazione e di emergenza delle falde d'alta quota;

b. il gruppo sorgivo del Biferno (Gruppo sorgivo Rio Freddo n. 15, Gruppo sorgivo Maiella n. 16 e Gruppo sorgivo Pietrecadute n. 17), posto ai margini nord orientali dell'idrostruttura stessa e alimentato dalla falda di base;

c. un pozzo e due piezometri (Capo Savone n. 21, Fonte della Noce n. 22 e Santa Maria e S. Giacomo n. 23) attestati nell'acquifero carbonatico.

Per quanto riguarda la Piana di Boiano, è stata individuata una maglia di 7 pozzi da sottoporre a monitoraggio. Si è proceduto, inoltre, ad effettua-

re misure di portata in alveo, in corrispondenza di due sezioni ubicate lungo il torrente Lorda, allo scopo di analizzare i rapporti di interazione tra il fiume e la falda dell'acquifero carbonatico.

Per quanto riguarda l'idrostruttura carbonatica di Monte Totila, sono state selezionate (la numerazione è identificativa dei singoli punti d'acqua nella carta idrogeologica in tasca di copertina):

a. le sorgenti poste ai margini dell'idrostruttura stessa (S. Anastasio n. 12, S. Martino n. 13, S. Onofrio n. 19), collocate nei punti altimetricamente più bassi della "cintura impermeabile" e chiaramente alimentate dalla falda di base;

b. alcune sorgenti (Gruppo Castalde n. 8, Gruppo Carpinone n. 11, Gruppo Ciccone n. 9, Gruppo Pincio n. 20, Murolungo n. 10) alimentate sempre dalla falda basale, nonostante siano collocate a quote relativamente elevate; l'analisi di tali sorgenti è di particolare interesse per l'affinamento delle conoscenze circa l'influenza dell'assetto geologico-strutturale sulla circolazione idrica sotterranea nella porzione centrale dell'idrostruttura;

c. una sorgente d'alta quota (Iapietro n. 14), rappresentativa delle modalità evolutive delle falde d'alta quota.

Per quanto riguarda la Piana del Fiume Sordo, è stata individuata una maglia di 13 pozzi posta sotto osservazione. Si è proceduto, inoltre, ad effettuare misure di portata in due sezioni del suddetto corso d'acqua, allo scopo di monitorare le emergenze del fronte sorgivo S. Martino e di quantificare i rapporti di interazione tra il fiume e la falda dell'acquifero di pianura.

5.1. - MONTI DEL MATESE E PIANA PIANA DI BOIANO

5.1.1. - *Gruppi sorgivi Lago Matese e Capo Le Mandre*

Il monitoraggio delle portate delle sorgenti del Gruppo Lago Matese è stato effettuato da ottobre a dicembre 2002 e da marzo a novembre 2003 (tab. 1). Infatti, durante i mesi di gennaio e febbraio 2003, le avverse condizioni meteorologiche non hanno consentito l'accesso ai punti di misura.

L'analisi dei dati di portata (tab. 1) ha consentito, in primo luogo, la ricostruzione degli idrogrammi di portata qui di seguito analizzati (fig. 1).

Dall'analisi degli idrogrammi di portata delle sorgenti del gruppo "Lago Matese" è possibile osservare, in primo luogo, che le sorgenti sono caratterizzate da un regime diversificato: alcune di esse sono stagionali ed hanno un esaurimento molto rapido (Fosso dei Cavoli, Fosso Fatello, Varo della Cannella, Rio Freddo e Capo di Campo), altre sono perenni ed hanno un esaurimento

generalmente più lento (Strega Vitelli e Santa Maria). Il tutto è confermato dai coefficienti di esaurimento (tab. 2), che presentano circa un mezzo ordine di grandezza di differenza. In ogni caso, i suddetti coefficienti sono peculiari di un acquifero a circuito complessivamente rapido, come del resto confermato dai valori dell'indice di Meinzer (tab. 2), che è risultato superiore al 100% per tutte le sorgenti. Il monitoraggio mensile, tuttavia, non ha mai evidenziato picchi isolati di portata, rappresentativi di collegamenti diretti tra le scaturigini e zone di assorbimento concentrato di acque a deflusso superficiale.

I dati di portata acquisiti durante lo svolgimento del progetto hanno consentito di calcolare la portata media del periodo di osservazione per ogni sorgente (tab. 2), nonché per l'intero fronte sorgivo ($0,402 \text{ m}^3/\text{s}$). Quanto emerso nel corso del monitoraggio è stato messo a confronto con quanto desumibile dai dati storici, che evidenziano un regime irregolare, con tempi di risposta dell'acquifero piuttosto rapidi. Ne sono testimonianza coefficienti di esaurimento pari a $7,9 \times 10^{-3} \text{ g}^{-1}$, per la sorgente Capo Le Mandre, e pari a $6,4 \times 10^{-3} \text{ g}^{-1}$, per la sorgente Fontana dei Mulini.

Per quanto concerne il Gruppo Capo Le Mandre, la disamina degli sporadici dati di portata consultati presso gli Enti gestori le opere di captazione mostra l'esistenza di un forte condizionamento del regime sorgivo ad opera di arrivi rapidi e diretti di acque di infiltrazione secondaria. Di conseguenza, anche se i suddetti dati non sono

idonei per ricostruire un corretto idrogramma di portata, mostrano la necessità di rivedere il calcolo della portata media annua finora effettuato sulla base del monitoraggio pregresso, depurando i dati storici dai picchi di portata più evidenti. In tal modo, la portata media annua dell'intero gruppo sorgivo risulta pari non più a $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$, ma a $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nei pozzi e piezometri attestati nell'acquifero carbonatico, si riscontra un abbassamento dei livelli piezometrici da ottobre a novembre 2002 e un loro innalzamento da novembre a gennaio 2003 (tab. 3). A partire da gennaio, comincia una lenta fase di complessivo esaurimento, sia pure interrotta da una lieve inversione di tendenza nel corso del mese di aprile. Il tutto in accordo con lo sviluppo di una dinamica di ricarica – esaurimento prevalentemente condizionata dalla percolazione diffusa delle acque di infiltrazione efficace nella rete di fratture intercomunicanti.

5.1.2. - Piana di Boiano

I livelli piezometrici dei pozzi (numerati da 1 a 7) ubicati nella Piana di Boiano sono stati monitorati mensilmente (tab. 4), in modo da ricostruire il regime della falda (fig. 2), e lo schema idrodinamico.

Dalla ricostruzione della morfologia piezometrica della Piana di Boiano (fig. 3) emerge che i versi di deflusso della falda sono orientati da NW verso SE, nella porzione settentrionale dell'acquifero, e da SW

Tab. 1 - *Misure di portate delle Sorgenti "Lago Matese".*
- Discharge values of the "Lago Matese" springs.

Data	Portata (m ³ /s)						
	1	2	3	4	5	6	7
10/10/02	0,007	0,058	0,090	0,011	0,038	0,119	0,024
20/11/02	0,007	0,060	0,089	0,015	0,039	0,129	0,028
04/12/02	0,010	0,068	0,095	0,018	0,570	0,137	0,025
14/03/03	0,064	0,073	0,115	0,053	0,106	0,149	0,196
14/04/03	0,073	0,081	0,127	0,062	0,118	0,154	0,200
23/05/03	0,043	0,010	0,031	0,038	0,081	0,023	0,029
22/06/03	0,035	0,000	0,000	0,000	0,540	0,000	0,018
23/07/03	0,023	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,002
27/08/03	0,011	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000
30/09/03	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
06/10/03	0,0002	0,000	0,000	0,000	0,0015	0,000	0,000
08/11/03	0,014	0,005	0,013	0,009	0,016	0,046	0,020
20/11/03	0,007	0,000	0,000	0,002	0,006	0,019	0,010

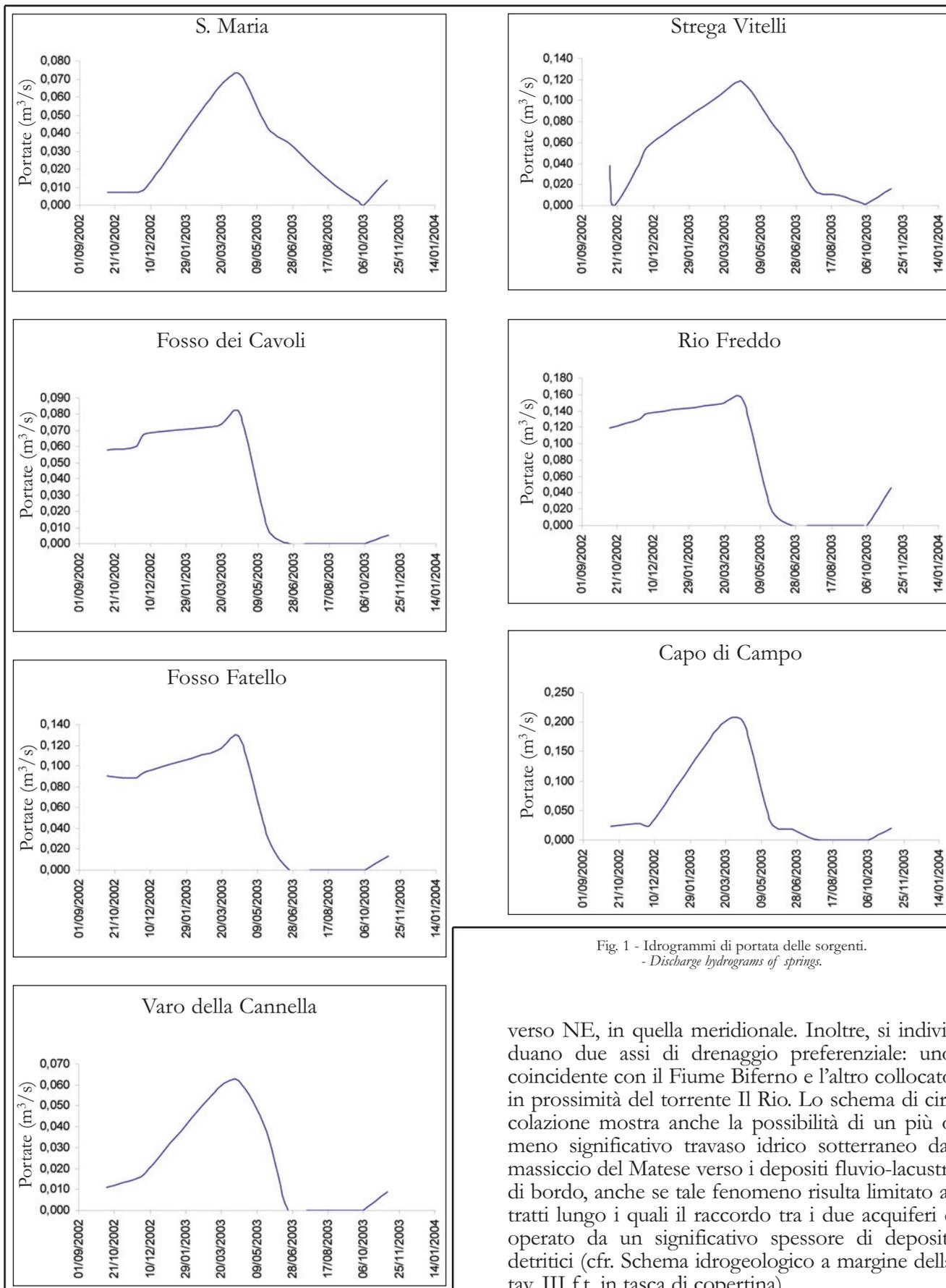


Fig. 1 - Idrogrammi di portata delle sorgenti.
 - Discharge hydrograms of springs.

verso NE, in quella meridionale. Inoltre, si individuano due assi di drenaggio preferenziale: uno coincidente con il Fiume Biferno e l'altro collocato in prossimità del torrente Il Rio. Lo schema di circolazione mostra anche la possibilità di un più o meno significativo travaso idrico sotterraneo dal massiccio del Matese verso i depositi fluvio-lacustri di bordo, anche se tale fenomeno risulta limitato ai tratti lungo i quali il raccordo tra i due acquiferi è operato da un significativo spessore di depositi detritici (cfr. Schema idrogeologico a margine della tav. III f.t. in tasca di copertina).

Tab. 2 - *Dati idrogeologici delle Sorgenti del Gruppo Lago Matese.*
- Hydrological data of the Lago Matese spring group.

Sorgente	Coefficiente di esaurimento (g ⁻¹)	Portate medie (m ³ /s) 2002/2003	Portate medie (m ³ /s) dati storici	Indice di Meinzer, 2002/2003
Santa Maria (1)	2,8x10 ⁻²	0,024	0,052	303 %
Fosso dei Cavoli (2)	5,2x10 ⁻²	0,030	0,006	270 %
Fosso Fatello (3)	3,5x10 ⁻²	0,047	0,074	270 %
Varo della Cannella (4)	8,7x10 ⁻²	0,017	0,074	365 %
Strega Vitelli (5)	2,5x10 ⁻²	0,045	0,016	259 %
Rio Freddo (6)	4,7x10 ⁻²	0,063	0,015	244 %
Capo di Campo (7)	4,0x10 ⁻²	0,045	0,014	444 %

Tab. 3 - *Livelli piezometrici misurati nel pozzo n. 21 e nei piezometri n. 22 e 23.*
- Piezometric levels measured in well n. 21 and in piezometers n. 22 and 23.

Data	Quote della falda (m s.l.m.)		
	n. 21	n. 22	n. 23
15/10/2002	1007,19	1008,38	SECCO
18/11/2002	1006,19	1005,11	SECCO
16/12/2002	1009,01	1009,68	1056,30
14/01/2003	1012,58	1013,20	1066,80
25/02/2003	1008,40	1009,65	1056,30
25/03/2003	1008,52	1009,55	1055,88
25/04/2003	1008,41	1009,65	1056,28
6/05/2003	1007,87	1008,96	1054,55
23/06/2003	1004,74	1005,74	1047,99
08/07/2003	1004,36	1005,36	1047,80
25/08/2003	992,14	993,14	1029,16
15/09/2003	999,42	995,19	1030,16
23/10/2003	1002,32	1000,80	1031,10
21/11/2003	1005,90	1006,47	1039,10

Dall'analisi degli idrogrammi piezometrici si osserva una diversa risposta della falda ai fenomeni di infiltrazione efficace, sia in termini di entità, sia in termini di rapidità. Ciò è in linea con l'origine fluvio-lacustre dell'acquifero e, quindi, con la coesistenza di litotipi caratterizzati da differenti conducibilità idraulica, nonché con la diversa collocazione dei punti di monitoraggio rispetto ai recapiti della falda (punti a potenziale imposto).

5.1.3. - *Torrente Lorda*

Nell'area del Matese nord-orientale non sono stati individuati corsi d'acqua perenni, il problema dell'analisi sperimentale dei rapporti falda - fiume e della successiva esemplificazione cartografica dei risultati ottenuti è stato affrontato all'interno di una sub-struttura carbonatica limitrofa, mediante il monitoraggio delle portate all'interno del Torrente Lorda.

Le sezioni di misura sul Torrente Lorda sono ubicate ai margini del tratto di alveo impostato sui calcari, compreso tra l'abitato di Longano (sez. 1, in tav. III f.t. in tasca di copertina) e quello di S. Agapito (sez. 2, in tav. III f.t. in tasca di copertina). Inoltre, per una corretta interpretazione dei dati, sono state predisposte misure di portata degli apporti laterali lungo questo stesso tratto di torrente (sez. 3 e sez. 4, in tav. III f.t. in tasca di copertina) (tab. 5).

Tab. 4 - *Livelli piezometrici misurati nei pozzi (numerati da 1 a 7) della Piana di Boiano.*
- Piezometric levels measured in wells (from n. 1 to n. 7) in the Boiano Plain.

Data	Quote della falda (m s.l.m.)						
	Pozzo 1	Pozzo 2	Pozzo 3	Pozzo 4	Pozzo 5	Pozzo 6	Pozzo 7
23/10/02	472,8	475,8	479,9	487,5	486,2	477,4	476,7
28/11/02	472,9	475,9	479,8	487,4	486,2	477,3	476,8
19/12/02	473,0	476,4	480,2	487,6	487,6	478,2	477,3
16/01/03	473,0	476,5	480,4	488,1	487,7	478,3	477,5
04/02/03	473,2	476,7	480,5	488,5	487,3	478,6	477,9
07/03/03	472,9	476,0	480,2	487,9	487,1	478,1	477,2
10/04/03	473,0	476,2	480,6	488,1	487,7	478,4	477,3
23/05/03	472,9	476,1	479,9	487,5	487,3	477,8	476,9
27/06/03	472,8	476,0	478,8	486,5	486,7	476,7	476,8
28/07/03	472,7	475,8	478,5	485,5	485,9	476,3	476,5
29/08/03	472,7	475,8	478,3	484,5	485,5	476,2	476,4
26/09/03	472,7	475,6	478,2	484,3	484,8	476,2	476,2
31/10/03	473,0	475,85	480,3	485,35	485,3	476,8	476,45
20/11/03	473,0	476,1	480,5	485,6	485,6	477,3	477,0

Tab. 5 - *Misure di portata del Torrente Lorda (sez. 1 e 2) e degli affluenti (sez. 3 e 4).*
- Discharge value of Torrente Lorda (gauge stations N. 1 and N. 2) and of its tributaries (gauge stations N. 3 and N. 4).

Data	Portata (m ³ /s)		
	Sez. 1	Sez. 2	Sez. 3+4
20/10/02	0,107	0,130	0,015
21/11/02	0,114	0,149	0,015
19/12/02	0,148	0,181	0,018
16/01/03	0,198	0,236	0,018
28/02/03	0,477	0,575	0,020
24/03/03	0,469	0,568	0,020
29/04/03	0,354	0,426	0,018
27/05/03	0,254	0,219	0,011
27/06/03	0,164	0,075	0,004
28/07/03	0,133	0,066	0,002
30/08/03	0,121	0,045	0,001
30/09/03	0,117	0,040	0,001
31/10/03	0,225	0,333	0,016
03/12/03	0,543	0,583	0,023

Le misure, a differenza di quanto accertato in relazione ai dati storici, evidenziano un incremento delle portate di poche decine di litri al secondo, configurando un'alimentazione della falda verso il fiume. Tale fenomeno si inverte, in modo netto, nel periodo di magra, durante il quale i dati mostrano un'alimentazione della falda ad opera delle acque del Torrente Lorda (fig. 4). Tale fenomeno, non rilevato dai dati storici, può essere interpretato come il risultato di un complesso rapporto di interazione tra la falda di base del massiccio carbonatico e le acque del Torrente Lorda, funzione di una significativa oscillazione del livello di falda al di sopra e al di sotto dell'alveo fluviale, nel corso di uno stesso anno idrologico.

5.2. - MONTE TOTILA E PIANA DEL FIUME SORDO

5.2.1. - Sorgenti dell'idrostruttura carbonatica di Monte Totila

Il monitoraggio delle portate delle sorgenti dell'idrostruttura carbonatica di Monte Totila è stato effettuato da ottobre 2002 a novembre 2003, con cadenza mensile.

Da una prima analisi dei dati (tab. 6), è possibile notare un progressivo incremento delle portate delle sorgenti, dal mese di ottobre 2002 al

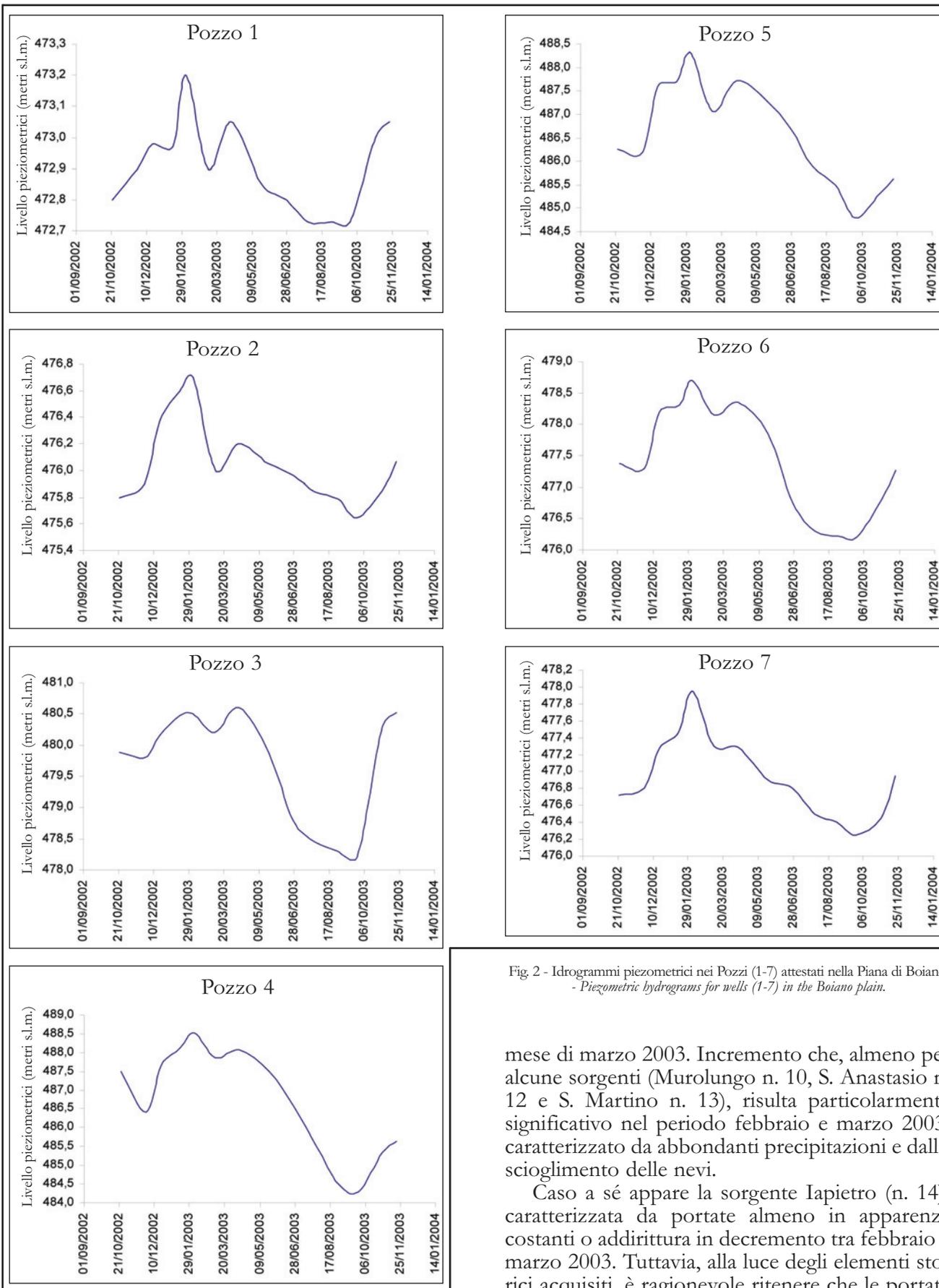


Fig. 2 - Idrogrammi piezometrici nei Pozzi (1-7) attestati nella Piana di Boiano.
 - Piezometric hydrograms for wells (1-7) in the Boiano plain.

mezzo di marzo 2003. Incremento che, almeno per alcune sorgenti (Murolungo n. 10, S. Anastasio n. 12 e S. Martino n. 13), risulta particolarmente significativo nel periodo febbraio e marzo 2003, caratterizzato da abbondanti precipitazioni e dallo scioglimento delle nevi.

Caso a sé appare la sorgente Iapietro (n. 14), caratterizzata da portate almeno in apparenza costanti o addirittura in decremento tra febbraio e marzo 2003. Tuttavia, alla luce degli elementi storici acquisiti, è ragionevole ritenere che le portate

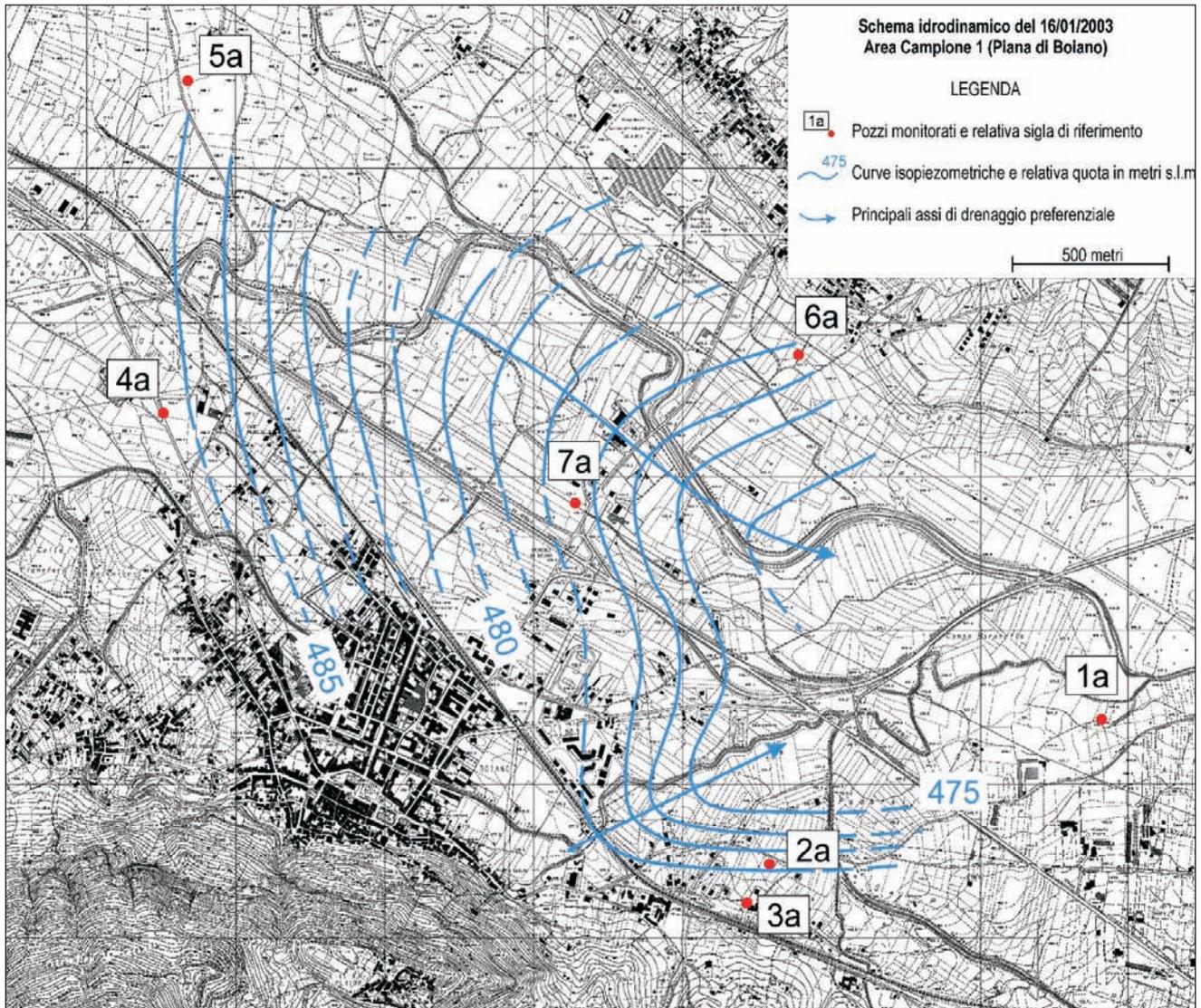


Fig. 3 - Morfologia piezometrica e assi di drenaggio sotterraneo (frecche blu) nella Piana di Boiano nel periodo di morbida (16/01/2003).
 - Water table and groundwater flow directions (blue lines with arrows) in the Boiano Plain during high-flow period (measured 16/01/2003).

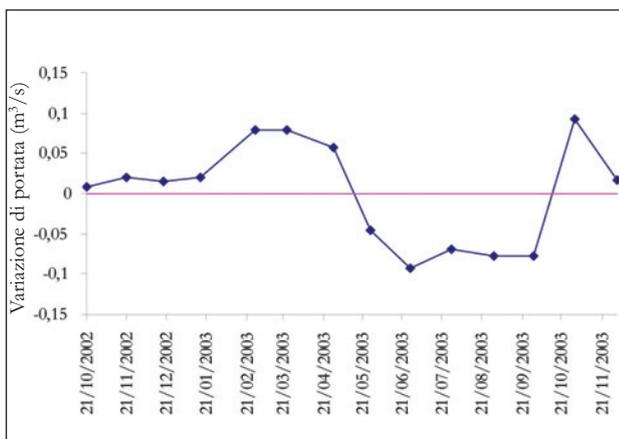


Fig. 4 - Variazioni di portata tra falda idrica e Torrente Lorda. La linea violetta indica la situazione di equilibrio tra falda e corso d'acqua.
 - Variation of discharge exchange between groundwater and Torrente Lorda. The violet line shows the balance situation between groundwater and the watercourse.

misurate in questa sede mostrino una configurazione dell'idrogramma di portata significativamente diversa da quella reale, verosimilmente caratterizzata da una elevata variabilità e da tempi di risposta estremamente brevi.

Per avere una visione completa degli andamenti di ricarica e di esaurimento delle sorgenti monitorate sono stati ricostruiti gli idrogrammi di portata di tutte le sorgenti (cfr. paragrafi successivi).

SORGENTE GRUPPO CASTALDE

Per quanto concerne il gruppo sorgivo Castalde è stato possibile monitorare le portate erogate al netto dei volumi captati ed immessi in acquedotto. Volumi di cui non sono stati forniti dati esaustivi dall'Ente gestore. Dal monitoraggio è emersa una portata media annua non captata

Tab. 6 - *Dati di portata delle sorgenti monitorate* - Discharge data of the monitored springs.

Data	Portata (m ³ /s)						
	8	9	10	11	12	13	14
15/10/2002	0,009	0,010	0,000	0,011	0,007	0,030	0,00200
17/11/2002	0,012	0,015	0,000	0,017	0,011	0,043	0,00300
17/12/2002	0,017	0,024	0,000	0,025	0,017	0,057	0,00300
14/01/2003	0,017	0,045	0,031	0,039	0,035	0,095	0,00450
21/02/2003	0,023	0,108	0,055	0,048	0,085	0,229	0,00450
20/03/2003	0,026	0,120	0,061	0,053	0,093	0,255	0,00125
15/04/2003	0,030	0,109	0,058	0,049	0,063	0,171	0,00250
22/05/2003	0,037	0,088	0,035	0,038	0,050	0,112	0,00150
27/06/2003	0,036	0,057	0,008	0,031	0,022	0,078	0,00045
22/07/2003	0,035	0,051	0,000	0,025	0,010	0,063	0,00020
26/08/2003	0,019	0,037	0,000	0,013	0,009	0,045	0,00040
25/09/2003	0,017	0,024	0,000	0,009	0,007	0,034	0,00043
24/10/2003	0,015	0,022	0,000	0,007	0,006	0,032	0,00088
27/11/2003	0,015	0,034	0,0002	0,008	0,016	0,067	0,00062

pari a 0,022 m³/s. Il regime (fig. 5) appare piuttosto modulato e non interessato da episodici picchi di portata. Non sembrano quindi sussistere collegamenti diretti tra le scaturigini e zone di assorbimento concentrato di acque superficiali. La fase di esaurimento è caratterizzata da un coefficiente relativamente basso ($4,78 \times 10^{-3} \text{ g}^{-1}$), ad ulteriore riprova di una non dominante influenza dei circuiti carsici sull'idrodinamica sotterranea.

SORGENTE MUROLUNGO

L'analisi dell'idrogramma di portata della sorgente Murolungo (fig. 6) ha evidenziato un regime piuttosto modulato, sia pure caratterizzato da notevoli escursioni di portata nel corso dell'anno idrologico. Escursioni che tendono a conferire alla sorgente un elevato Indice di Meinzer (227%). La fase di esaurimento risulta relativamente lenta e caratterizzata da un coefficiente pari a $7,78 \times 10^{-3} \text{ g}^{-1}$. Il confronto con i dati storici mostra una sostanziale invariabilità dei valori di portata erogati dalla sorgente, in accordo con l'assenza di importanti prelievi artificiali nell'intervallo di tempo analizzato.

SORGENTE FONTE CICCONE

La sorgente Fonte Ciccone ha mostrato caratteri di stagionalità, ma un regime piuttosto modulato nel corso della fase di erogazione (fig. 7). La rapida dinamica all'interno del bacino di alimentazione, verosimilmente legata soprattutto ad un rapido deflusso nella maglia di fratture intercomunicanti, è testimoniata da un Indice di Meinzer molto alto (334%) e da un altrettanto elevato coefficiente di esaurimento ($2,05 \times 10^{-2} \text{ g}^{-1}$).

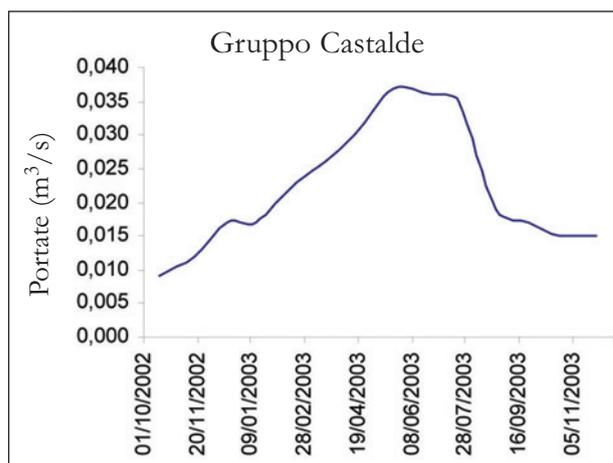


Fig. 5 - Idrogramma di portata del Gruppo sorgivo Castalde.
- Discharge hydrogram of Castalde spring group.

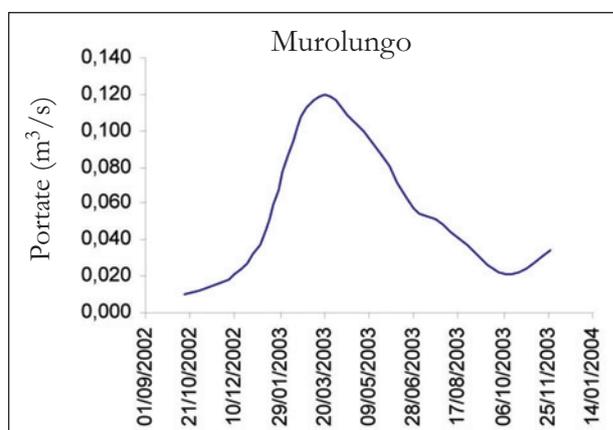


Fig. 6 - Idrogramma di portata della sorgente Murolungo.
- Discharge hydrogram of Murolungo spring.

GRUPPO SORGIVO CARPINONE

Il gruppo sorgivo Carpinone ha mostrato un regime sostanzialmente congruente con quelli delle sorgenti di cui ai precedenti paragrafi (fig. 8), testimoniato da un indice di Meinzer (169%) e da un coefficiente di esaurimento ($9,29 \times 10^{-3} g^{-1}$) piuttosto alti.

SORGENTE S. ANASTASIO

La sorgente S. Anastasio mostra notevoli escursioni di portata nel corso dell'anno idrologico, anche se nell'ambito di un regime complessivamente modulato (fig. 9). Tale configurazione dell'erogazione delle portate attribuisce alla sorgente stessa valori molto elevati dell'Indice di Meinzer (283%) e del coefficiente di esaurimento ($1,26 \times 10^{-2} g^{-1}$).

SORGENTE S. MARTINO

La sorgente S. Martino (fig. 10) mostra caratteri simili a quelli delle altre sorgenti dell'idrostruttura carbonatica di Monte Totila s.l., con elevati valori dell'Indice di Meinzer (240%) e del coefficiente di esaurimento ($9,52 \times 10^{-3} g^{-1}$). Il confronto con i dati storici pone in evidenza che alcuni fenomeni di ricarica relativamente rapidi, identificabili attraverso un monitoraggio settimanale, non sono distinguibili mediante un passo di misura mensile, quale quello adottato in questa sede.

SORGENTE IAPIETRO

La sorgente Iapietro mostra un idrogramma di portata significativamente diverso da quelli accertati per le sorgenti di cui si è discusso in precedenza (fig. 11). In particolare, nonostante il passo di monitoraggio mensile, è chiaramente visibile l'esistenza di più fasi di ricarica - esaurimento nell'ambito di uno stesso anno idrologico, in linea con quanto accertato dalla disamina dei dati storici disponibili. La dinamica estremamente rapida delle acque sotterranee all'interno di questo acquifero di piccole dimensioni

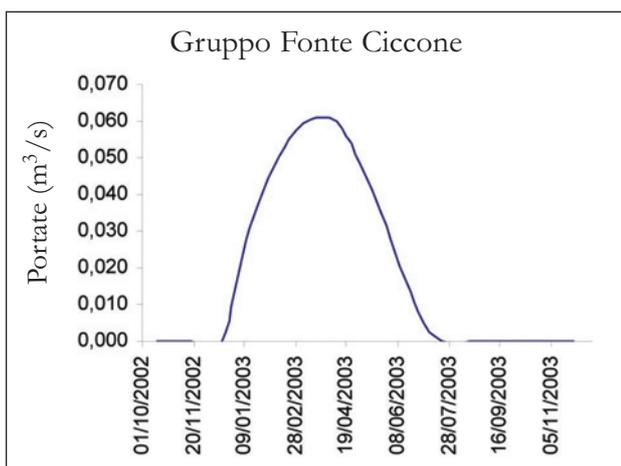


Fig. 7 - Idrogramma di portata della sorgente Fonte Ciccone.
- Discharge hydrogram of Fonte Ciccone spring.

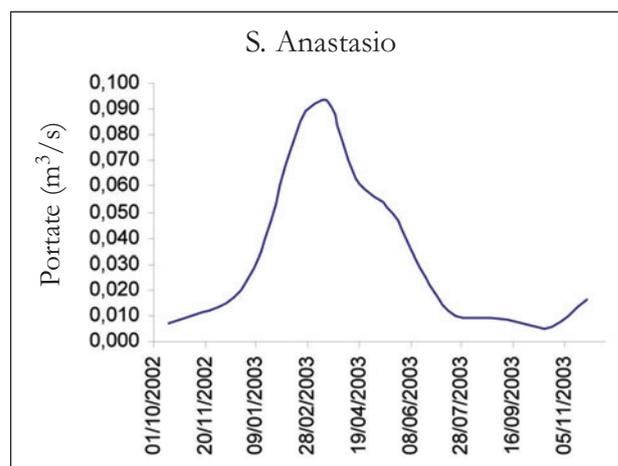


Fig. 9 - Idrogramma di portata della sorgente S. Anastasio.
- Discharge hydrogram of S. Anastasio spring.

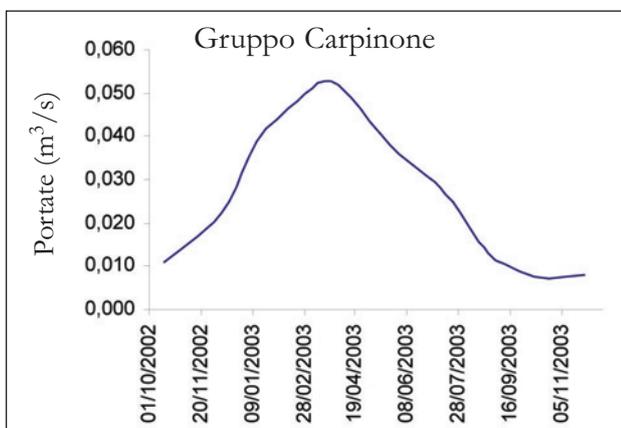


Fig. 8 - Idrogramma di portata del Gruppo sorgivo Carpinone.
- Discharge hydrogram of Carpinone spring group.

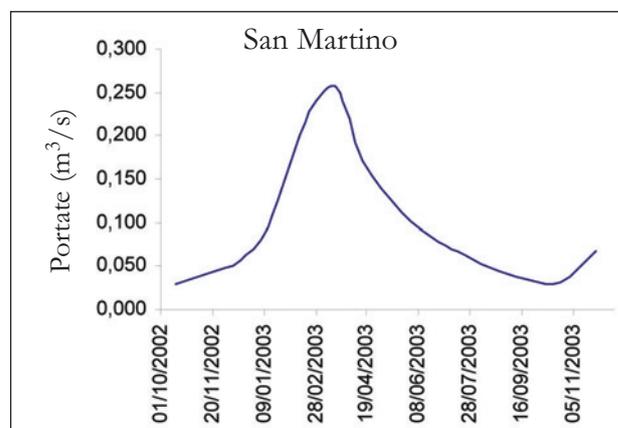


Fig. 10 - Idrogramma di portata della sorgente S. Martino.
- Discharge hydrogram of S. Martino spring.

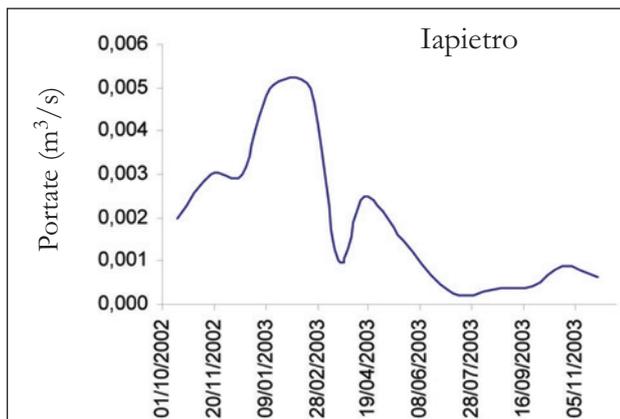


Fig. 11 - Idrogramma di portata della sorgente Iapietro.
- Discharge hydrogram of S. Iapietro spring.

è testimoniata anche dai coefficienti di esaurimento, pari a $1,97 \times 10^{-2}$ e $2,58 \times 10^{-2} \text{ g}^{-1}$, per le due fasi accertate (dal 14/01/03 al 20/03/2003 e dal 15/04/2003 al 22/07/2003).

Le portate di altre sorgenti significative ai fini della ricostruzione dello schema di circolazione idrica sotterranea non sono state ancora fornite dagli Enti gestori le opere di captazione.

5.2.2. - Piana del Fiume Sordo

I pozzi attestati nell'acquifero lacustre della Piana del Fiume Sordo sono stati oggetto di un monitoraggio dei livelli piezometrici, dal 05/01/1999 al 16/02/2000. In particolare sono stati monitorati 19 pozzi attestati nell'orizzonte limoso-argilloso affiorante ed un pozzo attestato nell'orizzonte sabbioso sottoposto. L'assetto litostratigrafico è caratterizzato, procedendo dall'alto verso il basso, da:

- un orizzonte costituito da argille e limi con lenti limoso-sabbiose, che ha uno spessore variabile da 1 a 18 metri, procedendo dai margini della piana verso la sua porzione centrale;

- un orizzonte prevalentemente sabbioso-ghiaioso con lenti limoso-argillose ed argilloso-limose, con spessore variabile da 1 a 15 metri, procedendo, sempre, dai margini della piana verso la sua porzione centrale;

- un orizzonte costituito prevalentemente da argille e limi; in questo caso i pochi dati acquisiti non consentono di definire lo sviluppo areale dell'orizzonte, né l'entità dello spessore.

Le caratteristiche litostratigrafiche e idrogeologiche dei depositi che costituiscono l'acquifero in esame determinano lo sviluppo, a scala di bacino, di un unico corpo idrico sotterraneo, caratterizzato, però, da carichi piezometrici diversificati, come testimonia il carattere di artesianesimo della falda all'interno dell'orizzonte sabbioso-ghiaioso.

I depositi prevalentemente argillosi sono caratterizzati da una conducibilità idraulica media pari a $2,8 \times 10^{-6} \text{ m/s}$, mentre i depositi prevalentemente sabbiosi sono caratterizzati da una conducibilità idraulica media pari a $1,72 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (CELICO & IANIRO, 2002). Questo scenario fa sì che l'orizzonte sabbioso sottoposto non possa ricevere alimentazione ad opera delle precipitazioni dirette, in quanto si hanno flussi di drenanza dal basso verso l'alto. L'alimentazione è quindi certamente legata a travasi idrici sotterranei dal limitrofo massiccio carbonatico.

Per quanto concerne l'idrodinamica sotterranea nella Piana del Fiume Sordo, l'analisi degli idrogrammi piezometrici mostra una sostanziale omogeneità di comportamento della falda nelle diverse porzioni di acquifero (tab. 7, fig. 13).

Tab. 7 - Quote della falda misurate nei pozzi (ubicati in figure 13 e 14) della Piana del Fiume Sordo.

- Water table elevations (m a.s.l.) measured in wells (locations in figures 13 and 14) of Fiume Sordo Plain.

Data	Quote della falda (m s.l.m.)												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
16/10/2002	473,20	467,87	464,66	463,90	460,16	461,28	460,45	465,75	465,24	460,77	462,11	459,28	457,51
18/11/2002	473,37	468,42	464,82	463,97	460,25	461,37	460,62	465,92	465,31	460,90	462,21	459,43	457,62
18/12/2002	473,58	468,59	464,90	464,03	460,29	461,50	460,90	466,26	465,49	461,15	462,27	459,55	457,77
16/01/2003	473,67	468,97	464,75	464,08	460,25	461,70	460,94	466,48	465,50	461,40	462,45	459,64	458,38
18/02/2003	473,70	468,81	464,60	464,92	460,70	461,80	461,00	466,32	465,59	461,54	462,34	459,62	457,90
18/03/2003	473,46	468,70	464,18	465,00	460,95	461,83	461,00	466,47	465,60	461,59	461,48	459,84	457,70
17/04/2003	473,45	468,71	464,00	464,78	460,80	461,73	460,88	466,15	465,53	461,50	461,10	459,50	457,42
24/05/2003	473,08	468,36	463,45	464,02	460,60	461,59	460,64	465,78	464,99	460,72	460,57	458,90	457,03
26/06/2003	472,45	468,45	463,20	463,68	460,43	461,53	460,50	465,75	464,40	460,60	460,31	458,75	456,90
23/07/2003	472,22	468,40	463,00	463,43	460,25	461,30	460,43	465,67	464,40	460,10	460,24	458,20	456,85
27/08/2003	470,90	468,10	463,00	462,95	460,05	461,07	460,38	465,27	464,83	459,50	460,54	458,32	456,67
24/09/2003	470,30	467,94	463,00	462,78	460,00	461,12	460,39	465,08	464,72	459,50	460,45	458,47	456,65
25/10/2003	470,84	468,30	463,00	463,50	460,10	461,63	460,55	465,75	465,39	461,47	460,86	459,00	457,15
28/11/2003	473,75	468,75	463,07	464,76	460,12	461,70	460,62	466,30	465,58	461,53	462,06	459,71	458,50

Fanno eccezione alcune lievi differenze prevalentemente legate alla diversificata influenza che i travasi dal limitrofo massiccio carbonatico hanno sui diversi orizzonti costituenti l'acquifero.

La sostanziale omogeneità è confermata dai coefficienti di esaurimento, estremamente simili per tutti i punti di monitoraggio (tab. 8).

Riguardo allo schema di circolazione idrica sotterranea, non si riscontrano significative modificazioni nel tempo, come si evince dal confronto tra la situazione di piena e quella di magra (figg. 13, 14). Da tale morfologia piezometrica si individua un deflusso orientato complessivamente da NE verso SW, nella posizione prossima al Fiume Sordo, e da NW verso SE, in quella prossima al Fiume Rava. Inoltre, si evidenziano due assi di drenaggio preferenziale: uno coincidente con il

Fiume Sordo ed un altro che si sviluppa parallelamente al Fiume Rava.

Le misure di portata del Fiume Sordo sono state effettuate in due sezioni (sez. 5 e sez. 6, in tav. III f.t. allegata in tasca di copertina). Da queste misure (tab. 9) si può notare una sostanziale invariabilità delle portate, se si tiene conto dell'errore di misura insito nell'uso del mulinello idraulico. Ciò a testimonianza del fatto che il corso d'acqua, benché sia alimentato dalla falda (come desunto dallo schema idrodinamico), riceve volumi poco significativi, compatibilmente con la bassa potenzialità idrica sotterranea dell'orizzonte limoso-argilloso interagente.

Tab. 8 - *Coefficienti di esaurimento relativi ai pozzi della piana del Fiume Sordo.*
- Water table depletion coefficient in the monitored wells of the Fiume Sordo Plain.

COEFFICIENTI DI ESAURIMENTO	
Pozzo	α (g^{-1})
8	$3,30 \times 10^{-5}$
9	$1,02 \times 10^{-5}$
10	$1,89 \times 10^{-5}$
11	$2,52 \times 10^{-5}$
12	$1,09 \times 10^{-5}$
13	$1,02 \times 10^{-5}$
14	$7,08 \times 10^{-6}$
15	$1,57 \times 10^{-5}$
16	$2,03 \times 10^{-5}$
17	$2,39 \times 10^{-5}$
18	$2,12 \times 10^{-5}$
19	$2,81 \times 10^{-5}$
20	$1,25 \times 10^{-5}$

Tab. 9 - *Dati di portata del Fiume Sordo.*
- Discharge data of the Fiume Sordo.

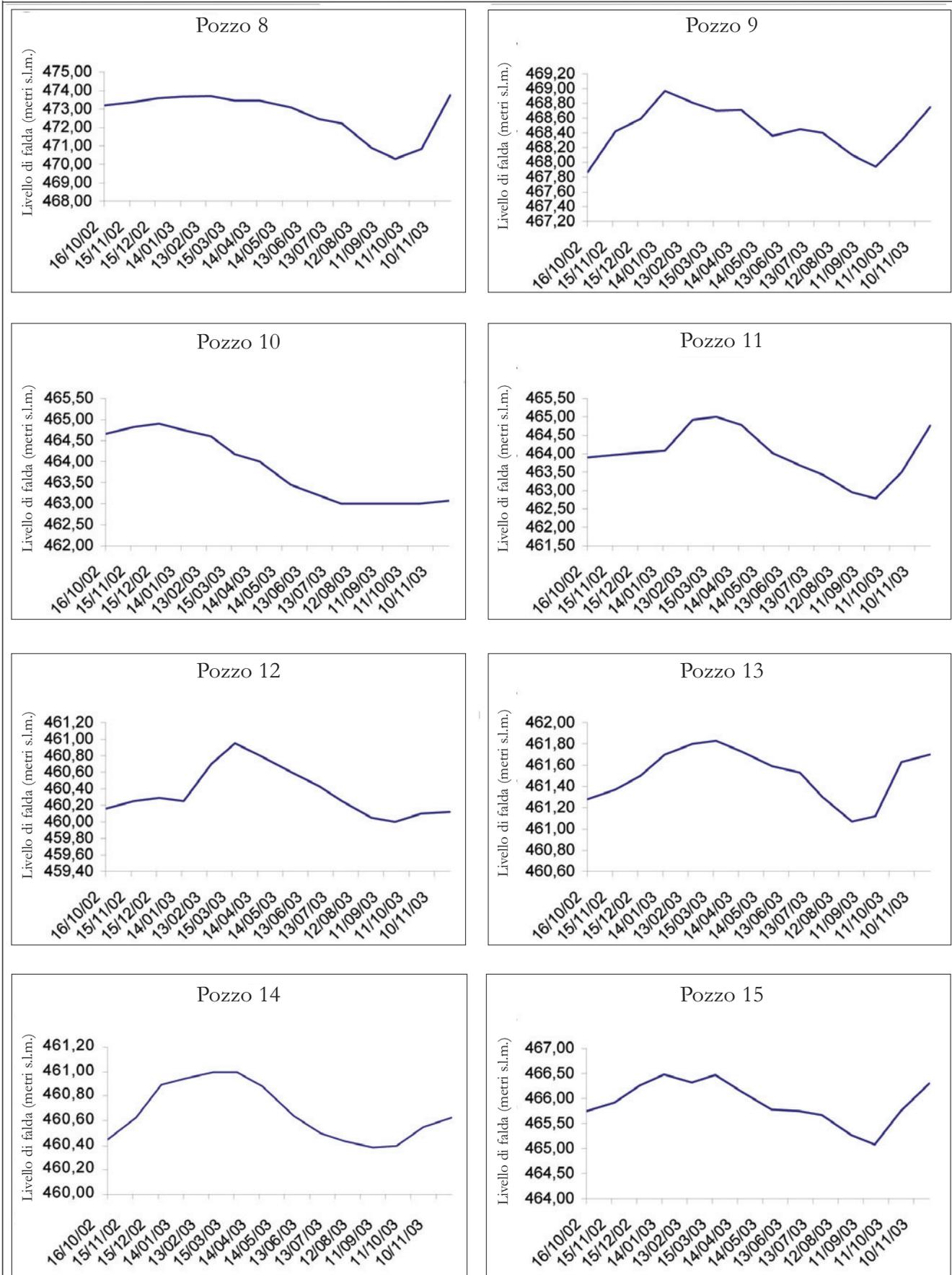
Data	Portata (m^3/s)	
	Sez. 5	Sez. 6
15/10/2002	0,030	0,034
17/11/2002	0,043	0,046
17/12/2002	0,057	0,061
14/01/2003	0,095	0,098
21/02/2003	0,229	0,220
20/03/2003	0,255	0,259
15/04/2003	0,171	0,165
22/05/2003	0,112	0,106
27/06/2003	0,078	0,080
22/07/2003	0,063	0,062
26/08/2003	0,045	0,039
25/09/2003	0,034	0,039
24/10/2003	0,032	0,037
27/11/2003	0,067	0,061

6. - CONSIDERAZIONI DI SINTESI

In estrema sintesi, gli elementi acquisiti consentono di effettuare le seguenti riflessioni principali:

1. l'esistenza di un complesso assetto geologico-strutturale e la coesistenza di litotipi a permeabilità relativa significativamente diversa, rende estremamente articolata la circolazione idrica sotterranea all'interno dell'idrostruttura carbonatica di Monte Totila;

2. tale articolazione si manifesta, innanzitutto, attraverso la presenza di numerose emergenze sorgive di notevole entità, collocate a quote anche sensibilmente diverse; emergenze caratterizzate, in parte,



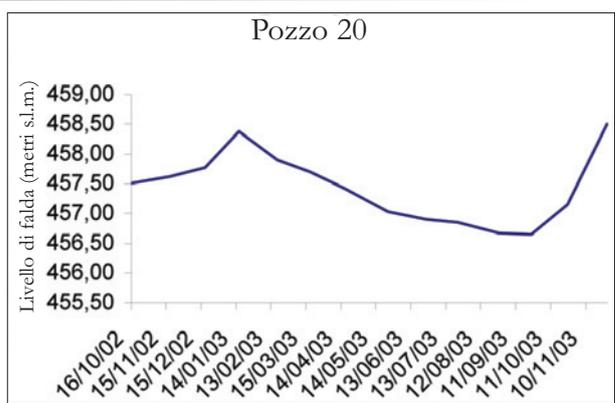
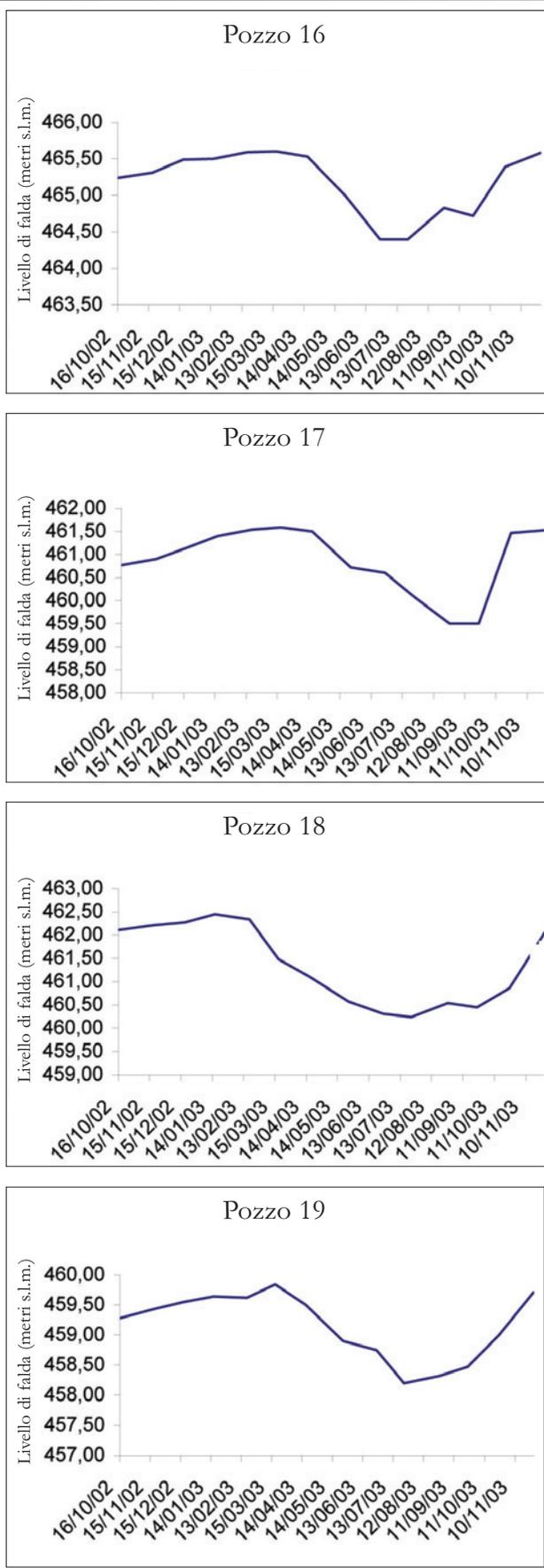


Fig. 12 - Idrogrammi piezometrici nei pozzi della Piana del Fiume Sordo (8-20, ubicati nelle figure 13, 14).
 - Piezometric hydrograms of the monitored wells in the Fiume Sordo Plain (8-20, locations in figures 13, 14).

da regimi variabili ed, in parte, da regimi modulati;
 3. per alcune di queste sorgenti si è proceduto ad una ricostruzione preliminare dei limiti dei sotto-bacini di alimentazione, attraverso l'analisi degli elementi geologico-strutturali disponibili in letteratura scientifica;

4. gli schemi idrodinamici così ricostruiti sono stati successivamente sottoposti a verifica mediante il confronto tra le portate erogate dalle sorgenti monitorate e la potenzialità idrica sotterranea stimata per i singoli acquiferi alimentatori;

5. la stima della potenzialità idrica sotterranea è stata determinata attraverso l'utilizzo dei dati di produttività media a chilometro quadro calcolata da CELICO (1983a) per l'idrostruttura in esame;

6. il confronto tra entrate stimate ed uscite misurate ha anche consentito di determinare la natura dei rapporti di interazione tra sottobacini limitrofi; nei casi in cui è stata accertata l'esistenza di un travaso idrico sotterraneo significativo tra sottobacini adiacenti è stata fornita indicazione della presenza di uno spartiacque sotterraneo "aperto"; di contro, nei casi in cui non è emerso un intercambio significativo è stata fornita indicazione della presenza di uno spartiacque sotterraneo "chiuso";

7. la medesima articolazione è, inoltre, responsabile della formazione di corpi idrici sotterranei sovrapposti, con la creazione di diverse falde d'alta quota; falde la cui potenzialità è comunque piuttosto modesta, in rapporto a quella delle falde basali;

8. riguardo alla Piana del Fiume Sordo, di particolare interesse è l'esistenza di rapporti di travaso idrico sotterraneo dal limitrofo massiccio carbonatico; travaso che risulta diversificato, a scala di dettaglio, a seconda degli orizzonti litologici presi in esame;

9. l'idrostruttura carbonatica dei Monti del Matese mostra anch'essa la coesistenza di nume-

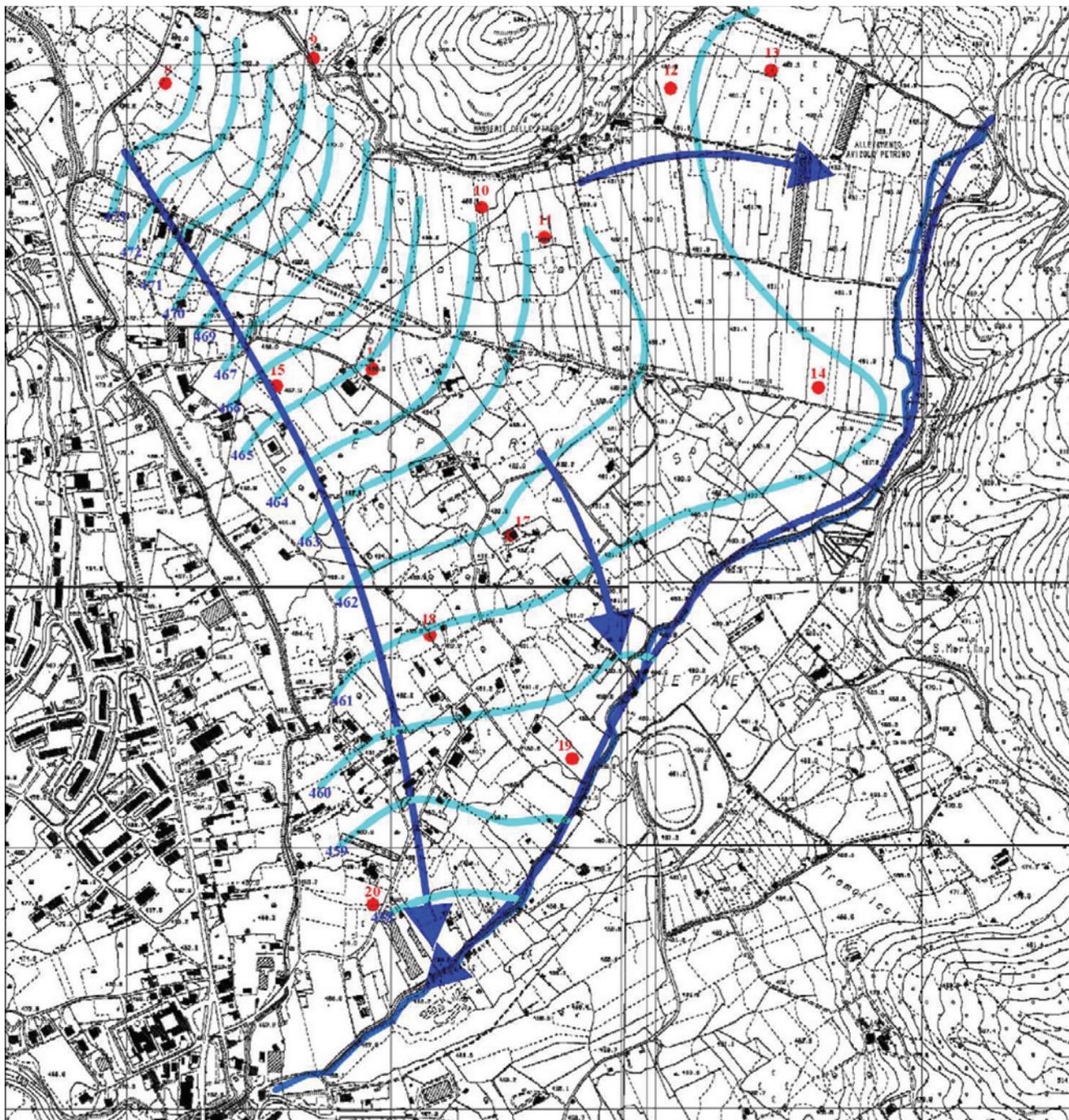


Fig. 13 - Morfologia piezometrica e assi di drenaggio sotterraneo (freccie blu) nella Piana del Fiume Sordo nel periodo di magra (24/09/2003). La maglia del reticolato di riferimento è di 1 km.

- Water table and groundwater flow directions (blue lines with arrows) in the Fiume Sordo Plain during low-flow period (measured 24/09/2003). The topographic grid is 1x1 km.

rose scaturigini (ad esempio, sorgenti del Lago Matese), tra le quali quelle alimentate da falde d'alta quota mostrano una notevole potenzialità (tab. 1), a differenza di quanto constatato nell'area campione di Monte Totila;

10. inoltre, la loro distribuzione spaziale, vista alla luce dell'assetto geologico-strutturale, consentirebbe, allo stato attuale, di ipotizzare l'esistenza, in alcuni casi, di ampi corpi idrici sotterra-

nei d'alta quota, caratterizzati da una configurazione a "serbatoi in serie".

7. - SUGGERIMENTI E PROPOSTE PER LA CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA

La simbologia usata nella redazione della Carta Idrogeologica alla scala 1:50.000 è stata studiata

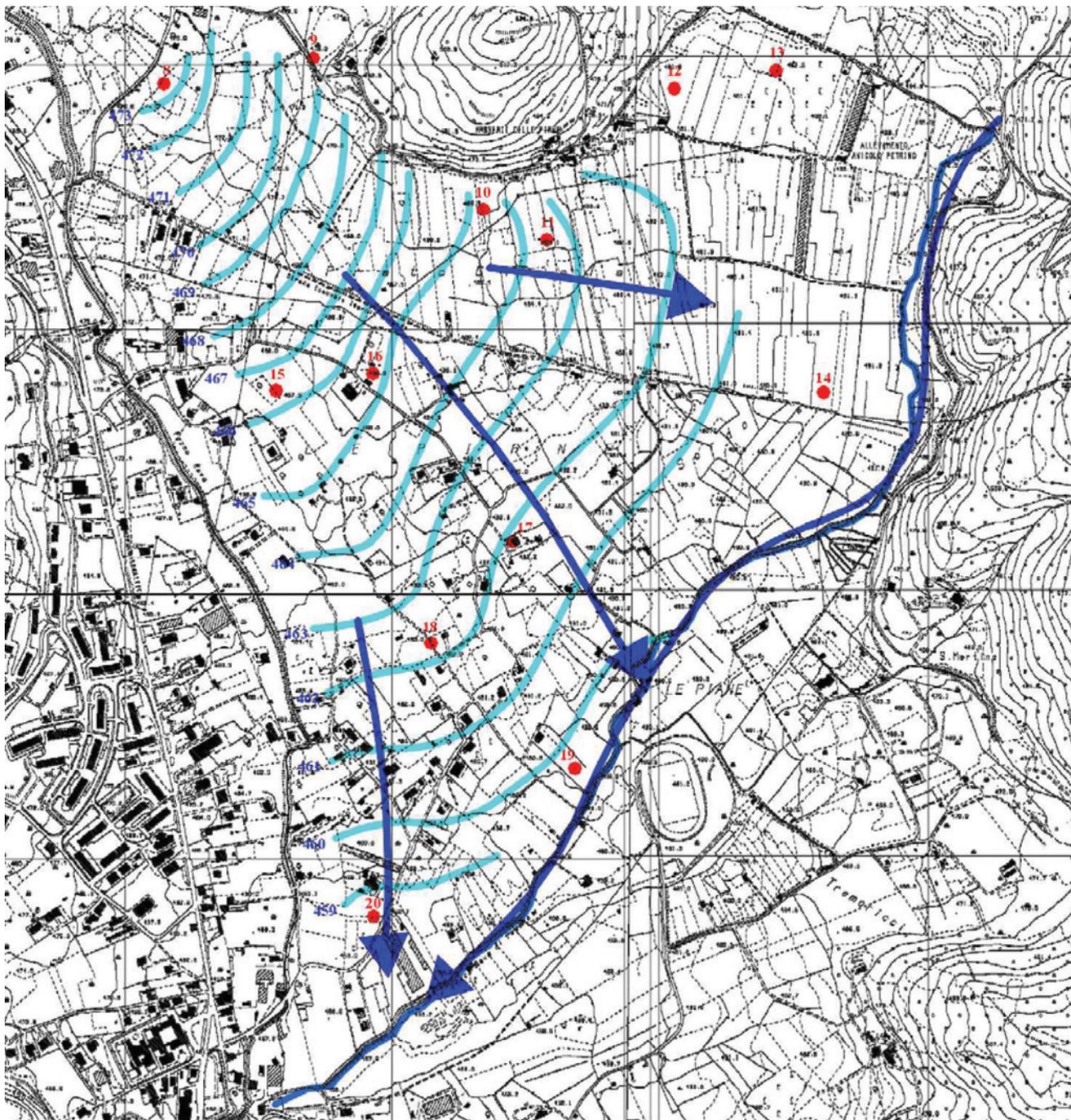


Fig. 14 - Morfologia piezometrica e assi di drenaggio sotterraneo (freccie blu) nella Piana del Fiume Sordo nel periodo di morbida (16/01/2003). La maglia del reticolato di riferimento è di 1 km.

- Water table and groundwater flow directions (blue lines with arrows) in the Fiume Sordo Plain during high-flow period (measured 16/01/2003). The topographic grid is 1x1 km.

prendendo come riferimento iniziale la legenda predisposta dal Servizio Geologico Nazionale (Quaderni SGN, serie III volume 5). Nel corso del progetto è emersa una scarsa compatibilità tra la simbologia esistente e le caratteristiche del programma usato per la digitalizzazione e per l'elaborazione cartografica, nonché la necessità di introdurre alcuni simboli specifici, miranti ad evidenziare alcune fenomenologie e/o alcuni carat-

teri idrogeologici peculiari delle realtà idrogeologiche oggetto di studio. Sono stati quindi introdotti simboli specifici per:

- Limite del bacino di alimentazione di falde "sospese" in acquiferi.
- Spartiacque sotterranei "aperti" (interscambi idrici sotterranei significativi tra sottobacini limitrofi; le frecce indicano il verso di travaso).
- Spartiacque sotterranei "chiusi" (interscambi

idrici sotterranei trascurabili o nulli tra sottobacini limitrofi).

- Limite di travaso idrico sotterraneo tra bacini idrogeologici adiacenti.

- Tratto di corso d'acqua in cui si alternano fasi drenanti e disperdenti nell'ambito dello stesso anno idrologico.

I simboli utilizzati per indicare i limiti dei bacini di alimentazione di falde "sospese" in acquiferi carbonatici ed il loro verso di deflusso idrico sotterraneo sono stati introdotti alla luce della constatazione che, nell'Appennino carbonatico centro-meridionale, le risorse idriche sotterranee d'alta quota potrebbero non avere un carattere marginale. Anzi, esse costituiscono molto spesso delle fonti di approvvigionamento idrico, non solo di importanza strategica (vista la loro ubicazione ad alta quota), ma anche di significativa rilevanza quantitativa. Di conseguenza, con questo studio si è voluto dare impulso alla ricerca di una simbologia *ad hoc* che consenta di affinare e dettagliare le indicazioni cartografiche inerenti alle falde basali ed a quelle d'alta quota, al fine di ottimizzare la gestione e la salvaguardia di entrambe. Il caso prescelto per questa prima rappresentazione è stato identificato nelle falde che alimentano il gruppo sorgivo del Lago Matese. I limiti sono stati definiti sulla base dell'interpretazione in chiave idrogeologica degli elementi geologico-strutturali riportati in letteratura. Allo stato attuale si ritiene che tali falde si mantengano in quota al di sopra di lembi di faglie inverse e/o sovrascorrimenti, talvolta affioranti, e smembrati dalla tettonica distensiva ad alto angolo. Una revisione del locale assetto geologico-strutturale porterebbe, in futuro, ad una revisione di quello che in questa sede viene riportato come modello idrogeologico compatibile. Come nel caso della delimitazione dei sottobacini che alimentano sorgenti basali, anche in questo caso le discontinuità tettoniche che fungono da probabile limite idrogeologico sono state identificate tenendo pure conto del confronto tra entrate stimate ed uscite misurate, alla luce della produttività media a chilometro quadro stimata per l'idrostruttura del Matese (CELICO, 1983a,b).

Per quanto concerne l'introduzione dei simboli che indicano l'esistenza di spartiacque sotterranei "aperti" e "chiusi", è stata avvertita l'esigenza di porre in evidenza, non solo la coesistenza di diversi sottobacini nell'ambito di una stessa idrostruttura carbonatica, ma anche la natura dei rapporti di interazione tra sottobacini adiacenti. Come detto in precedenza, l'esistenza o meno di travasi idrici sotterranei significativi ed il verso di travaso vengono desunti dal confronto tra la potenzialità idrica sotterranea dei singoli sottobacini e le uscite calcolate attraverso il monitoraggio delle emergen-

ze sorgive. In ogni caso, a scala di dettaglio tali configurazioni sono state sperimentalmente documentate da CELICO *et alii*, (2006).

Leggermente diverso è il simbolo che è stato invece introdotto per evidenziare l'esistenza di travasi idrici sotterranei significativi tra bacini idrogeologici distinti ed adiacenti. È il caso, ad esempio, dei travasi idrici sotterranei che avvengono dai massicci carbonatici verso gli acquiferi fluvio-lacustri di bordo, sia nella Piana del Fiume Sordo, sia nella Piana di Boiano.

Per quanto concerne i rapporti di interazione tra corsi d'acqua e corpi idrici sotterranei è stato necessario introdurre un nuovo simbolo rispetto a quelli contemplati nella legenda SGN al fine di evidenziare in cartografia l'esistenza di rapporti variabili nel corso del tempo, a parità di asta fluviale analizzata. Più in dettaglio, così come osservato nel caso del Torrente Lorda, le misure di portata in alveo mostrano che, nel corso di uno stesso anno idrologico, il corso d'acqua risulta drenante in alcune fasi e disperdente in altre. In tali casi, non è quindi possibile adottare il simbolo riferito a tratti d'alveo a regime misto (già esistente nella legenda SGN), in quanto l'indicazione di tale tipo di regime si riferisce alla coesistenza, nell'unità di tempo, di rapporti misti di interazione lungo il tratto d'alveo monitorato. Simbolo che, per lo più, tende ad essere utilizzato in carte a denominatore di scala medio-alto, in cui risultano difficilmente discriminabili e distinguibili i singoli tratti di corsi d'acqua caratterizzati da differenti rapporti di interazione con la falda.

Nel corso della fase di definizione tecnica della simbologia si è tenuto anche conto dei seguenti parametri principali:

- la compatibilità dei simboli con stampe a colori ed in bianco e nero;

- laddove consentito, la maggiore similarità possibile con quelli proposti dalla guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia - 1:50.000;

- la leggibilità, anche da parte di utenti meno esperti.

Nel corso della redazione della Carta Idrogeologica è emersa, inoltre, la difficoltà di rappresentazione di alcuni simboli in scala 1:50.000. In termini più generali, tale difficoltà ha evidenziato che sussiste la necessità di pensare alla legenda idrogeologica come ad un'entità versatile, che deve essere in grado di adattarsi alle diverse scale di rappresentazione e, quindi, alla natura delle fenomenologie idrogeologiche più o meno esaustivamente evidenziabili.

Lo studio condotto ha inoltre evidenziato la necessità di articolare i complessi idrogeologici in base ad un maggior numero di classi di permeabilità, nonché di modificare in parte la termi-

nologia. In dettaglio:

- si ritiene importante introdurre le classi di permeabilità “medio-bassa” e “medio-alta”, in modo da consentire una migliore distinzione di complessi idrogeologici che, per quanto non siano caratterizzati da bassi o alti valori di conducibilità idraulica, mostrano significative differenze di comportamento idrogeologico, non evidenziabili mediante l'uso della sola classe di permeabilità “media”;

- per motivi simili, si ritiene opportuno introdurre la classe di permeabilità “molto alta”, particolarmente utile nei casi in cui l'idrodinamica sotterranea è caratterizzata anche da acquiferi molto carsificati o costituiti prevalentemente da depositi ghiaiosi;

- per mere questioni di omogeneità, si ritiene opportuno definire “a bassa permeabilità” la classe attualmente definita “scarsamente permeabile”;

- si ritiene opportuno parlare di complessi a permeabilità “molto bassa”, anziché “impermeabili”, data l'effettiva possibilità di rinvenire falde di modesta entità anche in complessi prevalentemente argillosi;

- si ritiene superfluo l'uso delle frecce al margine dei complessi e se ne suggerisce la soppressione.

Tali considerazioni, unite all'esistenza di fenomeni non riscontrati nei casi di studio, ma osservati in altre realtà idrogeologiche, portano a ritenere importante una seconda fase di sviluppo della ricerca appena conclusa, che sia finalizzata ad un ulteriore affinamento della legenda idrogeologica. Affinamento che deve portare alla definizione di una simbologia:

- che sia in grado di mostrare, ove ritenuto necessario, la coesistenza di differenti formazioni geologiche nell'ambito di un medesimo complesso idrogeologico, senza dover necessariamente fare ricorso all'interrogazione dei data base associati all'immagine;

- che contempli tutti i principali fenomeni e caratteri idrogeologici riscontrabili sul territorio nazionale;

- che sia perciò in grado di rappresentare anche peculiarità di acquiferi finora trascurati, come quelli a permeabilità medio-bassa, ma che, in prospettiva, tendono a risultare strategicamente importanti, quanto meno per la soluzione di problemi di approvvigionamento di piccole comunità sociali e produttive;

- che sia adattabile e compatibile con la variazioni di scala adottate nella cartografia idrogeologica;

- che sia adattata alla necessità di rappresentare la variazione nel tempo di alcuni caratteri idrogeologici, con particolare riferimento a quelle fenomenologie che rivestono un ruolo importante in termini di gestione e tutela delle risorse idriche sotterranee.

BIBLIOGRAFIA

- CASALE M. & CELICO F. (1995) - *About the Matese mountain hydrogeology (southern Italy)*. Atti 2nd International Meeting for Young Researchers in Applied Geology, 11-13 Ottobre, Peveragno (CN), 272-277.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1959) - *Relazione conclusiva della commissione di consulenza per lo studio della galleria di attraversamento del massiccio del Matese dell'Acquedotto Campano*. Pappagallo (Ed.), Roma.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1962) - *Dodici anni, 1950 - 1962. Acquedotto del Molise*. Laterza (Ed.), 3, 1.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1974) - *Modello idrologico delle risorse idriche del sistema Liri - Garigliano - Volturno*. Servizio piani e programmi. C. Lotti e Ass., (Studio inedito) Roma.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1976a) - *Prospezioni geoelettriche sulle sorgenti Capodacqua, S. Nazario, Dei Natali, Monticelli e San Bartolomeo nei pressi di Isernia e Cassino*. Uff. Acq. Campania e Molise, (Studio inedito) Napoli.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1976b) - *Utilizzazione degli schemi idrici intersettoriali del Lazio meridionale, Tronto, Abruzzo, Molise e Campania*. Progetto Speciale n° 29, Catalogo, Bari.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1978) - *Indagini preliminari conoscitive delle risorse idriche dell'area di intervento del P.S. 29 (censimento dati idrogeologici)*. P.S. 29 - C.M.P., (Studio inedito) Roma.
- CELICO F. & IANIRO A. (2002) - *La variazione del “Coefficiente di infiltrazione efficace Diretta” in funzione delle precipitazioni giornaliere: risultati sperimentali nella Piana di Isernia (Molise)*. Quaderni di Geologia Applicata, **1**: 49-58.
- CELICO F., MUSILLI I. & NACLERIO G. (2004) - *The impact of pasture and manure spreading on microbial groundwater quality in carbonate aquifers*. Environmental Geology, **46**: 233-236.
- CELICO F., VARCAMONTI M., GUIDA M. & NACLERIO G. (2004) - *Influence of precipitation and soil on transport of fecal enterococci in limestone aquifers*. Applied and Environmental Microbiology, **70**: 2843-2847.
- CELICO F. & MUSILLI I. (2005) - *Note illustrative alla Carta Idrogeologica del Molise (scala 1:250.000), in A.A.VV.: Note illustrative alla Carta Idrogeologica dell'Italia meridionale (scala 1:250.000), con 3 carte allegate f.t., I.P.Z.S., Roma*.
- CELICO F. & NACLERIO G. (2005) - *Verification of a DRASTIC-based method for limestone aquifers*. Water International, **30**: 530-537.
- CELICO F., PETRELLA E. & CELICO P. (2006) - *Hydrogeological behaviour of some fault zones in a carbonate aquifer of Southern Italy: an experimentally based model*. Terra Nova, **18**: 308-313.
- CELICO F., PETRELLA E. & NACLERIO G. (2007a) - *Updating of a DRASTIC-based method for vulnerability assessment in carbonate aquifers*. Water International, **32**: 475-482.
- CELICO F., PETRELLA E. & NACLERIO G. (2007b) - *DAC: a vulnerability assessing methodology for carbonate aquifers, validated by field and laboratory experiments*. In: WITKOWSKI A.J., KOWALCZYK A., VRBA J. (Eds.): Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping, Taylor & Francis, London, UK, 177-190.
- CELICO F., PETRELLA E., MARZULLO G. & NACLERIO G. (2008) - *Integrative measures for protection of carbonate aquifers against microbial pollution in Central-Southern Italy*. Water International, **33**: 116-126.
- CELICO P. (1978) - *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro - meridionale*. Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata, **14**: 3-97.
- CELICO P. (1983a) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, **4**(2): 225 pp.
- CELICO P. (1983b) - *Carta Idrogeologica dell'Italia centro-meri-*

- dionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania) alla scala 1:400.000. Cassa per il Mezzogiorno, Grafiche Magliana, Roma.
- CHIOCCHINI U. (1972) - *Studio idrogeologico di alcune sorgenti tra Letino ed il Lago del Matese (Appennino meridionale)*. Bollettino del Servizio Geologico d'Italia, **93**.
- CIVITA M. (1969) - *Valutazione analitica delle riserve in acque sotterranee alimentanti alcune tra le principali sorgenti del massiccio del Matese (Italia meridionale)*. Memorie della Società dei Naturalisti in Napoli, **78**: 133-163.
- CIVITA M. (1973) - *L'infiltrazione potenziale media annua nel massiccio carbonatico del Matese (Italia meridionale)*. Atti 2° Convegno Internazionale sulle Acque Sotterranee, Palermo.
- CLERMONTÉ J. (1982) - *Evolution paléogéographique et structurale de l'Italie centro-méridionale durant l'Alpin*. Notion de promontorioire apulien. Sciences de la Terre, **25**, 39-64.
- COCCO E. (1971) - *Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, Foglio 161, Isernia*, 38 pp.
- CORNIELLO A., DUCCI D. & IACCARINO G. (1988) - *Idrogeologia del settore N-W del Matese*. Memorie della Società Geologica Italiana, **41**: 1039-1051.
- DE CORSO S., SCROCCA D. & TOZZI M. (1998) - *Geologia dell'anticlinale del Matese e implicazioni per la tettonica dell'Appennino Molisano*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **117**: 419-441.
- IETTO A. (1971) - *Assetto strutturale e ricostruzione paleogeografica del Matese Occidentale (Appennino Meridionale)*. Memorie della Soc. Natur in Napoli, **74**: 65-85.
- NACLERIO G., PETRELLA E., NERONE V., ALLOCCA V., DE VITA P. & CELICO, F. (2008) - *Influence of topsoil of pyroclastic origin on microbial contamination of groundwater in fractured carbonate aquifers*. Hydrogeology Journal, **16**, 1057-1064.
- NACLERIO G. & CELICO F. (2009) - *Spring protection against microbial contamination in compartmentalized carbonate aquifers, central-southern Italy*. In: Columbus F. (Ed.) *Environmental Regulation: Evaluating, Compliance and Economic Impact*, Nova Science Publisher Inc., Hauppauge, NY, USA, in corso di stampa.
- NACLERIO G., FARDELLA G., MARZULLO G. & CELICO F. (2009a) - *Filtration of Bacillus subtilis and Bacillus cereus spores in a pyroclastic topsoil, carbonate Apennines, southern Italy*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, **70**: 25-28.
- NACLERIO G., NERONE V., BUCCI A., ALLOCCA V. & CELICO F. (2009b) - *Role of organic matter and clay fraction on migration of Escherichia coli cells through pyroclastic soils, southern Italy*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, DOI 10.1016/j.colsurfb.2009.03.009.
- NASO G., CORRADO S., DI BUCCI D. & VILLA I.M. (2000) - *La tettonica estensionale nell'area dei monti del Matese*. Il Quaternario, **13**.
- PATACCA E., SCANDONE P., BELLATALLA M., PERILLI N. & SANTINI U. (1992) - *La zona di giunzione tra l'arco appenninico settentrionale e l'arco appenninico meridionale nell'Abruzzo e nel Molise*. Studi di Geologia Camerti, vol. spec. 417-441.
- PESCATORE T. (1965) - *Ricerche sulla depressione molisano-sannitica*. Atti dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche, **5**: 101-145.
- PETRELLA E., CAPUANO P. & CELICO F. (2007) - *Unusual behaviour of epikarst in the Acqua dei Faggi carbonate aquifer (Southern Italy)*. Terra Nova, **19**: 82-88.
- PETRELLA E., FALASCA A. & CELICO F. (2008) - *Natural-gradient tracer experiments in epikarst: a test study in the Acqua dei Faggi experimental site, southern Italy*. Geofluids, **8**: 159-166.
- PETRELLA E., NACLERIO G., FALASCA A., BUCCI A., CAPUANO P., DE FELICE V. & CELICO F. (2009) - *Non-permanent shallow halocline in a fractured carbonate aquifer, southern Italy*. Journal of Hydrology, in corso di stampa.
- PETRELLA E. & CELICO F. (2009) - *Hydrogeological behaviour of faulted, non-karstic carbonate aquifers in southern Italy*. In: Columbus F. (Ed.) *Hydrogeology: Principles, Trends and Energy Resource Recovery*, Nova Science Publisher Inc., Hauppauge, NY, USA, in corso di stampa.
- PIRONON B. (1980) - *La notion de zone de transition en bordure orientale de la plate-forme campano-abbuzzaise de la Meta au Matese (Italie centro-meridionale)*. Thèse 3ème cycle, Nancy I, 175 pp.
- RENEAUD P., BILLAUD Y., CLERMONTÉ J., LORENZ C. & PIRONON B. (1990) - *Evolution paléogéographique de la cor-dure sud-orientale de la plate-forme-campano-abruzzaise (Italie) du Crétacé au Néogène*. Bollettino della Società Geologica Francese, **6**, 737-743.
- SCROCCA D., TOZZI M. & PAROTTO M. (1995) - *Assetto strutturale del settore compreso tra il Matese, le Mainarde e l'Unità di Frosolone. Implicazioni per l'evoluzione neogenica del sistema di sovrascorimenti nell'Appennino centro-meridionale*. Studi Geologici Camerti, vol. spec., 407-418.
- SCROCCA D. & TOZZI M. (1999) - *Tetogenesi mio-pliocenica dell'Appennino molisano*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **118**: 255-286.
- SELLI R. (1957) - *Sulla trasgressione del Miocene in Italia meridionale*. Giornale di Geologia, **4**: 1-54.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio 162 Campobasso (1970)*, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio 153 Agnone (1971a)*, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio 161 Isernia (1971b)*, Roma.