

Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore sud-orientale dei Monti Cimini (Lazio)

Experimental hydrogeological cartography in the south-eastern sector of the Monti Cimini (Latium)

CAPELLI G. (*), MAZZA R. (*),
PAGANELLI D. (**), SCALISE A.R. (***)

RIASSUNTO - Il presente studio è stato realizzato nell'ambito di una convenzione stipulata tra il Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali-Servizio Geologico Nazionale della Presidenza del Consiglio dei Ministri (già APAT, Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo) ora ISPRA e l'Università degli Studi "Roma Tre", Dipartimento di Scienze Geologiche.

Tale convenzione prevedeva la sperimentazione delle linee guida per la realizzazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000, in un'area campione individuata nell'ambito di uno dei distretti vulcanici dell'Italia centrale: il settore sud-orientale dei Monti Cimini. Durante lo studio idrogeologico eseguito in tale area sono stati recuperati dati geologici ed idrogeologici inediti e di letteratura ed è stata realizzata, in quattro fasi stagionali negli anni 2002-2003, un'attività di campagna finalizzata al monitoraggio dei punti d'acqua (sorgenti e pozzi), e in particolare alla realizzazione di misure di portata in alveo per individuare i rapporti falda-fiume.

I dati raccolti, inoltre, sono stati utilizzati per uno studio di geologia stratigrafica e strutturale che ha portato alla redazione di profili idrogeologici che, unitamente all'analisi degli elementi caratteristici del bilancio idrologico del bacino del Fiume Treia, principale corso d'acqua nell'area in esame, hanno permesso la ricostruzione di un modello di circolazione idrica sotterranea.

Per ogni tematismo geologico ed idrogeologico sono stati realizzati opportuni strati informativi interfacciati con un *database* appositamente realizzato.

Il prodotto finale è stato la realizzazione di una carta idrogeologica alla scala 1:50.000 che, oltre ad individuare le caratteristiche idrogeologiche dell'area ha permesso di poter sperimentare l'applicabilità delle linee guida.

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia, Cartografia idrogeologica, Monti Cimini, Lazio.

ABSTRACT - This study was realized within a collaboration agreement between the "Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali-Servizio Geologico Nazionale della Presidenza del Consiglio dei Ministri" (now "ISPRA, Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo") and "Università degli Studi "Roma Tre", Dipartimento di Scienze Geologiche", aimed to the testing of the Italian guidelines for the hydrogeological survey and mapping at the 1:50,000 scale in the south-eastern sector of the volcanic district of the Monti Cimini, in central Italy.

The study has concerned the collection of geologic and hydrogeologic information from the scientific literature, the realization of a hydrogeologic field survey (four seasonal field investigations in a year during 2002-2003) consisting in well and spring monitoring and in stream gauging measurement finalized to the definition of the groundwater-surface water relationships.

The collected data were also used for a stratigraphic and structural geology study aimed to the elaboration of hydrogeologic sections that, along with the discussion of the elements characterizing the hydrologic balance of the Treia River Basin, representing the main stream in the study area, have allowed the reconstruction of the local groundwater flow field.

The geologic and hydrogeologic information has been organized in different informative layers interfaced with a specific suitable database.

The hydrogeologic map on purpose realized at the scale 1:50,000 reports the main hydrogeologic features of the study area and the results of the testing of the cartographic guidelines.

KEY WORDS: Hydrogeology, Hydrogeologic Cartography, Monti Cimini, Latium.

(*) Dipartimento di Scienze Geologiche – Università degli Studi "Roma Tre"

(**) ISPRA (già ICRAM - Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare)

(***) ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo

1. - INTRODUZIONE

La scelta del settore sud-orientale dei Monti Cimini per la sperimentazione della “Carta Idrogeologica d’Italia 1:50.000 – Guida al rilevamento e alla rappresentazione” (MARI *et alii*, 1995), è dovuta alla presenza di specifiche situazioni idrogeologiche che sono rappresentate ampiamente nei fenomeni e nelle tipologie di punti d’acqua previsti dalla legenda della carta idrogeologica.

I dati raccolti, inediti e di letteratura, sono stati confrontati con le indicazioni emerse dallo studio della geologia stratigrafica e strutturale, al fine di ottenere un modello della circolazione idrica sotterranea e degli scambi tra falda regionale e reticolo fluviale, basato sulla definizione delle specifiche caratteristiche fisiche e geometriche dei complessi idrogeologici e sulla conseguente individuazione dei limiti dei bacini idrogeologici.

Nell’area di studio figura in parte, uno dei maggiori bacini lacustri del dominio vulcanico laziale per il quale sono state fatte dagli autori ipotesi di inquadramento idrogeologico e di applicabilità di alcune voci di legenda.

Sono stati, inoltre, redatti profili idrogeologici a varia scala e stimati i parametri del bilancio idrogeologico, riferito al bacino del Fiume Treia, principale corso d’acqua dell’area studiata.

I prodotti finali principali della ricerca sono rappresentati da:

- 1) livelli informativi relativi ai diversi tematismi geologici e idrogeologici previsti dalla legenda (complessi idrogeologici; elementi di vulcano-tettonica; punti d’acqua reperiti da dati di bibliografia edita e inedita; punti d’acqua misurati in quattro campagne di rilevamento stagionali; geometrie piezometriche relative alle campagne di rilevamento; geometria del substrato prevulcanico; fenomeni di emergenza naturale; stazioni di rilevamento dati termo-pluviometrici e idrometrici; stazioni di rilevamento dati chimico-fisici);

- 2) catalogazione dati idrologici mediante sistema di archiviazione relazionato con i sistemi informativi territoriali;

- 3) carta idrogeologica di applicazione della legenda relativa al Quaderno n° 5;

- 4) note illustrative della carta idrogeologica con inquadramento geologico e idrogeologico dell’area in studio.

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L’area di studio (fig. 1) è inserita nel contesto geologico del Distretto Vulcanico Cimino-Vicano. In ordine temporale le attività che

determinano la messa in posto dei prodotti del Complesso Cimino sono le più antiche, mentre le attività vicane sono successive. Il Distretto Vulcanico Cimino si inserisce in un settore pre-appenninico interessato da faglie con direzione NW-SE e NE (fig. 2). Le depressioni strutturali sono state colmate dal Messiniano al tardo Pliocene da alcune centinaia di metri di sedimenti (figg. 3, 4). I depositi vulcanici soprastanti sono costituiti da domi e ignimbriti trachidacitiche, ricoperti da depositi lavici olivin-latitici. Successivamente si è avuta la risalita di magmi viscosi acidi, che in superficie hanno formato domi e cupole di ristagno. L’evoluzione dei domi è stata accompagnata da violente fasi esplosive che hanno determinato la messa in posto del vasto *plateau* ignimbrítico dell’areale cimino. Attualmente sono riconoscibili più di 50 rilievi collinari, ognuno dovuto all’accumulo di domi lavici a composizione riolitico-trachidacitica. In generale, i domi lavici sono stati obliterati dalla copertura ignimbrítica o sono stati distrutti dalla loro stessa attività esplosiva (figg. 3, 4). Essi sono distribuiti lungo linee semiradiali e semianulari rispetto al Domo del Monte Cimino, il quale rappresenta la porzione apicale del laccolite (CIMARELLI & DE RITA, 2006). L’attività del Distretto Cimino termina con l’emissione di lave latitiche e olivin-latitiche in espandimenti che si sviluppano fino a 10 km dal centro di emissione.

Dalle datazioni definite con K/Ar, l’età dei prodotti vulcanici appartenenti a questo complesso di domi risulta compresa tra $1,35 \pm 0,075$ e $0,95 \pm 0,2$ Ma (NICOLETTI, 1969).

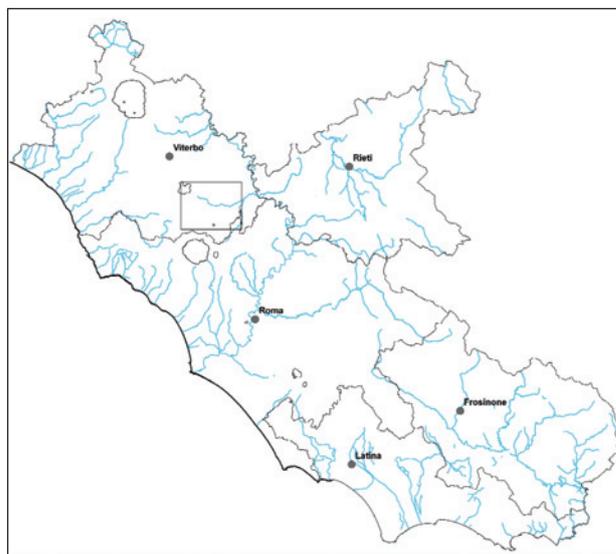


Fig. 1 - Ubicazione dell’area di studio.
- Location of the study area.

L'attività del Distretto Vulcanico Vicano, iniziata circa 800.000 anni fa e terminata meno di 90.000 anni fa, si sviluppa principalmente da un edificio centrale, il Vulcano di Vico, dalla tipica forma di strato-vulcano, con la parte terminale troncata da una caldera eccentrica verso sud. Dal fondo della caldera si innalza un edificio secondario, il Vulcano di Monte Venere. Vico ha avuto un'attività essenzialmente esplosiva, con chimismo alcalino-potassico. Gli Autori distinguono 4 fasi principali di attività, con massimo parossismo intorno a 150.000 anni fa. Il paesaggio su cui si è impostato il Distretto Vicano è una vasta area pianeggiante, costituita da sedimenti *flyschoidi*, posta a NW dell'edificio centrale. Sedimenti di analoga natura costituiscono anche il substrato del vulcano (DE RITA *et alii*, 1983, 1993, 1994, 1997). Il Distretto di Vico è dunque caratterizzato dalla messa in posto di grandi volumi di materiale da un unico centro di emissione.

In questo settore del Lazio settentrionale la coltre vulcanica rappresenta l'elemento litologico caratteristico e, solamente in corrispondenza delle profonde incisioni vallive o delle culminazioni tettoniche, sono visibili sporadici affioramenti delle formazioni sedimentarie che costituivano il paesaggio prevulcanico.

BERTAGNINI & SBRANA (1986) sintetizzano l'attività del Vulcano di Vico in quattro fasi principali susseguite a partire da 0,9 a 0,095 Ma, che hanno portato alla messa in posto di numerose formazioni (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970), secondo l'ordine di seguito riportato:

I^a Fase (0,9-0,4 Ma) - L'attività ha inizio con emissioni laviche a chimismo latitico-trachibasaltico, seguite da un'attività esplosiva di tipo pliniano ("Tufi stratificati varicolori" vicani) ed emissioni di lave trachitiche da centri eruttivi diversi;

II^a Fase (0,33-0,2 Ma) - L'attività lavica, a chimismo prevalentemente fonolitico-tefritico, tefritico-fonolitico e trachifonolitico, produce la costruzione dell'edificio centrale. Si tratta di uno strato-vulcano di dimensioni maggiori dell'attuale e localizzato nella Valle di Vico, tra M. Fogliano e Poggio Nibbio, nel settore nord-occidentale della caldera (LOCARDI, 1965);

III^a Fase (0,2-0,15 Ma) - La terza fase è caratterizzata da eruzioni pliniane associate ad una intensa attività esplosiva e ripetuti collassi calderici. Vengono messe in posto ingenti quantità di materiali: le ignimbriti A e B di LOCARDI (1965), corrispondenti al Tufo grigio a scorie nere (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970) e l'ignimbrite C di LOCARDI (1965), corrispondente al Tufo rosso a scorie nere (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970);

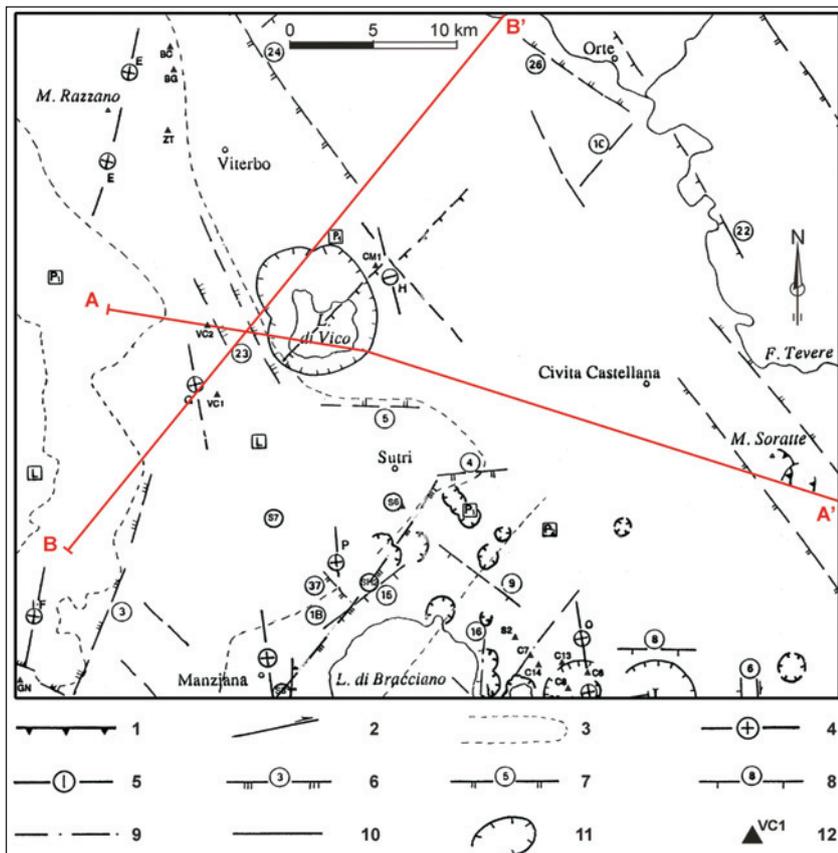


Fig. 2 - Schema strutturale con evidenziate le tracce dei profili geologici A-A' e B-B'.
 Legenda: 1) Sovrascorrimenti minori all'interno delle singole unità stratigrafico-strutturali; 2) Faglie trascorrenti; 3) Limite di distribuzione dei corpi sedimentari al di sotto della copertura vulcanica: L) "Liguridi s.l.", P1) sedimenti neoautoctoni del primo ciclo (Pliocene inferiore - Pliocene superiore p.p.), P2) sedimenti neoautoctoni del secondo ciclo (Pliocene superiore p.p. - Pleistocene inferiore); 4) Asse di struttura compressiva positiva; 5) Asse di struttura compressiva negativa; 6) Struttura distensiva e numero di riferimento relativo alla descrizione nel testo originale (Pliocene inferiore - medio); 7) Struttura distensiva e numero di riferimento relativo alla descrizione nel testo originale (Pliocene medio - Pleistocene inferiore); 8) Struttura distensiva e numero di riferimento relativo alla descrizione nel testo originale (Pleistocene medio - Attuale); 9) Importanti linee tettoniche di significato incerto o delimitanti settori a diverso comportamento cinematico; 10) Faglie generiche; 11) Orlo di caldera e di depressione subcircolare di origine incerta; 12) Pozzo profondo e suo codice di riferimento (da ENEL, 1994).

- Structural sketch showing the position of the A-A' and B-B' geologic sections. Legend: 1) Minor overthrusts within each stratigraphic-structural unit; 2) Faults: a) transcurrent, b) normal, c) indeterminate; 3) Allocation limit of the sedimentary bodies beneath the volcanic cover: L) "Liguridi s.l.", P1) Neoautochthonous sediments of the first cycles (Lower Pliocene - Upper Pliocene p.p.); 4) Positive compression structure axis; 5) Negative compression structure axis; 6) Extensional structure (Lower-Middle Pliocene); 7) Extensional structure (Middle Pliocene - Lower Pleistocene); 8) Extensional structure (Middle Pleistocene - Present); 9) Main tectonic line of uncertain interpretation or delimiting sectors characterized by a different kinematic process; 10) Generic faults; 11) Caldera edge and uncertain origin sub-rounded depression edge; 12) Deep well and distinctive code (from ENEL, 1994).

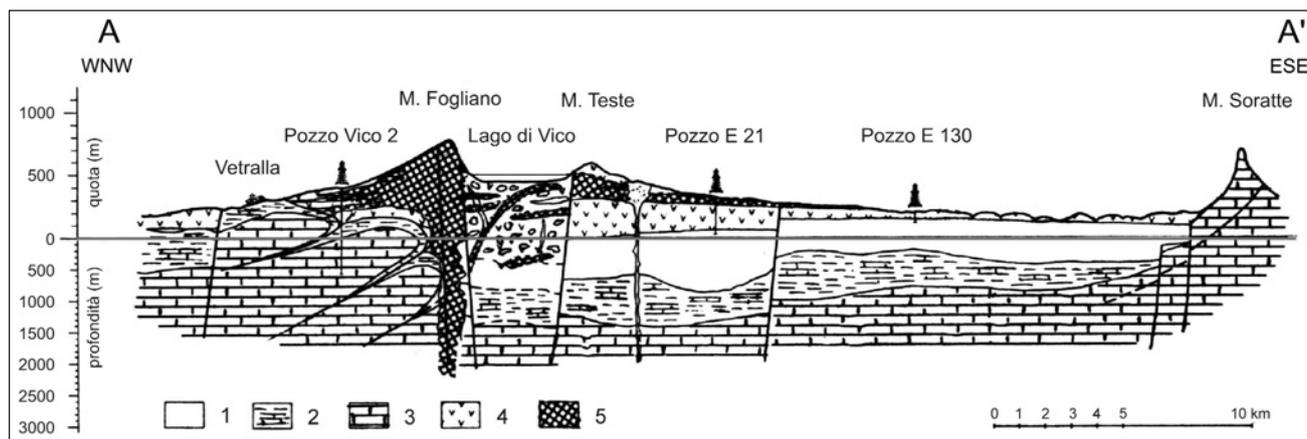


Fig. 3 - Profilo geologico A-A'. Legenda: 1) Formazioni del ciclo neoauctonico (Miocene-Pliocene-Quaternario); 2) Formazioni alloctone in facies di flysch (Cretacico superiore-Oligocene); 3) Basamento carbonatico mesozoico; 4) Tufi prevalenti e lave; 5) Lave prevalenti e tufi (da LA TORRE *et alii*, 1981).
 - Geologic section A-A'. Legend: 1) Neoauctonous cycle formations (Miocene-Pliocene-Quaternary); 2) Allocthonous formations in flysch facies (Upper Cretaceous - Oligocene); 3) Mesozoic carbonatic basement; 4) Prevailing tuffs and lavas; 5) Prevailing lavas and tuffs (from LA TORRE *et alii*, 1981).

IV^a Fase (0,14-0,095 Ma) – Ad una prima fase caratterizzata dalla deposizione dei tufi vescicolari e dei tufi massivi, fa seguito l'emissione di depositi con tipici caratteri idromagmatici e *surge* piroclastici.

2.1. - CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DELLE SEQUENZE VULCANICHE

Vengono di seguito riportate le principali formazioni vulcaniche del distretto sabatino (fig. 5) e del distretto vicano, che definiscono il modello geologico di riferimento:

“Tufo giallo della Via Tiberina” (“Colata piroclastica inferiore di Sacrofano”, (DE RITA *et alii*, 1993). Occupa attualmente una porzione del territorio sabatino, esterna all'area cartografata, che si estende dal Comune di Civita Castellana a nord fino ai centri abitati di Prima Porta e Grottarossa a sud, poggiando direttamente sui depositi del Pliocene superiore o sui sedimenti fluvio-lacustri del Pleistocene. Il Tufo giallo della Via Tiberina, come si può osservare in affioramento, ha un aspetto tipicamente litoide, massivo, con la presenza costante di litici, fenocristalli, più pomici e scorie di vario tipo, che raggiungono anche i 20-30 cm di diametro (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970).

“Tufi stratificati varicolori di Sacrofano”. Si espandono fino ai prodotti del Vulcano Laziale verso sud e al di sopra delle unità vicane più antiche verso nord (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970). Le caratteristiche di questa formazione sono molto varie nelle zone circostanti il punto di emissione e molto più regolari in quelle distali.

Ovunque si rinvengono alternanze di livelli lapillosi e scoriacei molto ricchi in pomici verso l'alto. Nella parte sommitale della serie la presenza di livelli cineritici fa desumere un'attività di tipo

idromagmatico nella fase finale (DE RITA *et alii*, 1993). Molto frequente è la presenza di livelli rimaneggiati in ambiente lacustre (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970; DE RITA *et alii*, 1993).

“Tufo rosso a scorie nere” sabatino. Affiora in molti settori del distretto vulcanico, tanto da essere usato come *marker* stratigrafico. A luoghi si presenta rimaneggiato, dimostrando così una certa eterogeneità; è costituito solitamente da una sabbia pomicea incoerente con grandi scorie nere, ma a luoghi appare litoide con pomici di 20 cm ed oltre di diametro (CORDA *et alii*, 1976; DE RITA *et alii*, 1993). Comprende alla base la colata piroclastica del “Piperno di Mazzano” (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970). Tale colata si presenta molto eterogenea e può presentare una consistenza variabile da incoerente (aspetto pozzolanaceo) a consolidata (peperino tipico). Ricopre una modesta zona all'interno del bacino del Fiume Treia, con spessori di oltre 15 metri (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970).

“Tufi stratificati varicolori di La Storta”. Presentano un'estensione notevole, tanto da essere rilevati in affioramento anche nei comuni di Monterotondo e Mentana, oltre la Valle del Tevere. Questa formazione, che ha un aspetto molto variabile a seconda della distanza dal centro di emissione, si presenta da coerente (quasi peperino) ad incoerente, con intercalazioni argillose e numerosi livelli costituiti da sole scorie o pomici. Analogamente ai “Tufi stratificati varicolori di Sacrofano”, anche in questa formazione sono frequenti, all'interno della serie, livelli rimaneggiati in ambiente lacustre (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970; DE RITA *et alii*, 1993).

“Tufo giallo di Sacrofano” (Colata piroclastica superiore di Sacrofano, DE RITA *et alii*, 1993). Presenta caratteristiche omogenee negli affioramenti limitrofi all'omonima caldera, mentre il suo

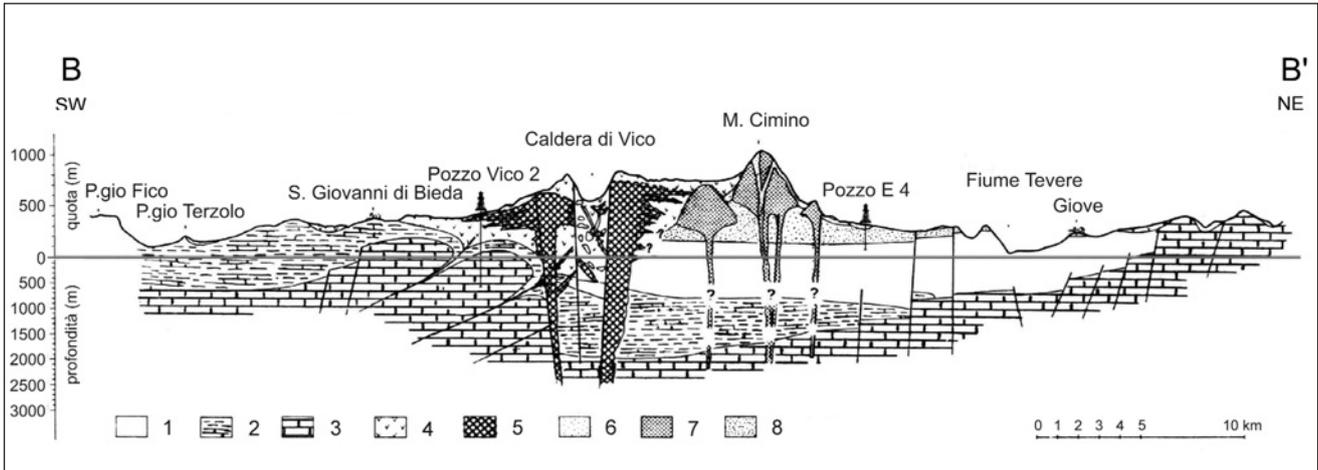


Fig. 4 - Profilo geologico B-B'. Legenda: 1) Formazioni del ciclo neoautoctono (Miocene-Pliocene-Quaternario); 2) Formazioni alloctone in facies di flysch (Cretacico superiore-Oligocene); 3) Basamento carbonatico mesozoico; 4) Tufi prevalenti e lave; 5) Lave prevalenti e tufi; 6) Colate di lava; 7) Lave in domi; 8) Ignimbriti (da LA TORRE et alii, 1981).

- Geologic section B-B'. Legend: 1) Neoaucththonous cycle formations (Miocene-Pliocene-Quaternary); 2) Allocthonous formations in flysch facies (Upper Cretaceous - Oligocene); 3) Mesozoic carbonatic basement; 4) Prevailing tuffs and lavas; 5) Prevailing lavas and tuffs; 6) Lava flows; 7) Lava domes; 8) Ignimbrites (from LA TORRE et alii, 1981).

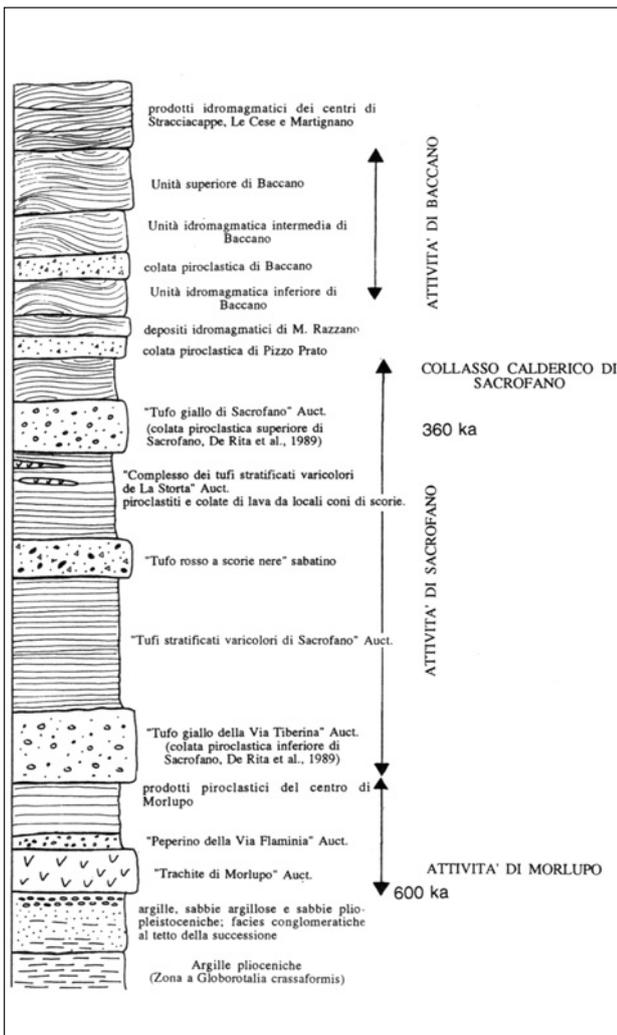


Fig. 5 - Sezione stratigrafica schematica del settore orientale del Distretto Vulcanico Sabatino (MARRA & ROSA, 1995).

- Stratigraphic succession sketch of the eastern sector of the Sabatini Mts. Volcanic District (MARRA & ROSA, 1995).

aspetto varia sensibilmente nelle zone distali. In queste ultime presenta evidenti livelli pomicei e lapillosi sovrapposti, con strutture tipo *sandwaves* in una matrice cineritica; a luoghi assume un aspetto massivo, litoide, con strutture caotiche caratterizzate da pomici alterate, in una matrice cineritica giallo-rosea. Alla base sono presenti livelli pomicei gradati.

“Tufo grigio a scorie nere” vicano. Affiora sui versanti sudorientale e occidentale dell’apparato vulcanico (ignimbrite fonolitica di LOCARDI, 1965) e in quello meridionale (Ignimbrite B di LOCARDI, 1965); ha un raggio di espansione variabile dai 10 ai 14 km. Le potenze maggiori si hanno nel settore meridionale, dove gli spessori superano anche i 50 m, e nel settore sudorientale, con alcune decine di metri.

“Tufo rosso a scorie nere” vicano (Ignimbrite C di LOCARDI, 1965). Affiora nella fascia settentrionale dei Sabatini e ricopre, intorno al centro di emissione, un’area con un raggio di circa 20-25 km di raggio, estendendosi per 40-45 km verso sud (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970). Nell’area di studio si presenta con caratteristiche abbastanza omogenee: alla base è caratterizzato da un deposito pliniano ricco in pomici immerse in una matrice chiara, mentre verso l’alto passa ad una matrice pomiceo-sabbiosa ben litificata, con grandi scorie nere inglobate al suo interno. Gli spessori medi sono di 20-30 m, fino ad un massimo di 50 m (DE RITA et alii, 1993; CAMPOBASSO et alii, 1994).

“Tufo bianco di Fabbrica”, descritto da MATTIAS & VENTRIGLIA (1970), corrisponde all’Ignimbrite D di LOCARDI (1965). Si tratta di depositi con tipici caratteri idromagmatici, *surge* piroclastici e *flow* con matrici aggregate intorno ai

componenti. Tale unità si presenta in affioramento generalmente in *facies* litoide, massiva e priva di un'evidente stratificazione, rara in *facies* incoerente. Lo spessore è di pochi metri, anche se all'interno delle incisioni fluviali questo può raggiungere alcune decine di metri.

I successivi fenomeni vulcanici si manifestano in zone poco estese e i depositi che ne derivano, presentano un'organizzazione alquanto complessa nei diversi settori.

Nel settore di Trevignano Romano, Monterosi e Vicarello, le emissioni vulcaniche presentano fenomenologie e volumi eruttati differenti. Nella parte bassa di questa serie i prodotti piroclastici e le piroclastiti rimaneggiate dei centri di Monterosi, M. Calvi, M. Guerrano e Trevignano si alternano a colate di lava a chimismo leucitico-tefritico e fonolitico e a coni di scorie locali, mentre verso la parte alta aumenta la presenza dei prodotti idromagmatici, dei livelli incoerenti sabbioso-lapillosi e delle intercalazioni cineritiche (DE RITA *et alii*, 1993).

Nel settore della Valle di Baccano-Martignano, se si esclude la "Colata piroclastica di Baccano" (DE RITA *et alii*, 1993), si può notare che i prodotti comprendono quasi esclusivamente colate idromagmatiche. Tra i depositi più importanti in affioramento, si rinvengono le "Unità idromagmatiche di Baccano", differenziate in inferiore, intermedia e superiore, tutte caratterizzate da alternanze più o meno frequenti di livelli cineritici e lapillosi in varia percentuale (DE RITA *et alii*, 1993).

Anche i prodotti emessi dai centri di M. Razzano e M. S. Angelo sono attribuibili alle idromagmatiche, ma la presenza di livelli a granulometria sabbiosa, fortemente cementati, determina generalmente un aspetto litoide e massivo nelle formazioni affioranti. Tra le varie manifestazioni vulcaniche attribuibili a questo settore troviamo numerosi centri monogenici a principale attività idromagmatica. I loro prodotti, con un raggio di estensione abbastanza limitato (qualche chilometro), sono essenzialmente costituiti da cineriti molto caotiche, più o meno cementate, intercalate a livelli di cineriti grossolane e a prodotti rimaneggiati delle stesse.

3. - IDROGEOLOGIA

3.1. - ASSETTO IDROSTRUTTURALE

L'area studiata si estende su parte di due Unità Idrogeologiche: l'Unità Sabatina e l'Unità Cimino-Vicana. Esse sono caratterizzate, da un punto di vista fisico, da due diverse serie stratigrafiche, da

una diversa geometria del substrato a bassa permeabilità e dalla presenza di limiti idrogeologici descrivibili come limiti di potenziale, limiti a flusso nullo e limiti a flusso aperto. La ricarica delle unità è dovuta alle sole precipitazioni; le zone periferiche alimentano altri importanti complessi idrogeologici: l'Unità Sabatina fornisce una ricarica all'Unità di Ponte Galeria, verso SW e SE, mentre l'Unità Cimino-Vicana alimenta il vasto complesso di sabbie e ghiaie del paleotevere, spesso affiorante verso est, al margine del *graben* del Fiume Tevere. I settori indicati sono quindi da considerarsi a flusso aperto.

Diversamente, verso ovest, la presenza dell'alto strutturale di Monte Razzano e, più in generale, il sollevamento del substrato *flyschoidale* e di quello carbonatico mesozoico ad esso associato, determina una netta barriera idraulica che impedisce scambi di circolazione tra le citate unità e l'Idrostruttura Vulsina.

A diverso livello di scala, il complesso assetto tettonico che caratterizza il substrato prevulcanico e, a volte, anche alcune formazioni vulcaniche, induce nella circolazione sotterranea delle linee di flusso obbligate e non facilmente evidenziabili, se non mediante la costruzione di dettagliati profili geologici e/o idrogeologici. In tal senso citiamo, come esempio, l'alto del tetto del complesso delle argille e argille sabbiose plio-pleistoceniche, identificato nella contrada di Filissano e in quella dell'Umiltà.

Spesso ai margini di questi piccoli motivi strutturali sono presenti manifestazioni gassose e mineralizzazioni delle acque presenti nelle falde vulcaniche.

3.2. - ANALISI DEL SUBSTRATO SEDIMENTARIO

In un'area come quella in studio, ricoperta da materiali vulcanici per valori superiori al 90% del totale, uno studio volto alla definizione delle caratteristiche fisiche e geometriche dell'acquifero, delle direttrici principali del flusso sotterraneo e della potenzialità idrica non può assolutamente prescindere dalla natura litologica e dalla morfologia del substrato sedimentario.

Le formazioni sedimentarie presenti nell'area in studio o nelle immediate vicinanze possono venire raggruppate in quattro unità principali appartenenti a diversi cicli sedimentari:

Complesso carbonatico basale, ad apparente basso grado di alloctonia (FUNICIELLO *et alii*, 1976), costituito da lembi sporadici di terreni sedimentari con età che vanno dal Triassico superiore all'Eocene, riconducibili per i loro caratteri regionali sia alla serie toscana sia a quella sabina;

Complesso alloctono flyschoidale, che poggia direttamente sui termini della serie carbonatica basale e ben

esposto su tutta l'area costiera (Unità liguri esterne);

Complesso dei sedimenti neo-autoctoni neogenici, in *facies* prevalentemente marina, che colma una serie di aree strutturalmente depresse, interessando un vasto settore compreso tra la regione tolfetana e le propaggini occidentali dei rilievi che vanno dal M. Soratte ai Monti Cornicolani;

Complesso dei sedimenti in facies continentale, del Pleistocene medio-superiore, che costituisce l'ultimo ciclo deposizionale.

Più autori hanno affrontato indagini di tipo geofisico relativamente alle aree vulcaniche sabatino-cimine (MARUFFI, 1972a,b; BALDI *et alii*, 1974; ENEL, 1994), da cui derivano, per la geometria del substrato sedimentario delle vulcaniti, ricostruzioni diverse e talvolta contrastanti.

Il settore per il quale si sono incontrate le maggiori difficoltà, relativamente alla ricostruzione del substrato sedimentario, è stato quello nord-occidentale, oggi occupato dal bacino lacustre vicano. MARUFFI (1972a,b), il primo ad occuparsi in dettaglio di quest'aspetto, descrive una struttura cupuliforme (con il letto delle vulcaniti a più di 400 m s.l.m.), con caldera di sprofondamento centrale, di limitate dimensioni. Successivamente BALDI *et alii* (1974), disponendo sia del lavoro precedente sia di altre indagini eseguite nell'area (perforazioni per uso geotermico eseguite dall'ENEL), presenta una nuova ricostruzione del substrato sedimentario nell'area dei grandi laghi laziali.

In questo studio, per la ricostruzione della geometria del substrato sedimentario, gli autori hanno condotto una specifica analisi critica di tutti i dati disponibili in letteratura, unitamente all'elaborazione e integrazione delle informazioni inedite acquisite in campagna o presso società e consorzi operanti nell'area. Oltre al riesame dei dati geofisici, la ricostruzione del letto delle vulcaniti ha inoltre comportato lo studio dei rapporti esistenti fra queste e le serie sedimentarie. Questo studio ha permesso di dettagliare ulteriormente l'andamento del substrato sedimentario affiorante. Gli schemi proposti e ancora validi a livello regionale sono stati pertanto aggiornati ed affinati laddove nuove informazioni hanno permesso di dettagliare maggiormente geometria e natura della paleomorfologia, "obliterata" dalla messa in posto delle vulcaniti.

Viene ipotizzato che importanti paleovalvei siano stati mascherati dalla messa in posto della serie vulcanica, come ad esempio quello del paleotevere, posto ad ovest del rilievo del Monte Soratte, con andamento N-S. Dal Comune di Gallese fino alle porte di Roma è infatti possibile riscontrare una serie di potenti affioramenti di ghiaie e sabbie poggianti su un substrato argilloso-sabbioso plio-pleistocenico. Il complesso delle

sabbie e ghiaie, presente nella parte terminale del bacino del fiume Treia, costituisce il vero grande serbatoio idrico che alimenta il reticolo fluviale.

Un affioramento del substrato sedimentario, in *facies* conglomeratica, non segnalato in letteratura, è stato rinvenuto nel Fosso del Ponte di Castello, in prossimità dell'abitato di Nepi (circa 125 m s.l.m.), mentre numerosi affioramenti di argille e argille sabbiose, attribuite al Plio-Pleistocene, sono stati invece rilevati nei Fossi di Capo di Rio, dei Ronci, di Filissano, della Mola di Faleria e del ramo principale del Treia in località "La Fornace". Anche per il substrato sedimentario sepolto sono emerse nuove indicazioni, come nel caso dell'"Alto di Filissano", individuato combinando le informazioni emerse in campagna con quelle ottenute dai dati di perforazione.

La ricerca condotta ha pertanto permesso di ricostruire, con un grado di incertezza modesto, l'andamento del letto delle vulcaniti nel bacino del Treia (fig. 6).

Le conoscenze sulla geometria del substrato sono state correlate con quelle relative alla superficie piezometrica e alle direttrici principali del deflusso sotterraneo.

Le caratteristiche morfologiche più importanti all'interno dell'area studiata sono costituite da due ampie depressioni: una, allungata in direzione E-W, è localizzata in corrispondenza del Lago di Vico, dove il substrato scende a quote inferiori ai 100 m s.l.m., l'altra, che comprende il Lago di Bracciano, si estende al di sotto delle caldere di Baccano e Sacrofano. La massima profondità del substrato, in quest'area, supera i -500 m s.l.m. e si protende in prevalenza verso est (fig. 6).

La depressione del bacino di Vico rimane compresa tra l'elevazione del substrato sotto il Monte Cimino, che supera i 500 m s.l.m. e quella ad ovest di Capranica di Sutri di pari entità. Un altro elemento importante dello spartiacque geologico profondo è costituito dall'alto di Filissano-Umiltà, per la formazione del quale è ipotizzabile la presenza di più lineamenti tettonici. L'ipotesi è suffragata dalla presenza di sorgenti di gas ai margini del motivo strutturale.

3.3. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Sono stati in precedenza descritti i tipi litologici presenti nell'area in studio, con particolare riferimento alle formazioni vulcaniche. Dalla descrizione della copertura vulcanica è possibile notare la presenza di numerosi depositi che si alternano ed interdigitano, ognuno con caratteri litologici molto variabili. Tale variabilità condiziona fortemente la circolazione idrica sotterranea, determi-

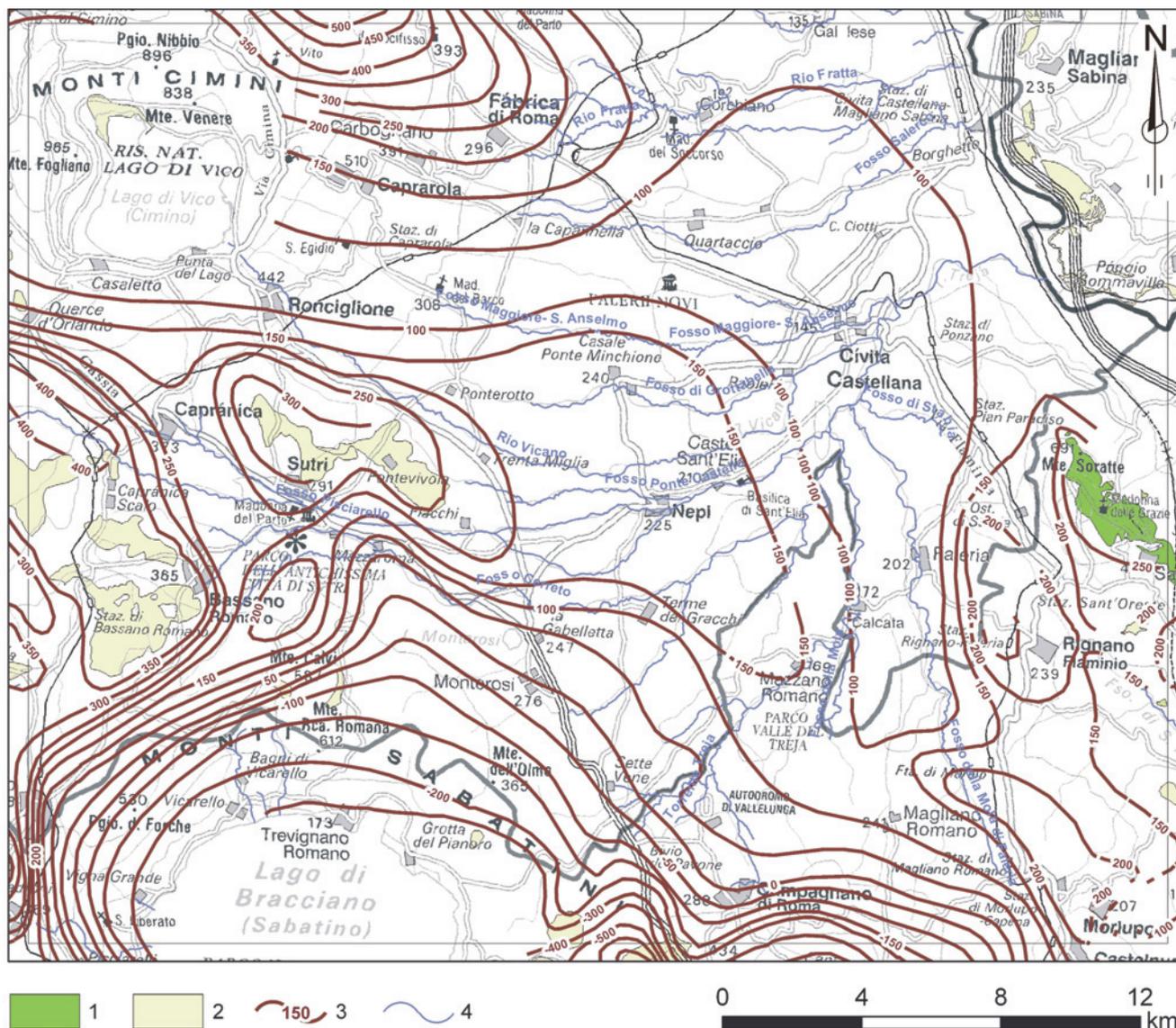


Fig. 6 - Carta delle isobate del tetto delle formazioni prevulcaniche e dei loro affioramenti. Legenda: 1) Complesso dei calcari di transizione; 2) Complesso dei depositi terrigeni prevulcanici; 3) Isobate del tetto delle formazioni prevulcaniche con quota di riferimento; 4) Reticolo idrografico.
 - Isobath map of the top of the prevolcanic formations and their outcrops. Legend: 1) Transitional limestone complex; 2) Prevulcanic terrigenous deposit complex; 3) Isobaths of the top of the prevolcanic formations and their elevation; 4) Hydrographic network.

nando una serie di situazioni a diversa permeabilità, tanto che è possibile passare rapidamente da condizioni di bassissima permeabilità a elevati valori del medesimo parametro.

Per quanto riguarda il coefficiente di permeabilità bisogna inoltre distinguere le formazioni con permeabilità primaria da quelle con permeabilità secondaria. Nei materiali appartenenti al primo gruppo il parametro è condizionato principalmente da fattori come la struttura, la tessitura, la composizione mineralogica, le dimensioni dei grani, il grado di costipazione, ecc.; nei materiali del secondo gruppo la permeabilità dipende soprattutto dal grado di fratturazione della roccia, sia esso dovuto

a stress tettonico sia a raffreddamento.

Sulla base delle caratteristiche fisiche e sedimentologiche, si sono suddivisi i vari termini delle serie affioranti in complessi litologici che raggruppano formazioni tra loro idrogeologicamente omogenee (carta fuori testo). Ogni complesso, quindi, presenta in massa una medesima capacità di trasmissione e di immagazzinamento. Si distinguono due grandi tipologie di formazioni: l'insieme dei complessi argillosi plio-pleistocenici e dei complessi in *facies* di *flysch*, costituenti il substrato a bassa permeabilità, e l'insieme dei complessi vulcanici e dei complessi sabbiosi e ghiaiosi pleistocenici, sede di falde acquifere.

3.3.1. - *Complessi costituenti il substrato a bassa permeabilità*

I complessi che appartengono a questo gruppo sono:

Complesso dei flysch (Oligocene - Eocene medio-superiore).

Il complesso è costituito da *flysch* arenacei (Oligocene) e calcareo-marnosi (Eocene medio-superiore). La formazione arenacea, localizzata al *top* del complesso alloctono, è costituita da arenarie di color giallo ocra, caratterizzate da frequenti fenomeni di alterazione superficiale. La formazione calcareo marnosa è costituita da un'alternanza di strati sottili di marne di colore marrone chiaro e strati sottili di calcareniti da fini a grossolane, calciluliti e calcari marnosi. Il complesso presenta un notevole spessore e, in considerazione della sua natura litologica e del suo aspetto morfologico, è stato ritenuto praticamente impermeabile. Nel settore occidentale del bacino rappresenta l'*aquicluda* della falda regionale. Tuttavia localmente singoli banchi o coltri di alterazione possono presentare una modesta circolazione.

Complesso delle argille e argille sabbiose (Pliocene - Pleistocene).

Si tratta di argille e argille sabbiose e siltose a scarsissima permeabilità, che delimitano alla base la circolazione nelle formazioni vulcaniche. Il complesso affiora nel settore orientale, laddove i corsi d'acqua hanno inciso profondamente la copertura vulcanica. Possono presentare condizioni di saturazione limitata ai livelli sabbiosi che comunque risultano scarsamente o affatto rialimentati. Il ruolo idrogeologico di questo complesso è quello di substrato a bassa permeabilità, che sostiene l'intera circolazione idrica dell'area.

Complesso delle argille lacustri (Pleistocene superiore - Olocene).

Fanno parte di questo complesso le argille lacustri, le diatomiti e i riempimenti dei fondi calderici. I depositi sono caratterizzati da valori di permeabilità da molto bassa a bassa. Per omogeneità idrogeologica il complesso è stato collocato tra quelli costituenti il substrato regionale, ma in realtà si intercala ai depositi della serie vulcanica ed essendo poco esteso, influenza solamente la circolazione idrica locale.

3.3.2. - *Complessi costituenti l'acquifero*

I complessi che appartengono a questo gruppo sono di seguito descritti:

Complesso dei detriti di versante (attuale).

Al complesso appartengono i detriti di versante e i conoidi di deiezione. La natura geologica del deposito è funzione delle formazioni affioranti

che li generano. Data l'esiguità degli affioramenti, il ruolo idrogeologico del complesso è del tutto marginale, anche se la presenza di paleosuoli può determinare l'esistenza di piccoli orizzonti saturi.

La permeabilità del complesso è da considerarsi media.

Complesso degli accumuli di frana (attuale).

Data l'esiguità degli affioramenti, nonostante il complesso sia dotato di elevati valori di permeabilità, esso ha scarso interesse idrogeologico.

Complesso delle alluvioni (Olocene - attuale).

Appartengono a questo complesso le alluvioni sabbiose e sabbioso-ghiaiose attuali e recenti. Sono presenti lungo i corsi d'acqua principali e intorno al Lago di Vico, con spessori crescenti verso i settori terminali. La natura dei depositi è condizionata da quella delle formazioni da cui derivano. A scala locale il complesso può assumere una discreta importanza in quanto ospita corpi idrici produttivi.

La permeabilità del complesso è da considerarsi media.

Complesso delle idromagmatiti cineritiche (Pleistocene medio - superiore).

Il complesso è costituito da prodotti freatici e idromagmatici originati da differenti centri eruttivi (appartenenti sia all'apparato vicano sia a quello sabatino), intercalati a depositi di ricaduta. Sono presenti livelli cineritico-lapilloso intercalati a livelli cineritici e talvolta a livelli di piroclastici stratificate. Il complesso è caratterizzato da eterogeneità verticale e orizzontale con conseguenti variazioni anche importanti del grado di permeabilità. Il ruolo idrogeologico, in relazione all'estensione del complesso, è limitato, anche se localmente può condizionare la circolazione idrica sotterranea.

La permeabilità del complesso è scarsa.

Complesso delle colate piroclastiche (Pleistocene medio - superiore).

Appartengono a questo complesso le colate piroclastiche pomicee, saldate, caratterizzate a luoghi dalla presenza di grosse fiamme e scorie cineritico-vetrose. In taluni casi sono presenti cristalli di leucite alterati. I depositi, appartenenti sia al dominio vulcanico vicano sia a quello sabatino, si presentano generalmente in *facies* litoide. Tale complesso affiora diffusamente su tutta l'area, anche con spessori di alcune decine di metri. Per vastità, continuità e potenza, costituisce il principale acquifero dell'area.

La permeabilità del complesso è da ritenersi nell'insieme media, anche se in alcune aree, dove sono avvenuti processi di zeolitizzazione, essa risulta fortemente ridotta.

Complesso delle lave e dei conoidi di scorie (Pleistocene medio - superiore).

Appartengono a questo complesso le lave e i coni di scorie associati alle attività degli apparati vulcanici vicani e sabatini. A causa delle modalità di messa in posto, tali depositi non presentano una continuità areale significativa. In conseguenza di ciò, pur ospitando acquiferi di una certa importanza, non influenzano la circolazione idrica regionale.

La permeabilità del complesso è alta.

Complesso dei depositi di ricaduta (Pleistocene medio - superiore).

Il complesso è costituito da prodotti di ricaduta derivanti dagli apparati vulcanici vicani e sabatini. Possono includere livelli mal classati e livelli caotici di lapilli e bombe, con a luoghi livelli di lava e livelli sabbioso lapillosi intercalati con livelli cineritico pomicei. È prevalentemente diffuso nel settore meridionale e orientale dell'area e influenza la ricarica degli acquiferi sottostanti, mantenendo bassa l'infiltrazione.

La permeabilità del complesso è scarsa.

Complesso delle sabbie e dei conglomerati (Pleistocene).

Appartengono a questo complesso le sabbie gialle pleistoceniche con lenti conglomeratiche e i conglomerati lacustri di Civita Castellana, a scarsa

matrice sabbiosa. Il complesso è molto più esteso di quanto desumibile dagli affioramenti. Lo spessore raggiunge alcune decine di metri nel settore di Civita Castellana. Dal punto di vista idrogeologico, esso costituisce un importante acquifero anche a scala regionale.

La permeabilità del complesso è alta.

3.4. - PROFILI IDROGEOLOGICI

Nel corso di questo studio sono stati realizzati alcuni profili idrogeologici a diversa scala, con lo scopo di illustrare la circolazione della falda basale a scala regionale e l'influenza che l'andamento del substrato a bassa permeabilità può avere sulle direttrici di flusso a scala locale. Dai profili appare inoltre come gli spessori della zona satura siano diversi nei vari settori.

Profilo idrogeologico 1 (fig. 7) - La sua traccia segue il profilo longitudinale del Rio Maggiore ed è orientata all'incirca da est ad ovest. I materiali vulcanici vengono riportati come unico complesso. In realtà, nel settore occidentale prevalgono domi, laccoliti e lave e nel settore orientale ignimbriti e prodotti di ricaduta. Verso ovest, verso la caldera vicina,

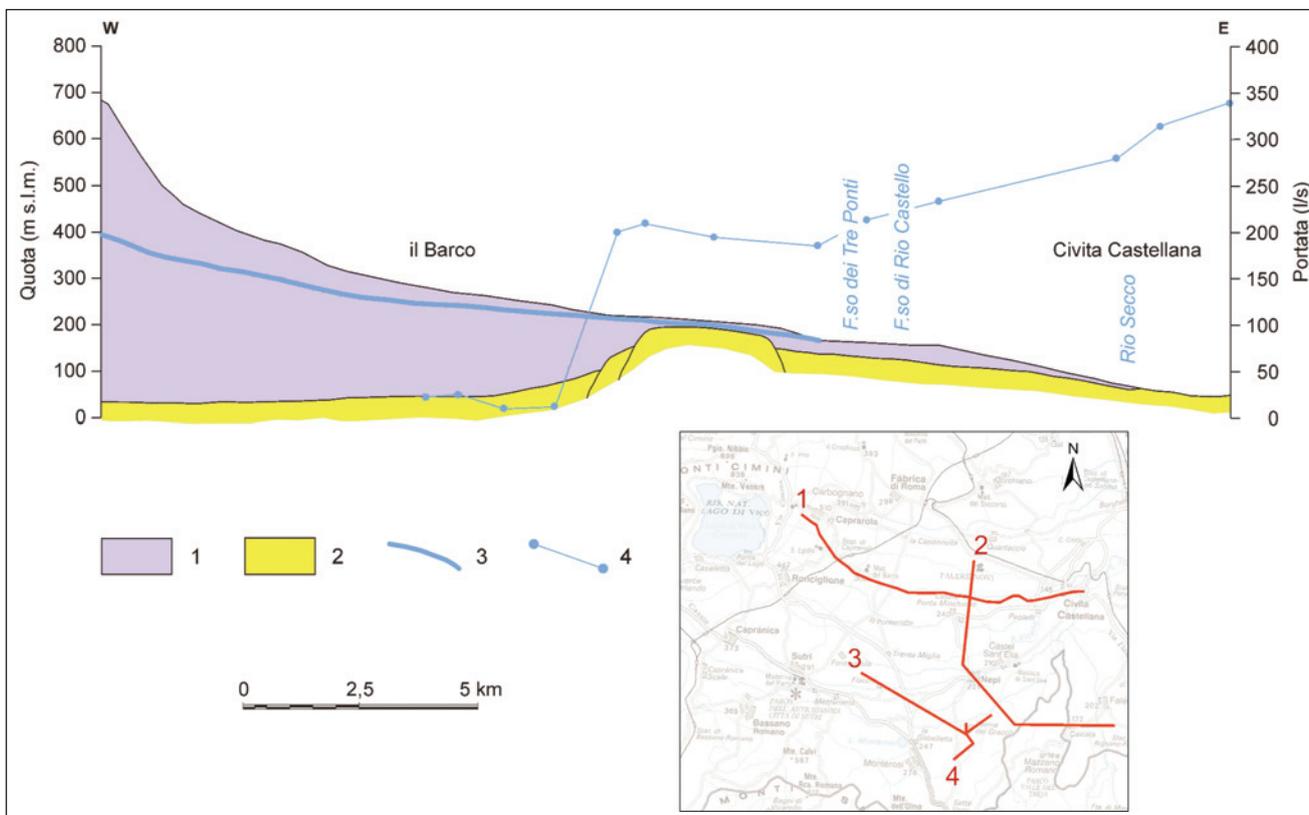


Fig. 7 - Profilo idrogeologico 1 (sezione longitudinale del Rio Maggiore con andamento dei valori di portata rilevati in alveo) con ubicazione anche dei profili idrogeologici 2, 3 e 4. Legenda: 1) Vulcaniti indifferenziate; 2) Substrato sedimentario a bassa permeabilità; 3) Linea piezometrica; 4) Valori di portata rilevati alle stazioni di misura (da BONI et alii, 1992). Nel riquadro sono riportate le tracce dei profili idrogeologici delle figure da 7 a 10.

- Hydrogeologic section n.1 (along the Rio Maggiore trend, stream gauging measurement values are shown). Legend: 1) Undifferentiated volcanic rocks; 2) Low permeability sedimentary bedrock; 3) piezometric line; 4) Discharge values measured at the control stations (from BONI et alii, 1992). The inset map shows the location of the hydrogeologic sections of figures 7 to 10.

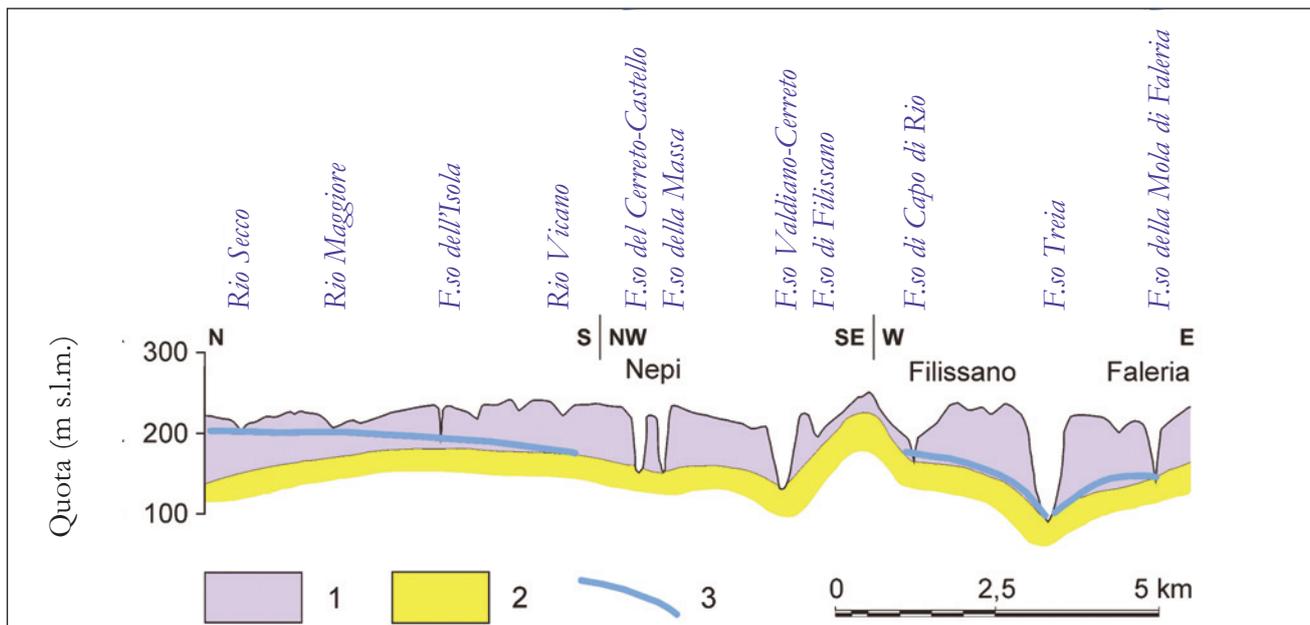


Fig. 8 - Profilo idrogeologico 2. Per l'ubicazione vedi figura 7. Legenda: 1) Vulcaniti indifferenziate; 2) Substrato sedimentario a bassa permeabilità; 3) Linea piezometrica (da BONI *et alii*, 1992).

- Hydrogeologic section n. 2. Legend: 1) Undifferentiated volcanic rocks; 2) Low permeability sedimentary bedrock; 3) piezometric line (from BONI *et alii*, 1992).

il substrato a bassa permeabilità si deprime, mentre verso est esso presenta un'estesa culminazione, che determina l'esistenza di sorgenti di trabocco in alveo e, quindi, procedendo verso valle, la progressiva crescita delle portate. Lo spessore della falda, che nel settore occidentale del bacino è di diverse centinaia di metri, va progressivamente riducendosi verso est.

Profilo idrogeologico 2 (fig. 8) – Questo profilo ha un andamento NS e la sua orientazione è ortogonale alla direttrice prevalente della circolazione. La sezione mostra bene come gli alvei abbiano inciso i complessi vulcanici, raggiungendo spesso il substrato a bassa permeabilità.

Quest'ultimo presenta una morfologia molto movimentata, la cui ricostruzione è stata eseguita utilizzando dati provenienti da sondaggi meccanici, prospezioni geofisiche e rilevamenti interni agli alvei. Nel profilo appare inoltre evidente il ruolo di spartiacque ricoperto dall'alto di Filissano.

Profilo idrogeologico 3 (fig. 9). Unitamente al profilo idrogeologico 4, è stato realizzato utilizzando i dati della Carta Geologica in scala 1:10.000 definita dagli autori, delle stratigrafie di pozzi per captazione d'acqua, di 2 pozzi Enel e di rilievi geoelettrici effettuati per ricerca idrica privata e ricerca geotermica.

Il profilo idrogeologico 3 ha lo scopo di evidenziare l'assetto geologico dell'area di ricarica lungo la linea di drenaggio principale, che alimenta il settore del Torrente Cerreto nella zona di confluenza del Fosso dei Ronci. In quest'area, il profilo mantiene un dettaglio stratigrafico elevato. Oltre

il Fosso Valdiano, procedendo verso NE, la definizione dell'assetto stratigrafico diviene schematica e ricostruisce essenzialmente i rapporti tra *aquiclude* e acquifero. Nel profilo sono riportate delle linee tettoniche ubicate ipoteticamente in corrispondenza dell'emergenza di convogli gassosi che risalgono da livelli profondi e che intercettano la falda basale determinando delle mineralizzazioni localizzate. Dal profilo è possibile osservare come la tettonica pleistocenica abbia ribassato il substrato sedimentario verso il *graben* del Tevere. Successivamente, nelle depressioni e sui margini dei rilievi *flyschoidi*, si è deposta una serie essenzialmente argilloso-sabbiosa, con livelli grossolani alla base e al tetto.

Profilo idrogeologico 4 (fig. 10). Il grande dettaglio di questa sezione è dovuto alla presenza di perforazioni di ricerca mineraria, integrate da prospezioni geoelettriche e rilevamenti di superficie. Il profilo conferma l'esistenza di un alto del substrato nella zona dell'Umiltà e il ribassamento di questo, per cause tettoniche, verso sud. Le lave sono presenti in più livelli e provengono da diversi centri di emissione. I "Tufo varicolori di Sacrofano", che ospitano l'acquifero che alimenta la Sorgente dei Gracchi ed in parte anche le emergenze presenti nel Fosso Cerreto, sono stati probabilmente erosi prima della messa in posto della colata ignimbratica vicana, denominata Tufo rosso a scorie nere. La falda regionale, che ha un deflusso proveniente genericamente da ovest, è ospitata essenzialmente in questa colata ignimbratica e nelle lave. La lettura dei profili offre

una visione tridimensionale che evidenzia come la circolazione delle acque sotterranee risenta del tetto dei depositi a bassa permeabilità. Alla presenza dell'alto dell'Umiltà e di Filissano sono da imputare le emergenze presenti sulle rive dei Fossi Cerreto e Ronci, nonché nei subalvei dei due corsi d'acqua.

3.5. - DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO

In relazione alle analisi idrogeologiche è d'obbligo affrontare la definizione di bilancio tra i volumi in entrata e in uscita dal bacino di riferimento. In questa nota, più che definire un bilancio per un

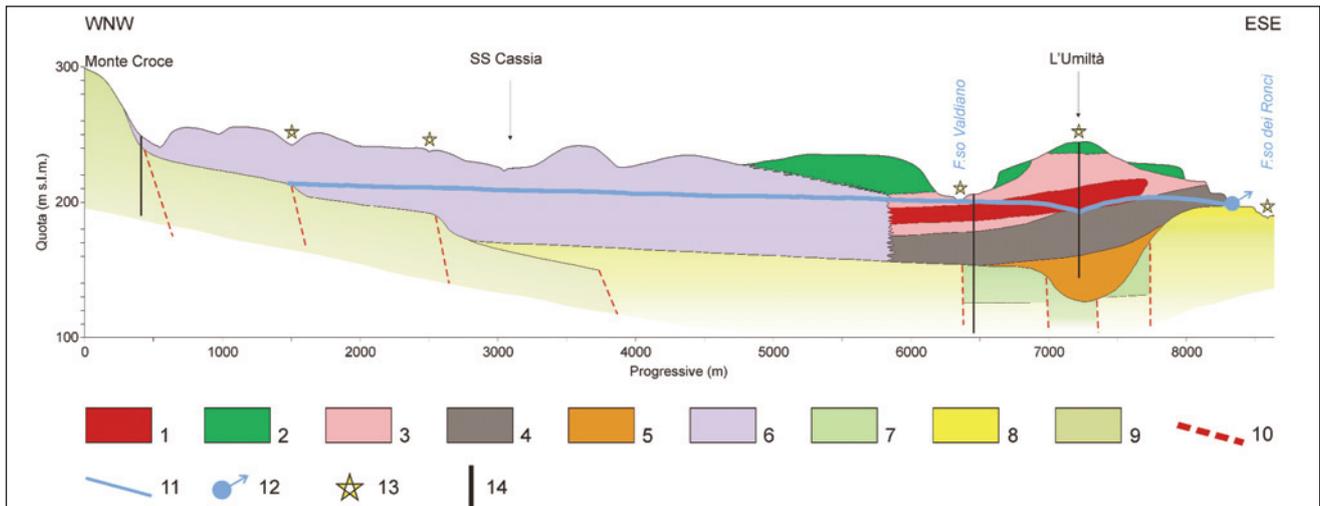


Fig. 9 - Profilo idrogeologico 3. Per l'ubicazione vedi figura 7. Legenda: 1 - Lava leucitica grigio scura; 2 - Terza ignimbrite vicana tefritico-fonolitica a matrice cineritica o micropomicea; 3 - Tufi de "La Storta". Sequenza di depositi stromboliani con piroclastiti intercalate. È presente un livello cineritico grigio; 4 - Tufo Rosso a Scorie Nere più o meno fratturato; 5 - Tufi Varicolori di Sacrofano. Alternanza di depositi stromboliani costituiti da scorie centrimetriche e da depositi a granulometria sabbioso cineritica debolmente coesivi di colore lionato o marrone; 6 - Depositi vulcanici indifferenziati; 7 - Argille sabbiose e sabbie argillose; 8 - Argille grigio azzurre marine; 9 - Flysch tolfetani; 10 - Faglia presunta; 11 - Traccia della superficie piezometrica; 12 - Sorgente dei Gracchi; 13 - Emergenza di gas; 14 - Pozzo o perforazione (da CAPELLI *et alii*, 2005b, modificato).

- Hydrogeologic section n.3. Legend: 1) Dark-grey leucitic lava; 2) Tephritic-phonolitic with cineritic or micropumiceous matrix: Vicin Ignimbrite III; 3) "La Storta" tuffs. Strombolian deposit sequence with intercalated pyroclastic rocks. A grey cineritic layer also occurs; 4) Partially fractured red tuff with black scoria; 5) Varicoloured Sacrofano tuffs. Alternating strombolian deposits composed of centimetric grain-sized scoria and sandy-cineritic grain-sized deposits slightly cohesive, yellowish or brown in colour; 6) Undifferentiated volcanic deposits; 7) Sandy clays and clayey sands; 8) Marine grey-blue clays; 9) Tolfa flysch; 10) Supposed fault; 11) Outline of the piezometric surface; 12) Gracchi Spring; 13) Gas emission; 14) Well or drilling (modified from CAPELLI *et alii*, 2005).

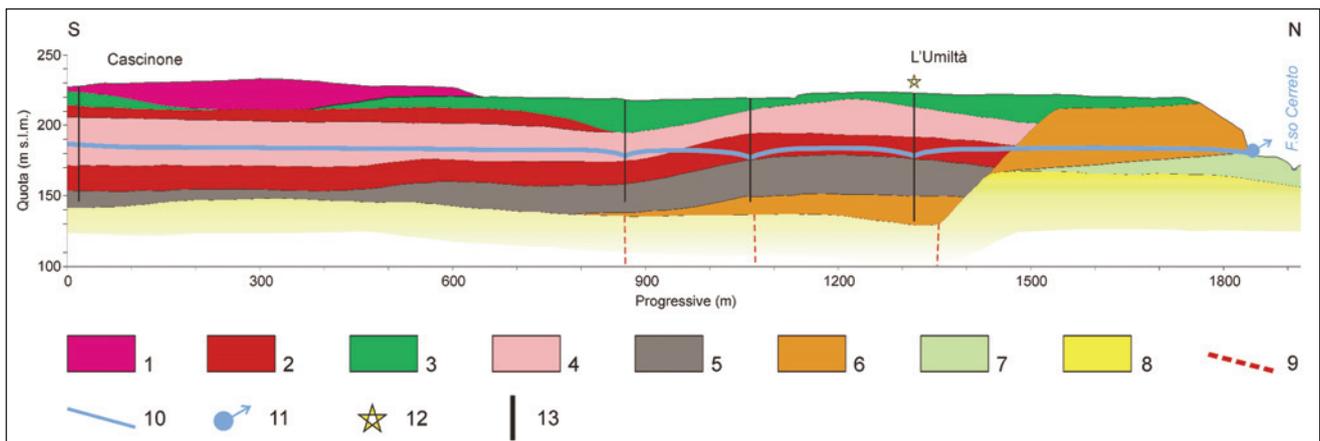


Fig. 10 - Profilo idrogeologico 4. Per l'ubicazione vedi figura 7. Legenda: 1 - Espandimento lavico di Monterosi; 2 - Lava leucitica grigio scura; 3 - Terza ignimbrite vicana tefritico-fonolitica a matrice cineritica o micropomicea; 4 - Tufi de "La Storta". Sequenza di depositi stromboliani con piroclastiti intercalate. È presente un livello cineritico grigio; 5 - Tufo Rosso a Scorie Nere più o meno fratturato; 6 - Tufi Varicolori di Sacrofano. Alternanza di depositi stromboliani costituiti da scorie centrimetriche e da depositi a granulometria sabbioso cineritica debolmente coesivi di colore lionato o marrone; 7 - Argille sabbiose e sabbie argillose; 8 - Argille grigio azzurre marine; 9 - Faglia presunta; 10 - Traccia della superficie piezometrica; 11 - Sorgente dei Gracchi; 12 - Emergenza di gas; 13 - Pozzo o perforazione (da CAPELLI *et alii*, 2005b, modificato).

- Hydrogeologic section n.4. Legend: 1) Monterosi plateau lava; 2) Dark-grey leucitic lava; 3) Tephritic-phonolitic with cineritic or micropumiceous matrix: Vicin Ignimbrite III; 4) "La Storta" tuffs. Strombolian deposit sequence with intercalated pyroclastic rocks. A grey cineritic layer also occurs; 5) Partially fractured red tuff with black scoria; 6) Varicoloured Sacrofano tuffs. Alternating strombolian deposits composed of centimetric grain-sized scoria and sandy-cineritic grain-sized deposits slightly cohesive, yellowish or brown in colour; 7) Sandy clays and clayey sands; 8) Marine grey-blue clays; 9) Supposed fault; 10) Outline of the piezometric surface; 11) Gracchi Spring; 12) Gas emission; 13) Well or drilling (modified from CAPELLI *et alii*, 2005).

periodo definito, si richiamano alcuni elementi di metodo per la definizione dei parametri stessi, seppur con specifico riferimento all'area in studio.

3.5.1. - *Caratteristiche climatiche*

I fattori meteo-climatici, con la loro variabilità, costituiscono i parametri di maggior peso nello studio della valutazione della ricarica naturale degli acquiferi. Pertanto il presente lavoro si avvale anche di analisi delle variazioni climatiche in corso e dei cicli di variazione della piovosità e delle temperature, reperibili nella letteratura scientifica specialistica recente (ORTOLANI & PAGLIUCA, 1996; DRAGONI & VALIGI, 2000; DRAGONI *et alii*, 2003). È opportuno ricordare che, in accordo con quanto osservato dagli autori nel bacino del Mediterraneo, i dati termometrici e pluviometrici registrati dalle stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, utilizzati per lo studio degli acquiferi vulcanici, evidenziano, nel periodo compreso tra il 1980 e il 2000, una tendenza all'aumento delle temperature medie annue e alla diminuzione delle precipitazioni annue (150-200 mm in 20 anni). Per quanto riguarda le precipitazioni, se si confrontano i valori cumulati per le diverse stagioni, il calo risulta concentrato nei mesi invernali. Di conseguenza, l'impatto del calo delle precipitazioni sull'infiltrazione efficace non è proporzionale ai valori medi annui, ma dipende dalla combinazione dei fattori stagionali. Per esempio, la riduzione delle precipitazioni invernali riduce l'apporto idrico nel periodo in cui l'evapotraspirazione è minima, introducendo così una perdita netta di infiltrazione efficace. Al contrario la disponibilità idrica nei mesi più caldi si traduce in un incremento delle perdite per evapotraspirazione. Analogamente, per le temperature le maggiori variazioni si rilevano nei mesi primaverili, proprio quando l'evapotraspirazione raggiunge i massimi valori.

3.5.1.1. - Distribuzione delle precipitazioni mensili, delle temperature massime e minime, nel periodo 1997-2001 relativamente al dominio vulcanico laziale

La ricostruzione della distribuzione dei parametri considerati (figg. 11, 12, 13) è stata effettuata mediante l'impiego delle metodologie geostatistiche che si caratterizzano per far intervenire nell'algoritmo di stima, opportunamente modellizzata, la variabilità spaziale dei fenomeni coinvolti. La ricostruzione utilizzata in questo studio ha riguardato le precipitazioni mensili e le temperature massime e minime sul periodo 1997-2001 per un totale di 240 mappe, ognuna costituita da circa 500.000 celle quadrate di 250 metri di lato, e riferita, nella sua formulazione originaria (RASPÀ, 2005), ad una

superficie totale di circa 6500 km², dalla quale è stato estratto il settore di interesse per lo studio in oggetto. In relazione all'elevato numero di mappe in gioco, la ricostruzione è stata effettuata con procedura automatizzata. L'aver a che fare con parametri che presentano un'elevata variabilità tra loro e tra diversi mesi, ha indotto a scegliere modelli di variabilità spaziale più generali e nel contempo, per le necessità operative sopra evocate, adatti ad essere attribuiti automaticamente. La metodologia di stima che utilizza questo tipo di modelli è il *Kriging in FAI-K*. Inoltre, poiché la temperatura a terra e, in minor misura, anche le precipitazioni sono correlate alla quota del terreno, il coinvolgimento del DEM nella operazione di stima può, nella misura in cui tale correlazione si esplica, apportare un miglioramento all'accuratezza della stima. Il *Kriging in FAI-K* integra nell'algoritmo di stima la variabile ausiliaria e la corrispondente versione del metodo è nota come il *Kriging in FAI-K* con deriva esterna.

La procedura automatica di stima, attivata per l'elaborazione di ciascuna mappa, consta delle seguenti operazioni:

- interpolazione con il criterio dei minimi quadrati dei polinomi di grado 0, 1 e 2 (che filtrano anche la deriva esterna quando presente) su opportuni domini interni dell'area di lavoro e calcolo dei residui corrispondenti;
- calcolo, per ognuno dei tre casi, dei ranghi medi su tutti i residui e individuazione del grado corrispondente ai ranghi medi più piccoli. Il grado trovato costituisce l'ordine *K* della FAI (Funzione Aleatoria Intrinseca);
- identificazione, mediante regressione sui coefficienti, di tutte le Covarianze Generalizzate (CG) polinomiali compatibili con il grado della FAI ottenuto;
- ripetizione delle tre operazioni precedenti per domini costituiti da un numero di punti campionati da 6 a 32;
- cross-validazione con tutte le funzioni CG ottenute e individuazione della CG con cui si ottengono i migliori risultati, valutati in base ad un parametro che tiene conto in maniera contestuale o specifica di diversi elementi: deviazione *standard* degli errori di cross-validazione; deviazione *standard* degli errori di cross-validazione standardizzati; pendenza della retta di regressione tra valori misurati e valori stimati;
- *Kriging* del parametro corrente su tutte le celle del campo con la CG individuata.

3.5.2. - *Evapotraspirazione*

Nel presente lavoro è stato adottato il metodo di classificazione di Thornthwaite (1948) che, tramite l'ausilio dei valori delle precipitazioni, delle temperature e di una serie di tabelle di correlazio-

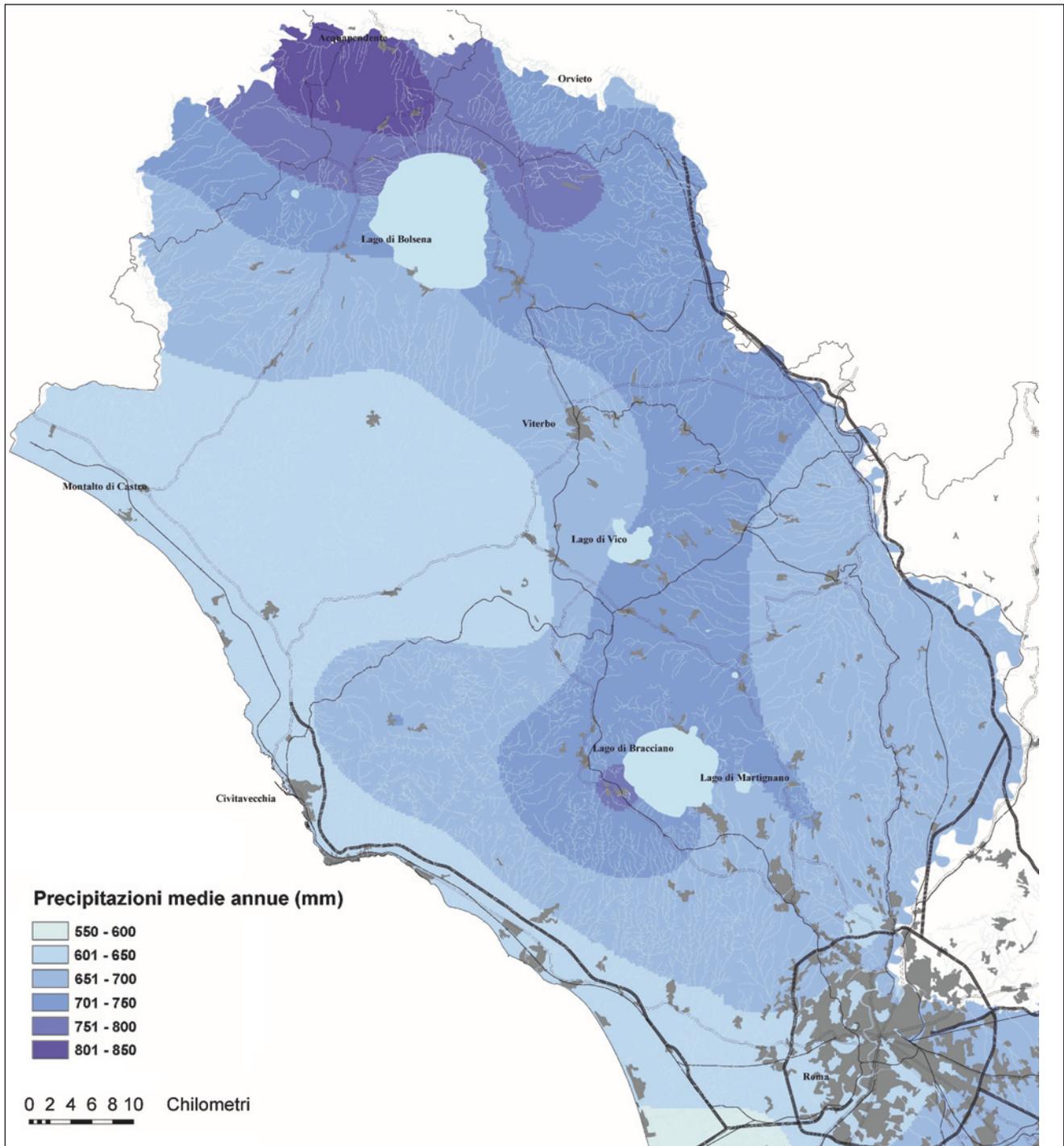


Fig. 11 - Carta della distribuzione dei valori medi delle precipitazioni annue nel periodo 1997-2001 (da CAPELLI *et alii*, 2005b).
 - Mean values of the annual rainfall distribution map during 1997-2001 (from CAPELLI *et alii*, 2005b).

ne, consente il calcolo di alcuni parametri indispensabili per definire la tipologia di clima.

Il metodo di Thornthwaite prevede il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale media mensile (Epi) basandosi sulla relazione che esiste tra questa e la temperatura media mensile: $Epi = k \left[1.6 \left(\frac{10T}{T} \right)^a \right]$

dove:

Epi = Evapotraspirazione potenziale media mensile in cm;

k = coefficiente di correlazione di latitudine riferito al mese i^{mo} , pari al rapporto tra le ore diurne e la metà ($n^{\circ}12$) delle ore giornaliere;

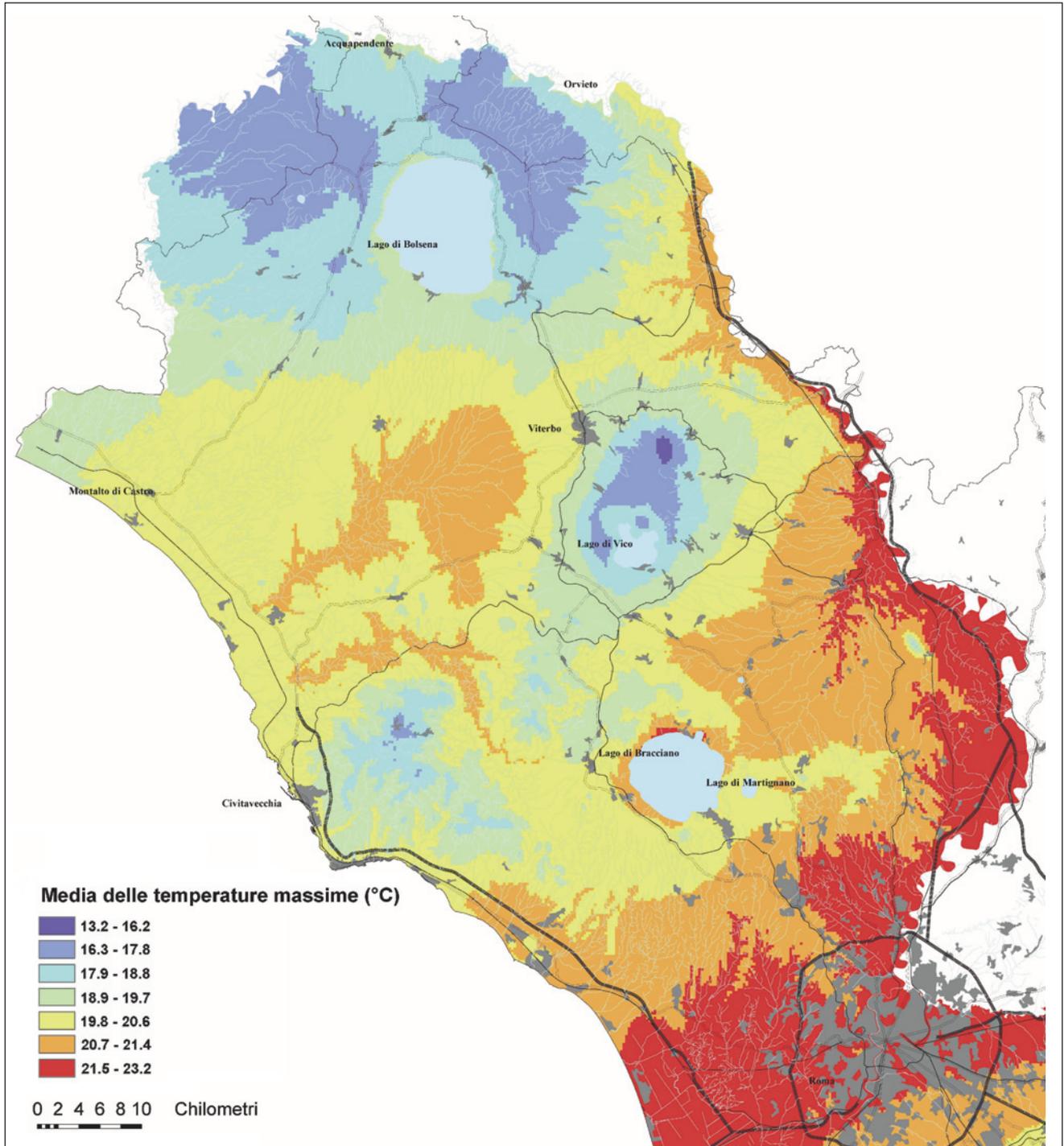


Fig. 12 - Carta della distribuzione dei valori medi annui delle temperature massime nel periodo 1997-2001 (da CAPELLI *et alii*, 2005b).
 - Annual mean values of the atmospheric temperature distribution map during 1997-2001 (from CAPELLI *et alii*, 2005b).

T_i = Temperatura media dell'aria riferita al mese i^{mo} in °C;
 a = funzione cubica dell'indice annuale di calore pari a:
 $0,49239 + (1,792 \cdot 10^{-5} \cdot I) - (771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2) + (675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3)$;

I = Indice annuo di calore, pari alla sommatoria degli indici di calore mensili " i " dei dodici mesi dell'anno.

Applicando la metodologia prevista dall'autore si arriva alla definizione dei valori riportati nella tabella di figura 14.

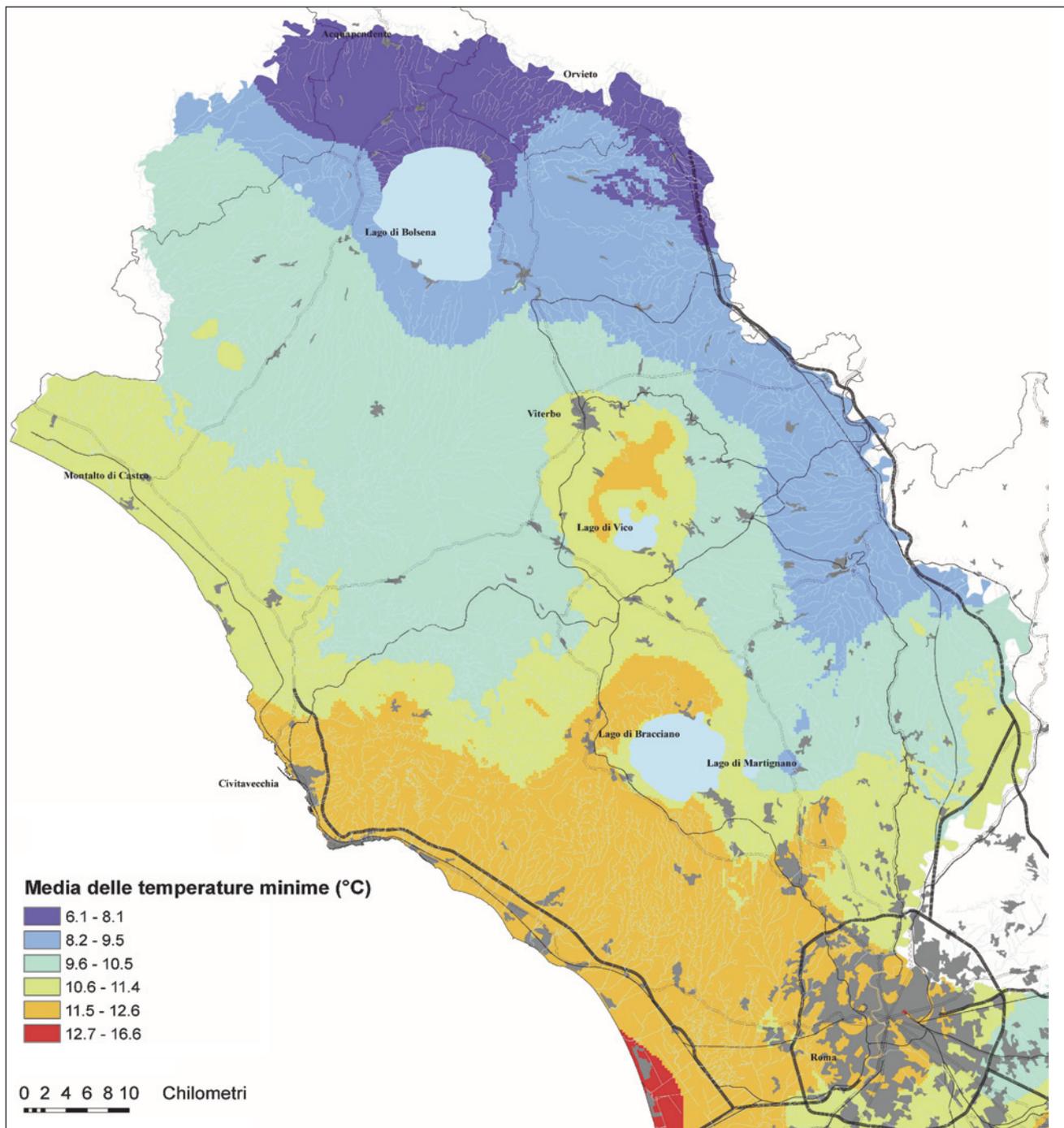


Fig. 13 - Carta della distribuzione dei valori medi annui delle temperature minime nel periodo 1997-2001 (da CAPELLI *et alii*, 2005b).
 - Annual mean values of the minimum atmospheric temperature distribution map during 1997-2001 (from CAPELLI *et alii*, 2005b).

Con tale metodo per l'area di studio è stato definito un clima secco umido, secondo mesotermale e con una deficienza di acqua abbastanza larga in estate.

3.5.3. - Definizione dei valori di infiltrazione e ruscellamento a partire dalle portate del Fiume Treia

Dal 1964 esiste la stazione idrometrografica di

Civita Castellana installata sul Fiume Treia a km 4,6 dalla confluenza con il Tevere ed alla quota di circa 40 m s.l.m. Questa stazione è l'unica in Italia che sottende un bacino idrografico inciso per il 95% del suo territorio su formazioni vulcaniche. Purtroppo la stazione ha avuto un funzionamento assai discontinuo nel tempo per i periodi 1964-1968; 1970-1980 e 1994-1998.

Sulla base dei dati giornalieri registrati nel

	Stagione umida							Stagione secca					Anno
	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	
Temp. media (°C)	16,4	11,7	8,5	7,6	8,3	10,2	12,4	16,8	20,4	23,8	23,9	20,1	15,0
Ind. di calore: "T" e "T"	6,04	3,62	2,23	1,89	2,15	2,94	3,96	6,26	8,41	10,62	10,68	8,22	67,02
Epi (cm)	6,61	3,66	2,25	1,87	2,20	3,06	4,01	6,71	9,00	11,05	11,09	8,95	70,46
K	0,95	0,82	0,79	0,82	0,83	10,30	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	
Epi (mm)	62,80	30,00	17,80	15,30	18,30	31,50	44,90	84,50	114,30	141,40	132,00	93,10	785,90
Precip. P (mm)	134,55	158,06	131,15	98,13	101,39	88,54	84,51	70,36	46,75	22,40	38,24	89,04	1063,12
Precip. utili "Pu" (mm)	71,75	128,06	113,35	82,83	83,10	57,04	39,60	-14,14	-67,55	-119,00	-93,76	-4,06	277,22
Riserve idriche invasate (mm)	71,75	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00	95,86	28,31	0	0	0	
Variaz. delle riser. idriche invas. (mm)	71,75	38,25	0	0	0	0	0	-14,14	-67,55	-28,31	0	0	
Evapotraspirazione reale (mm)	62,80	30,00	17,80	15,30	18,30	31,50	44,90	84,50	114,30	50,71	38,24	89,04	598,39
Eccedenza idrica	0,00	89,81	113,35	82,83	83,10	57,04	39,60						465,73
Deficit idrico								0	0	90,69	93,76	4,06	188,51
Rapp. di umidità "Ru"	1,14	4,26	6,36	5,41	4,54	1,81	0,88	-0,16	-0,59	-0,84	-0,71	-0,04	0,35

Fig. 14 - Tabella dei valori di evapotraspirazione potenziale e reale calcolati con il metodo di Thornthwaite in un anno idrologico medio.
- Potential and actual evapotranspiration values calculated by the Thornthwaite method during a mean hydrologic year.

Fiume Treia si possono fare delle importanti considerazioni. La portata media è risultata pari a 4.8 m³/s, quella minima (1.54 m³/s) è stata registrata nei mesi di luglio e agosto del 1975, mentre il 18 novembre dello stesso anno è stato rilevato il valore più elevato (128 m³/s). A tal proposito è molto importante notare che negli anni 1975, 1976, 1977 e 1979 si sono verificati dei funzionamenti anomali della stazione di rilevamento, dovuti ad un probabile guasto del segnalatore di livello, i quali potrebbero aver causato degli errori indesiderati nella registrazione del dato.

Per determinare il flusso di base, espressione della infiltrazione efficace, disponendo dei dati di livello-portata rilevati alla stazione terminale del bacino, posta a Civita Castellana si è fatto riferimento al "metodo delle portate mensili caratteristiche" (BONI *et alii*, 1993), che consente di identificare e valutare le due principali componenti della portata: il "ruscellamento", alimentato dal rapido processo di scorrimento delle acque meteoriche sulla superficie dei bacini ed il "flusso di base", alimentato dal lento movimento delle acque sotterranee. Per acque sotterranee si intendono quelle erogate dalle sorgenti puntuali e quelle che si versano direttamente negli alvei dei corsi d'acqua, erogate dalle sorgenti lineari (BONI *et alii*, 1986).

Questo metodo intende fornire una valutazione del ruscellamento e del flusso di base attendibile e significativa, ma certamente affetta da un errore non inferiore a quello che si commette nella determinazione degli altri parametri idrologici e che, nei casi più favorevoli, non è mai inferiore al 5%. Nel caso specifico si aggiunge l'oggettiva difficoltà di valutare l'entità di due variabili molto simili, sovrapposte e con contorni non sempre ben definiti, perché mascherati da una componente "ipodermica", caratterizzata da un regime di flusso intermedio tra quelli delle due componenti

principali. Il metodo adottato per suddividere il flusso di base dal ruscellamento si fonda sul principio elementare che, quando si esaurisce il ruscellamento, l'intera portata del corso d'acqua viene alimentata da acque sotterranee riferibili alla somma del flusso di base e del flusso ipodermico. Per ottenere risultati attendibili è necessario valutare l'entità della portata nel momento in cui cessa il ruscellamento. Ogni sezione di misura è caratterizzata da un "tempo di corrivazione" che corrisponde al tempo che le acque di afflusso meteorico impiegano per raggiungere la sezione considerata, partendo dai punti più lontani del bacino (CIABATTI, 1982). Il concetto di tempo di corrivazione, evidentemente teorico e per molti versi criticabile, ha tuttavia il pregio di definire un parametro temporale entro il quale dovrebbe esaurirsi il processo di ruscellamento nella porzione di bacino posta a monte della sezione considerata. La sua durata dipende da diverse variabili quali la natura dei terreni e dei suoli, la morfologia, lo sviluppo del reticolo, la forma del bacino, la pendenza dell'alveo, lo sviluppo della vegetazione e soprattutto la portata del corso d'acqua, che è molto variabile in relazione alla durata e all'intensità della precipitazione. Con le vecchie formule empiriche di PASINI (1910) e di GIANDOTTI (1937), per il bacino del Tevere a Roma si ottengono valori del tempo di corrivazione variabili da pochi giorni a circa due settimane. Ovviamente tutte le altre sezioni del bacino hanno tempi di corrivazione teorici inferiori. Si ammette quindi implicitamente che il processo di ruscellamento si esaurisca, almeno teoricamente, una quindicina di giorni dopo la fine dell'ultima pioggia significativa. In altri termini, quando non si verificano piogge sufficientemente estese, intense e prolungate per un periodo superiore al tempo reale di corrivazione, tutta l'acqua che attraversa la sezione considerata

dovrebbe provenire dal sottosuolo o da bacini lacustri, naturali o artificiali, capaci di modulare il deflusso superficiale.

Nel clima dell'Italia centrale periodi di aridità di 15-30 giorni, certamente superiori al tempo di corrivazione reale, ricorrono in ogni stagione e in ogni mese dell'anno. Risulta quindi possibile determinare, almeno teoricamente, la portata delle acque sotterranee in ogni mese a condizione di identificare i momenti più favorevoli che cadono alla fine dei periodi aridi più prolungati, quando si è completamente esaurito il ruscellamento.

Il "metodo delle portate mensili caratteristiche" consiste nel selezionare e mettere a confronto, per ogni mese, due valori medi e due valori estremi della portata, desunti dai dati giornalieri rilevati in una stazione di misura delle portate che abbia operato per diversi anni (non è invece necessaria la conoscenza del regime delle precipitazioni, che possono tuttavia essere utilmente messe a confronto con il regime delle portate, quando si procede alla selezione dei valori estremi). I valori selezionati vengono tabulati e riportati su un grafico mensile dove è possibile identificare quattro linee caratteristiche che delimitano tre campi sovrapposti: quello superiore viene attribuito al ruscellamento, quello inferiore al flusso di base, mentre quello intermedio resta un campo indeterminato (fig. 15). Almeno nei casi più favorevoli, può essere riconosciuta anche l'origine del flusso relativo al campo indeterminato.

Una descrizione del "metodo delle portate mensili caratteristiche" e l'illustrazione di come si pervenga alla valutazione del ruscellamento e del flusso di base viene presentata con specifico riferimento alle immagini e ai dati riportati in figura 15, specificamente riferita al bacino del fiume Treia. Per una descrizione esaustiva del metodo delle portate mensili caratteristiche si rimanda alla bibliografia citata (BONI *et alii*, 1993).

A (fig. 15a): "media delle portate mensili". Rappresenta il deflusso medio di ciascun mese pari al valore medio della somma del flusso di base, del ruscellamento e di ogni altro apporto che alimenta la portata del fiume. Nel corso dell'anno, le portate oscillano notevolmente tra valori massimi, corrispondenti alle stagioni più piovose e valori minimi, caratteristici dei mesi più aridi.

B (fig. 15a): "media delle portate giornaliere minime". Questi valori sono certamente espressione significativa del flusso di base nei periodi di scarse precipitazioni, corrispondenti in Italia centrale alla stagione estiva, quando il ruscellamento è ridotto a valori trascurabili. In questo periodo, infatti, l'intervallo di tempo che separa due precipitazioni significative consecutive è

generalmente nettamente superiore al tempo di corrivazione. La "portata giornaliera minima" può essere invece sensibilmente influenzata dal ruscellamento nelle stagioni più piovose quando l'intervallo tra due piogge significative è generalmente inferiore al tempo di corrivazione. La linea B delimita il campo che questo metodo attribuisce alle "portate di magra ordinaria" di ciascun mese, corrispondenti alla somma del flusso di base calcolato e del campo indeterminato. I valori della linea B esprimono quindi, con buona approssimazione, la portata media del flusso di base dei mesi estivi, mentre nei mesi invernali i valori di B comprendono certamente una frazione imprecisata di ruscellamento. Si può comunque ritenere che il campo compreso tra le linee A e B corrisponda al valore medio di aliquote di portata certamente riferibili al ruscellamento in tutti i mesi dell'anno (ruscellamento calcolato). Questo valore corrisponde al ruscellamento reale nei periodi aridi e ne fornisce una valutazione per difetto nei periodi piovosi.

C (fig. 15a): "minima delle portate mensili". Questo valore estremo può essere considerato rappresentativo del flusso di base, perché presumibilmente rilevato in un periodo durante il quale il corso d'acqua non è stato alimentato dal ruscellamento. Si assume, infatti, che, su un periodo di osservazione sufficientemente lungo, si sia sempre verificato almeno un caso di aridità superiore a 30-45 giorni che precede la fine di ogni mese. La linea C delimita quindi il campo di portata che il metodo considera come valore attendibile del flusso di base (flusso di base calcolato).

Tra la linea B e la linea C si individua un "campo indeterminato", che il metodo di scomposizione utilizzato non attribuisce né al ruscellamento né al flusso di base. Il campo indeterminato comprende certamente l'intera portata del "flusso ipodermico", un'aliquota imprecisata di ruscellamento nei mesi più piovosi e un'aliquota del flusso di base nei mesi più aridi.

D (fig. 15a): "minima delle portate giornaliere". Si tratta dei valori minimi assoluti di portata giornaliera registrati in tutto il periodo di osservazione. I minimi assoluti sono significativi solo per le stazioni nelle quali il flusso di base non sia stato alterato da regimazioni artificiali o da prelievi. Questi valori vengono ritenuti rappresentativi del flusso di base minimo rilevato nelle condizioni di magra più estreme verificatesi nel periodo considerato.

Il campo compreso tra i valori minimi assoluti (linea D) e le medie delle portate giornaliere minime (linea B), è indicativo della variabilità, su lungo periodo, del flusso di base nei mesi estivi. Nei

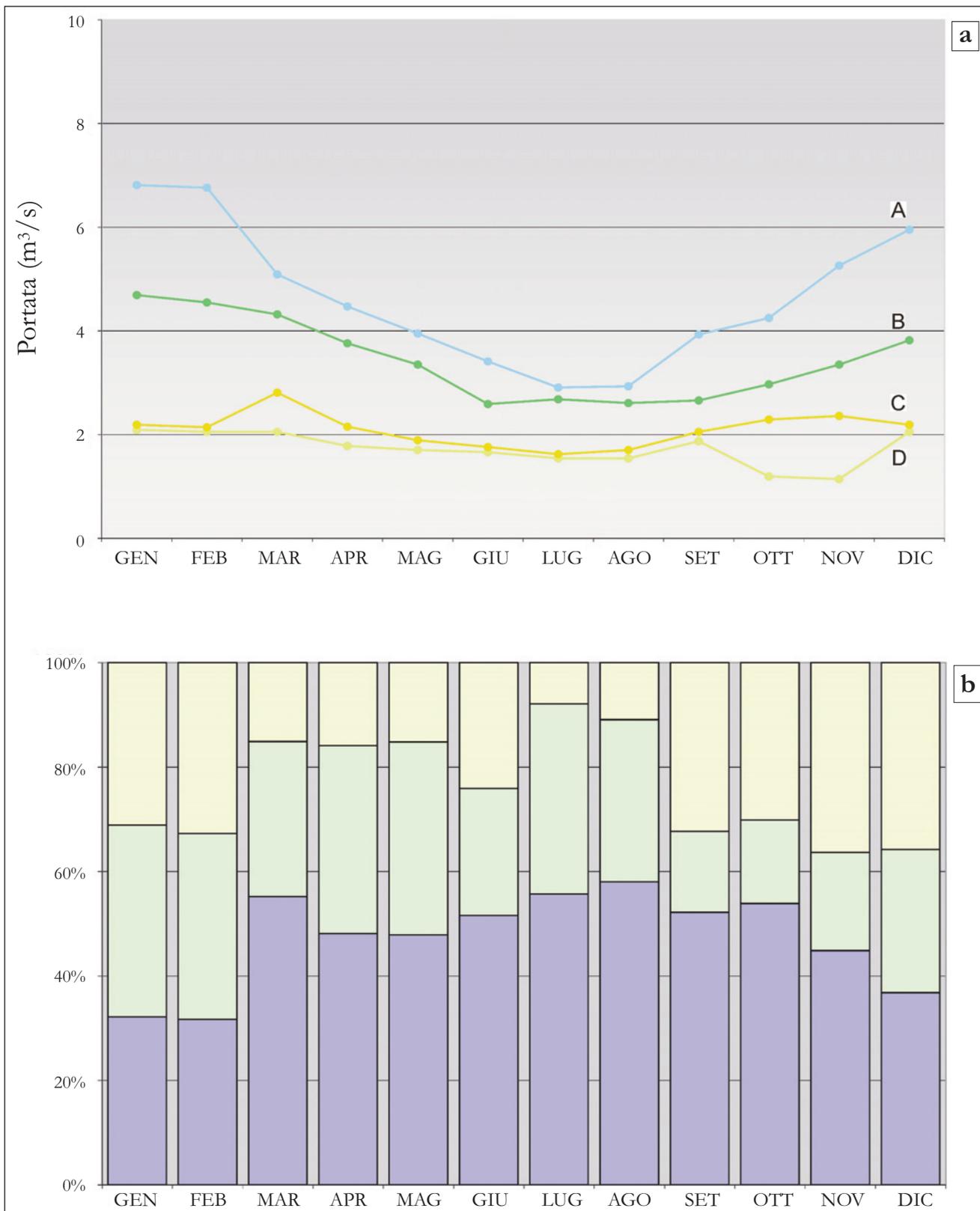


Fig. 15 - Idrogrammi mensili della stazione idrometrica del Fiume Treia a Civita Castellana (periodo 1964-68 e 1970-80). Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate: A - la media delle portate mensili; B - la media delle portate giornaliere minime; in C la minima delle portate mensili; in D la minima delle portate giornaliere (a). Nell'istogramma (b) vengono riportate le percentuali del ruscellamento in giallo, del flusso di base in azzurro e del campo indeterminato in verde (da BONI et alii, 1993, ridisegnato).

- Monthly hydrograms of the Treia River at Civita Castellana (1964-68 and 1970-80). Within the specified period, for each month, the mean monthly (A), the mean minimum daily (B), the minimum monthly (C) and the minimum daily (D) discharge values have been indicated (a). In the histogram (b) in percentage values, the runoff (yellow), the basal flow (blue) and the indeterminate field (green) are shown (redrawn from BONI et alii, 1993).

mesi più piovosi, del flusso di base vengono chiaramente definiti solo i valori estremi (linea D) e minimi (linea C), mentre restano indeterminati i valori medi.

I risultati della scomposizione possono essere espressi anche in percentuale nei modi illustrati nella figura 15b, dove vengono evidenziati i valori mensili del flusso di base calcolato, del campo indeterminato e del ruscellamento calcolato.

3.6. - TIPOLOGIA DELLE SORGENTI DEL FIUME TREIA

Nel Fiume Treia, che è uno dei maggiori corsi d'acqua perenni del dominio vulcanico peritirrenico dell'Italia centrale, la portata media nei

periodi aridi è di circa $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ed è alimentata dalla falda di base degli apparati vicano e sabatino. In questo bacino idrografico le sorgenti localizzate sono caratterizzate da portate modeste; solo le maggiori raggiungono valori di portata dell'ordine di alcune decine di litri al secondo, mentre la più parte non raggiunge il litro al secondo. La restituzione al circuito di superficie delle acque sotterranee appartenenti alla falda di base avviene, infatti, per mezzo delle sorgenti di subalveo che si manifestano su tratti estesi da alcune centinaia di metri ad alcuni chilometri. Il massimo incremento di portata è compreso tra 200 e 300 litri al secondo per chilometro lineare, in settori ove il motivo dell'emergenza è legato a fenomeni di trabocco (fig. 16).

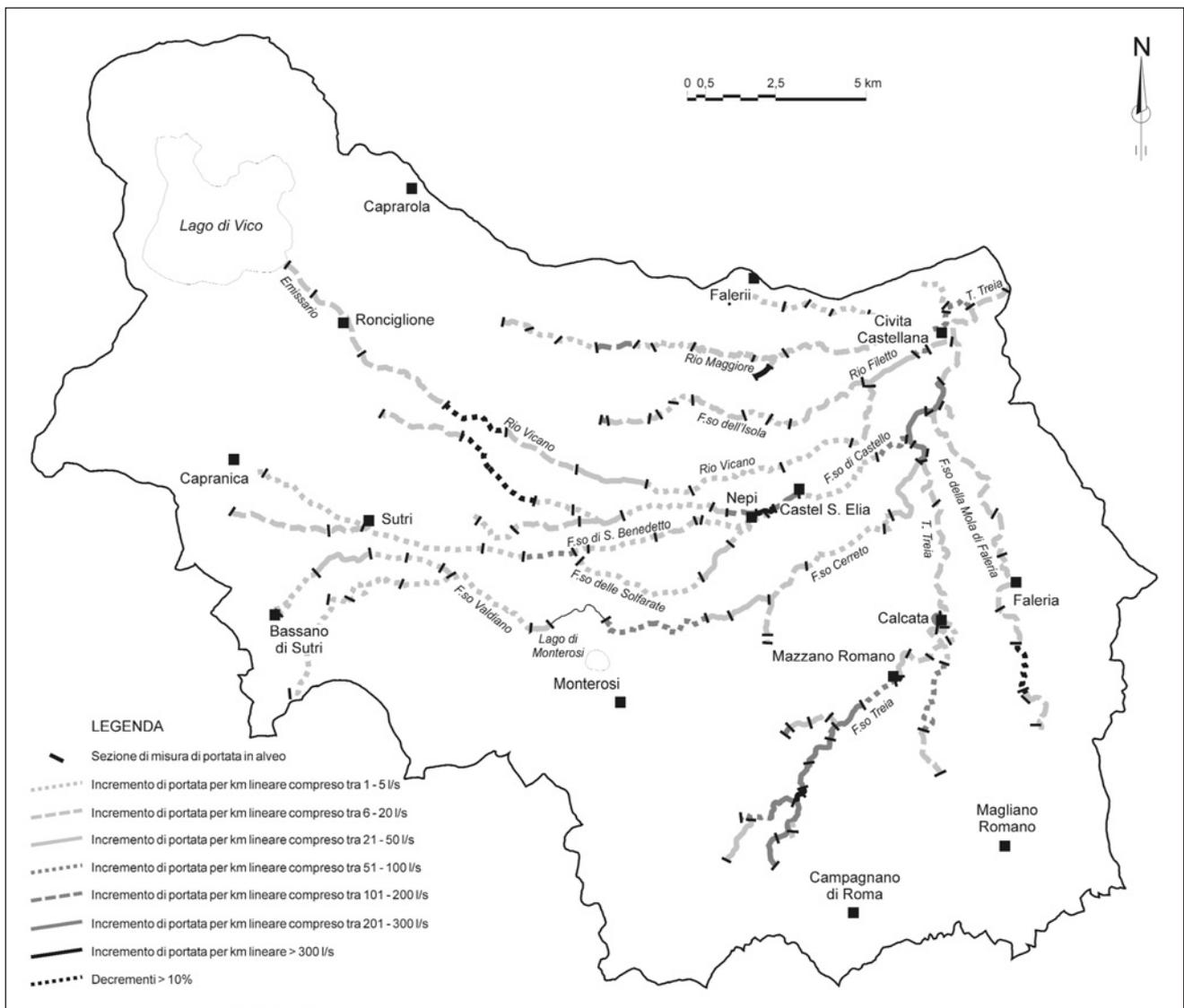


Fig. 16 - Carta del reticolo di drenaggio del bacino del Fiume Treia (da CAPELLI *et alii*, 2005).
- Drainage network map of the Treia River Basin (from CAPELLI *et alii*, 2005).

4. - ARCHIVIAZIONE DATI REPERITI E MISURATI

La gran mole di informazioni sui diversi punti d'acqua reperiti e misurati sperimentalmente, che costituisce la banca dati dello studio, oltre alla necessità di una gestione dei medesimi in un sistema informativo territoriale, ha comportato la necessità di formulare una specifica scheda di archiviazione e un sistema di catalogazione che non potesse dare adito a dubbi sull'univocità del singolo punto d'acqua. Il *software* usato per l'informatizzazione è l'Access® della *Microsoft Corporation*, scelto per la sua larga diffusione e la sua compatibilità con i sistemi GIS.

4.1. - REPERIMENTO DATI STORICI

Le precipitazioni, le temperature e l'idrometria, grazie alla disponibilità del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, sono state acquisite e ritabulate. In funzione del parametro gli anni di riferimento sono diversi, a seguito del disomogeneo funzionamento delle singole stazioni di misura. L'arco temporale di tutta la serie idrologica è compreso tra gli anni 1951 e 2001.

I dati delle perforazioni e delle sorgenti, direttamente rilevati o reperiti presso enti e privati, sono stati inseriti in apposite schede d'archivio. Ciò ha richiesto un notevole sforzo, soprattutto in relazione alla necessità di validazione del dato.

La popolazione di dati stratigrafici ammonta a circa 850 unità. La selezione dei dati di sondaggio, per la specificità della banca dati, è stata basata sui livelli piezometrici e sui dati stratigrafici significativi dal punto di vista idrogeologico.

Sono stati invece trascurati i livelli piezometrici legati alla circolazione idrica superficiale. Ove presenti, sono state inserite informazioni sul tipo di piezometro e sulla profondità del piezometro stesso.

Relativamente alle sorgenti e sorgenti lineari, sono stati archiviati e variamente utilizzati i dati relativi a circa 100 emergenze.

4.2. - RILEVAMENTO DATI IDROLOGICI NELL'ANNO 2002 – 2003

Nel corso di questo studio sono state effettuate 4 campagne stagionali di rilevamento dei dati idrologici (sorgenti e pozzi). Poiché nell'area prevalgono le sorgenti lineari di subalveo, il rilevamento e il monitoraggio sono stati principalmente dedicati alla misura delle portate in alveo per l'individuazione dei tratti drenanti e perdenti (fig. 16).

La prima campagna, che ha avuto anche la

funzione di censimento dei punti d'acqua, è stata condotta nel periodo marzo-aprile 2002 (campagna primaverile) e ha comportato il rilevamento delle portate in 51 sezioni, per l'individuazione delle sorgenti lineari, e il rilevamento di circa un centinaio di pozzi.

La maglia di rilevamento delle portate in alveo è stata definita sulla base delle informazioni pregresse provenienti sia dalla letteratura scientifica (BONI *et alii*, 1986, 1988; CAPELLI *et alii*, 2005 a, b), sia da studi inediti degli autori.

Per il censimento dei pozzi è stata impostata una maglia costituita mediamente da 9 pozzi per sezione CTR. Nella selezione dei pozzi da monitorare si è tenuto conto della significatività del dato, considerando diversi fattori:

- profondità e tipo della perforazione ed eventuale disponibilità di dati integrativi, come stratigrafie, prove di pozzo ecc.;
- uniformità della distribuzione sul territorio;
- disponibilità e/o reperibilità dei proprietari;
- possibilità di sostituire i pozzi prescelti (quando non disponibili) con pozzi "di riserva", localizzati nelle immediate vicinanze e con medesime caratteristiche tipologiche e costruttive.

Per questo motivo non è stata definita una rete di monitoraggio rigida, ma una rete flessibile anche al fine di velocizzare le misure ed ottenere dati il più possibile sincroni, come richiesto nel caso di campagne stagionali.

Il rilevamento dei punti d'acqua (sia nella fase di censimento, che in quelle di controllo) ha in realtà interessato un'area significativamente più estesa, pari a circa 25 sezioni CTR, rispetto a quella rappresentata nella carta fuori testo, al fine di ricostruire in modo sufficientemente dettagliato le caratteristiche idrogeologiche anche delle zone marginali.

Mentre per quanto concerne lo studio delle sorgenti lineari è stato deciso di ripetere tutte le misure effettuate nella prima campagna, per il rilevamento dei dati freaticometrici, successivamente al primo rilevamento esteso, è stata individuata una maglia che, seppure basata su un numero inferiore di punti (circa 40), è risultata idonea a descrivere i caratteri fondamentali della circolazione idrica sotterranea.

In particolare, le campagne stagionali sono state così condotte:

- prima campagna: aprile-maggio 2002 (campagna primaverile), 209 pozzi e 51 misure di portata nei corsi d'acqua;
- seconda campagna: luglio-agosto 2002 (campagna estiva), 47 pozzi e 46 misure di portata nei corsi d'acqua;
- terza campagna: ottobre-novembre 2002

(campagna autunnale), 65 pozzi e 48 misure di portata nei corsi d'acqua;

- quarta campagna: gennaio-febbraio 2003 (campagna invernale), 41 pozzi e 47 misure di portata nei corsi d'acqua.

4.2.1. - *Misura delle sorgenti localizzate*

Nell'area di studio le sorgenti puntuali sono caratterizzate da portate sempre esigue e ricollegabili a locali variazioni di permeabilità nelle *facies* vulcaniche. La maggior parte delle sorgenti puntuali presenta quasi sempre portate estremamente basse, inferiori al l/s, ad eccezione della sorgente di Madonna del Barco (Rio Maggiore), Le Cegne (Fosso Grottabella), XXX Miglia e Fontana Lunga (Rio Vicano) e Regagni (Fosso di San Benedetto). A seguito di ciò è scaturita la decisione di dare la precedenza al rilevamento delle sorgenti lineari e dei livelli freatici, proprio perché maggiormente significativi per ricostruire i caratteri fondamentali della circolazione idrica sotterranea, nonché gli scambi fra acque superficiali e acque sotterranee.

4.2.2. - *Misura delle sorgenti lineari*

Sono state effettuate, nel periodo 2002-2003, circa 200 misure di portata in alveo nei torrenti dell'area di studio, per definire i tratti drenanti corrispondenti a sorgenti lineari. Oltre alle misure di portata sono state eseguite anche misure di pH, temperatura, conducibilità elettrica.

Nel seguito sono descritti gli andamenti delle portate misurate nei singoli corsi d'acqua sulla base dei risultati ottenuti durante le 4 campagne. I valori delle portate medie citati sono calcolati come media aritmetica delle campagne stagionali.

Rio Maggiore:

affluente di sinistra del Fiume Treia, si sviluppa per una lunghezza complessiva di 23 km e confluisce nell'asta principale poco fuori dell'abitato di Civita Castellana, a 54 m s.l.m.

Il drenaggio inizia a quota 282 con la Sorgente "il Barco" (captata dal Comune di Civita Castellana); gli incrementi di portata alle quote inferiori sono inizialmente abbastanza bassi, per poi divenire più consistenti a valle, intorno ai 240-230 m di quota. I valori di drenaggio lungo il profilo longitudinale sono correlabili all'assetto strutturale del substrato sedimentario delle vulcaniti; la sua rapida risalita proprio in questo settore determina l'identificazione di una soglia alla quale sono riconducibili i forti gradienti registrati in alveo (fig. 7). Il resto del corso d'acqua si presenta con drenaggi significativamente più bassi (esaurimen-

to della fase di trabocco).

Fosso Grottabella:

confluisce nel Rio Vicano nei pressi di Civita Castellana. Il drenaggio inizia intorno ai 240 m di quota, in località "Le Cegne", dove sono visibili in alveo piccole emergenze localizzate in corrispondenza degli affioramenti del Tufo Rosso a Scorie Nere. Alla presenza di queste emergenze diffuse si deve la crescita di portata che raggiunge incrementi di 60 l/s per km lineare. Il drenaggio in alveo continua con incrementi piuttosto bassi, fino alla confluenza con il Fosso Vicano, alla cui portata il Fosso Grottabella contribuisce con valori di portata, che oscillano tra i 40 e gli 80 l/s.

Rio Vicano:

è l'emissario del Lago di Vico e sviluppa il suo alveo lungo un percorso di circa 24 km tra le quote 510 e 54 metri s.l.m., confluendo nel Treia nei pressi di Civita Castellana, dopo aver ricevuto le acque del suo unico tributario, il Fosso Grottabella. All'incile la portata misurata presenta valori di magra compresi tra 30 e 120 l/s. A quote più basse, la falda regionale (ospitata generalmente nelle vulcaniti e solo in limitati settori nei depositi neogenici in *facies* sabbioso-conglomeratica) non sembra dare contributi significativi al flusso di base; non è però escluso che i forti prelievi diffusi lungo il corso del fiume possano mascherare drenaggi effettivamente maggiori. Nel settore centrale, individuato tra 300 e 270 m di quota, è sempre stato osservato un decremento delle portate in alveo. Nel tratto terminale del corso d'acqua l'incremento delle portate fluviali aumenta, probabilmente per effetto degli affioramenti del substrato sedimentario, qui in *facies* sabbioso-conglomeratica.

Fosso Cerro Castello:

secondo affluente di sinistra del Fiume Treia, è caratterizzato da un'asta lunga circa 20 km, con un dislivello di 265 m; riceve nei pressi dell'abitato di Castel S. Elia il contributo del Fosso di San Benedetto (portata media pari a 232 l/s). Fra tutti i tributari del Treia è sicuramente quello più importante: fornisce, infatti, al corso d'acqua principale una portata media di 670 l/s. Il drenaggio ha inizio a quote elevate, superiori ai 300 m, per effetto della risalita del substrato sedimentario e già a 280 m di quota sono state misurate portate significative e variabili fra i 45 e i 76 l/s. Nel resto del corso d'acqua permane il fenomeno del drenaggio di subalveo. In particolare, i drenaggi in alveo significativamente più rilevanti sono stati osservati nel settore compreso tra i 220 e i 120 m di quota, in corrispondenza di alcuni lembi affioranti del substrato sedimentario, qui in *facies* sabbioso-conglomeratica

Fosso San Benedetto:

confluisce, dopo un percorso di circa 16 km, nel Fosso Cerro Castello. Il suo drenaggio si attesta sui valori bassi caratteristici di tutta l'area, ad eccezione dell'ultimo tratto in cui si assiste a incrementi di portata significativi (tra i 45 e i 104 l/s di incremento per km lineare, a seconda della stagione) che testimoniano l'intercettazione della falda regionale. Da segnalare, lungo questo corso d'acqua, la presenza di sorgenti sulfuree ed emanazioni gassose.

Fosso Cerreto:

è il primo affluente di sinistra del Treia al quale fornisce in media un contributo di 176 l/s. L'andamento del deflusso mostra caratteristiche analoghe a quanto osservato per gli altri corsi d'acqua. Il drenaggio ha inizio a quote elevate con portate e incrementi sempre modesti che diventano decisamente più significativi tra i 190 e i 140 m di quota, dove viene intercettata la falda di base. Tale incremento è dovuto alla presenza di un piccolo alto strutturale nel substrato sedimentario impermeabile (affiorante a valle delle Terme dei Gracchi, Nepi, con argille e argille sabbiose), il cui andamento permette di ipotizzare la presenza di una faglia con rigetto verticale di almeno 50 m. Allo stesso motivo strutturale sembrano connesse diverse sorgenti minerali ed emanazioni gassose rinvenute nei pressi delle medesime terme. Più a valle i drenaggi tornano modesti per il rapido esaurimento del fenomeno di trabocco. Nel settore terminale, nei pressi della confluenza con il Fiume Treia, si assiste invece a un decremento delle portate che, seppure non troppo rilevante, è però stato osservato in tutte le campagne.

Fiume Treia:

il ramo principale del Fiume Treia è costituito da diversi corsi d'acqua (Fosso del Pavone, Fosso di Settevene, Fosso della Maggiorana, Fosso delle Verghe), che si raccordano in località Pian delle Rose; da questo punto l'asta principale prende il nome di Fiume Treia. Più a valle il Fiume Treia riceve il contributo di 5 affluenti di sinistra (Fosso Stramazzo, Fosso della Mola di Magliano, Fosso Cerreto, Fosso Cerro Castello, Rio Vicano e Rio Maggiore) e di 3 affluenti di destra (Fosso della Mola di Magliano, Fosso della Mola di Faleria, Fosso di Stabia). Poco dopo aver ricevuto le acque dell'ultimo tributario (Rio Maggiore), il Fiume Treia confluisce nel Tevere (50 m s.l.m.). Il drenaggio sul Fiume Treia ha inizio intorno ai 180-175 m di quota (località Settevene). Gli incrementi misurati sono sempre assai elevati e oscillano tra i 120 e i 170 l/s per km lineare. Proseguendo lungo il corso d'acqua si può osservare come il Fiume Treia sia sempre drenante, seppur con

incrementi di portata in alveo decisamente più bassi; a causa della presenza di forti prelievi si possono addirittura invertire i *trend* dei deflussi in alveo. Tra il Fosso dello Stramazzo e Mazzano Romano sono presenti in alveo diverse piccole emergenze mineralizzate.

5. - CARTA DELLE LINEE ISOPIEZOMETRICHE

I dati idrologici relativi alle emergenze lineari e i dati freaticometrici dei pozzi censiti nelle 4 campagne stagionali sono stati utilizzati per la redazione delle carte delle linee equipotenziali e delle direttrici di deflusso. La quota della superficie piezometrica di molti settori chiave, privi di drenaggi di superficie, è stata ricavata dai dati freaticometrici dei pozzi rilevati.

In questo modo è stato possibile ottenere una cartografia di grande dettaglio, riferita a stagioni diverse, che consente al contempo una visione globale e mediata delle diverse geometrie del tetto dell'acquifero di base, prescindendo dalle complicazioni locali e da situazioni contingenti.

Per la costruzione delle linee isofreatiche, i dati sperimentali direttamente rilevati sono stati integrati con i dati geologici, in particolare con i dati relativi a geometria e natura del substrato sedimentario delle vulcaniti, poiché lo stesso può condizionare in modo assai significativo l'andamento dei flussi sotterranei, soprattutto quando lo spessore dell'acquifero è ridotto e il substrato sedimentario (a bassa permeabilità) è affiorante o sub-affiorante.

La redazione delle carte delle isofreatiche stagionali ha messo in evidenza come la circolazione sotterranea si sia mantenuta estremamente stabile nelle diverse stagioni. Le differenze di livello osservate, infatti, sono estremamente localizzate, spesso non rilevabili in carta.

Tali differenze sono un po' più evidenti nel settore occidentale dell'area, immediatamente a ridosso degli affioramenti *flyschoidi* di Monte la Guardia e Monte Calvelle, dove lo spessore dell'acquifero vulcanico appare fortemente ridotto per la presenza del substrato sedimentario affiorante. È altresì probabile che in questo settore, proprio per gli spessori assai ridotti dell'acquifero vulcanico, si risenta maggiormente anche degli effetti dei prelievi.

In definitiva, la circolazione sotterranea relativa all'acquifero basale risulta caratterizzata da una notevole stabilità, con variazioni più ridotte nella bassa valle del Fiume Treia e più sensibili nell'alta valle, in accordo con il particolare assetto geologico stratigrafico dell'area.

La circolazione sotterranea è rivolta prevalentemente verso est, in direzione dei settori di confluenza. La presenza di linee isofreatiche maggiormente articolate nel settore sud-occidentale (tra i paesi di Sutri, Bassano di Sutri e Capranica di Sutri) e orientale (Civita Castellana) determina flussi idrici sotterranei orientati sempre verso le aree di confluenza, ovvero rispettivamente da NW verso SE e da SW verso NE. Ai margini orientali dell'area in studio il flusso idrico sotterraneo è orientato da sud a nord. È stata osservata una circolazione idrica sotterranea che appare in qualche modo ripetere gli allineamenti delle aste fluviali.

Da segnalare l'importanza degli affioramenti di *fhysh* presenti all'interno dell'area esaminata (Monte Calvelle e Monte la Guardia), la cui presenza determina un importante ostacolo agli scambi idrici sotterranei, almeno in senso N-S. Le acque sotterranee che oltrepassano la suddetta soglia riemergono poi (almeno in parte) nel bacino del Treia, anche se una parte fuoriesce dal bacino ed alimenta l'acquifero regionale di Bracciano.

Tale sella costituisce uno sbarramento idraulico rilevante che separa due aree caratterizzate da un diverso stile di circolazione. Subito a nord, infatti, si osservano i gradienti idraulici più elevati che interessano le quote superiori ai 250 m.

Il settore settentrionale (Rio Fratta e Rio Gruè), sebbene ubicato al di fuori dell'area studiata, è stato oggetto di indagini mirate e sono stati rimarcati drenaggi in alveo a partire dalla quota di 250 metri, che diventano significativi alle altitudini inferiori.

La morfologia della superficie piezometrica della regione vulcanica cimino-sabatina, implica la presenza di linee di flusso sotterranee rivolte dagli alti strutturali del substrato a bassa permeabilità verso le depressioni vulcano-tettoniche. Gli spartiacque idrogeologici tra il bacino del Fiume Treia ed i bacini limitrofi sono dovuti a limiti di flusso nulli a ovest ed a est, e a variazioni di potenziale e quindi di gradiente a nord, a sud ovest e a sud, andando così a confermare gli andamenti e i limiti definiti da precedenti studi.

Il bacino idrogeologico del Fiume Treia è sostanzialmente simile, ma non identico, a quello idrografico.

Nell'area in studio sono in definitiva emerse le seguenti caratteristiche (carta fuori testo):

- le isofreatiche individuate mostrano un andamento abbastanza articolato, probabilmente anche per le caratteristiche geomorfologiche tipiche del bacino;
- il flusso sotterraneo è prevalentemente orientato verso est, in direzione dei settori di confluenza;
- un'aliquota delle acque che si infiltrano nel bacino viene in parte dirottata verso i bacini limi-

trofi di Rio Fratta e Rio Gruè;

- gli affioramenti di *fhysh* di Monte Croce e Monte della Guardia, interni al bacino stesso, costituiscono uno sbarramento importante che separa aree caratterizzate da diversi stili di circolazione;

- la parte bassa del bacino presenta una notevole articolazione delle linee isofreatiche, dovuta alla presenza del substrato sedimentario delle vulcaniti, localmente in *facies* francamente argillosa e ormai affiorante o subaffiorante nei *talweg* incisi nei *plateaux* vulcanici, che condiziona sensibilmente la geometria del tetto della falda;

- gli spessori del complesso acquifero sono estremamente condizionati dalla geometria del letto delle formazioni vulcaniche.

6. - CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEL LAGO DI VICO

Il Lago di Vico è il più importante corpo idrico presente nell'area studiata. Per tale motivo vengono richiamati alcuni elementi morfometrici e idrologici relativi a questo corpo lacustre.

Nelle figure 17 e 18 vengono riportate rispettivamente la carta batimetrica (BARBANTI *et alii*, 1968) e i principali dati morfometrici (CAROLLO *et alii*, 1974). La batimetria del lago presenta due depressioni significative: una è posta a sud della piana del Pantanello, sotto il Monte Venere, e raggiunge al piede di una ripida scarpata sommersa la profondità di 48,5 metri, l'altra è posta in posizione più centrale e si spinge fino a -44 metri. In corrispondenza di quest'ultima depressione sono state ubicate le stazioni per il rilevamento delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque lacustri, condotto dagli autori nel periodo 2006-2007.

Nella figura 19 sono riportati le altezze idrometriche del lago lette all'incile, prima che le acque confluiscono nella galleria emissaria, rapportate al regime delle precipitazioni nel bacino imbrifero.

Dal grafico della medesima figura risulta evidente che nel 1960 si è verificata una brusca variazione del livello medio del lago, che non è correlabile ad alcuna variazione del regime pluviometrico. Tale brusco salto è imputabile, probabilmente, alla correzione di un errore sistematico delle misure o ad una diversa gestione delle portate dell'emissario, regolate da una paratia. Si ritiene quindi che i livelli precedenti al 1960 vadano ignorati. Dall'analisi dello stesso grafico si nota inoltre una immediata risposta del livello idrometrico del lago alle precipitazioni. Non è possibile correlare al regime idrometrico l'andamento delle portate, non essendo mai stata realizzata nessuna curva di taratura. Sono tuttavia disponibili sporadiche misure delle portate sia dell'emissario all'in-

cile sia del Rio Vicano. Sempre nella figura 19 sono inoltre riassunti i valori di portata misurati nel settore alto del Rio Vicano. Dai valori riportati in tabella si può desumere che la portata di magra dell'emissario rimane compresa tra 30 e 120 l/s. A tale valore registrato in uscita devono

essere sommate le portate prelevate direttamente dal lago, ad opera degli acquedotti comunali di Ronciglione, Caprarola e San Martino al Cimino, i cui valori sono riassunti nella figura 20. Dai dati considerati risulta in definitiva che il totale del prelievo diretto dal lago è di circa 40 l/s, mentre

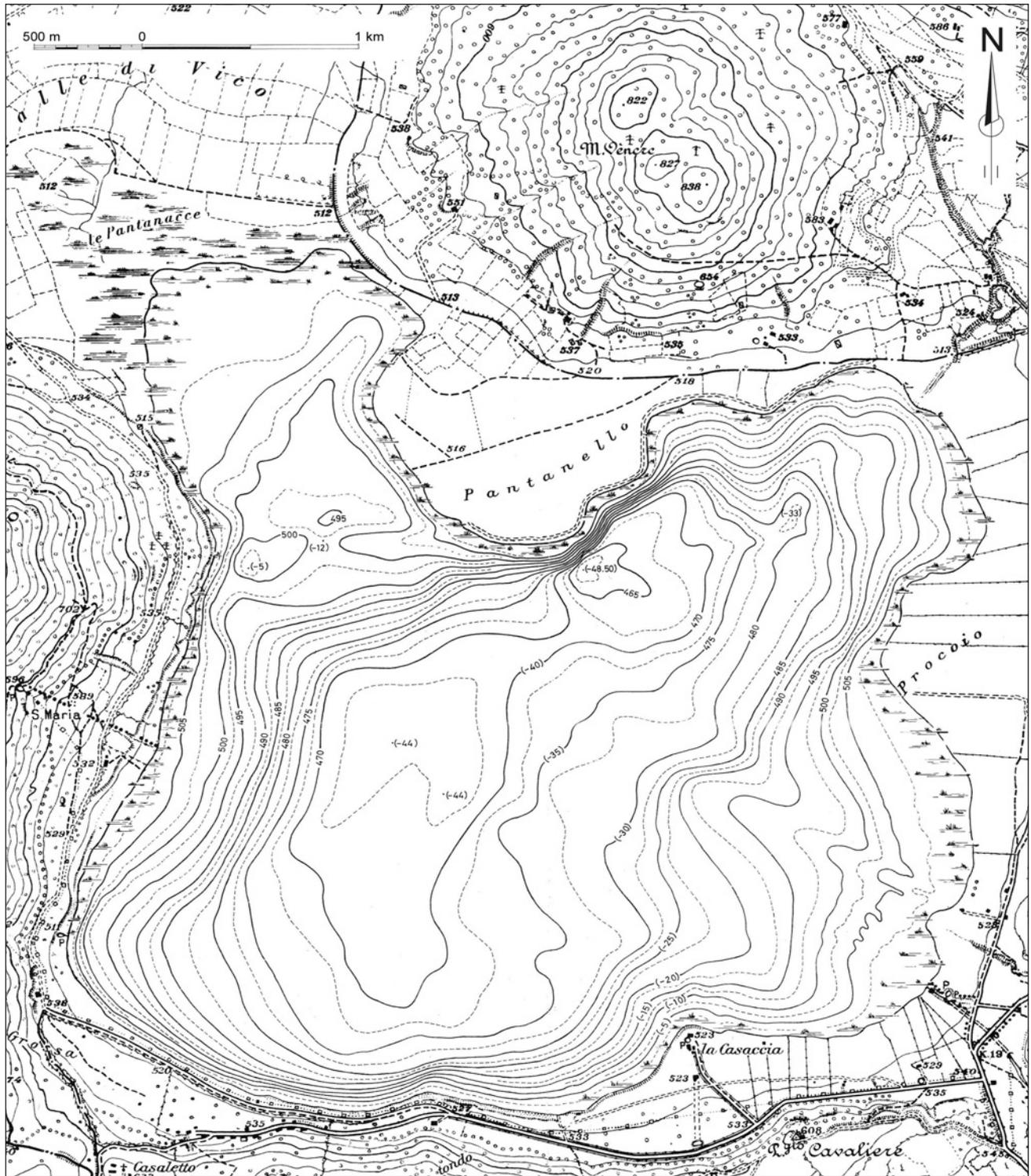


Fig. 17 - Carta batimetrica del Lago di Vico (da BARBANTI et alii, 1968).
- Bathymetric map of the Vico Lake (da BARBANTI et alii, 1968).

quello dai pozzi è pari a 21 l/s; ne consegue quindi che alle risorse idriche del bacino di alimentazione del lago vengono sottratti 61 l/s.

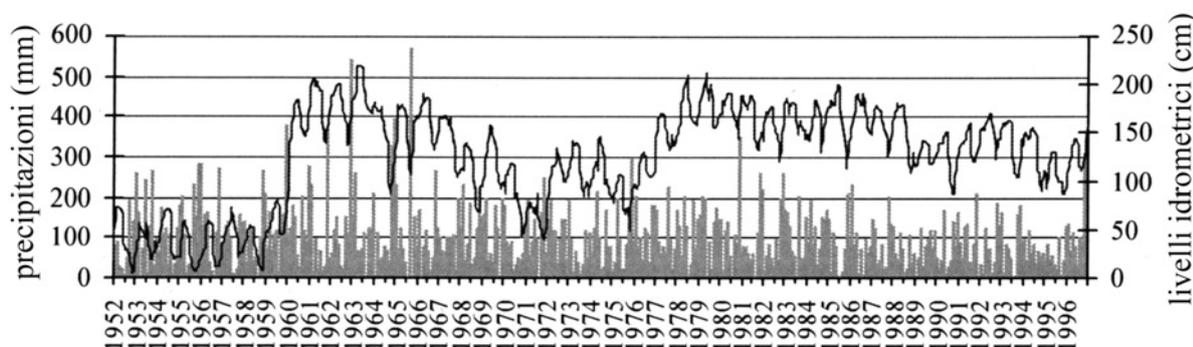
Considerando infine che la portata media dell'emissario, ottenuta da rilevamenti condotti dagli autori fin dal 1989, è pari a circa 50 l/s, si ottiene un totale in uscita di circa 110 l/s.

6.1. - CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE DEL LAGO DI VICO

Le acque lacustri sono state oggetto negli ultimi decenni di numerose campagne di studio, che hanno definito parametri idrologici, idrochimici ed idrobiologici (BARBANTI *et alii*, 1968; CAROLLO

PARAMETRO	VALORE
Quota media della superficie del lago	510 m s.l.m.
Perimetro	16,9 km
S _L Superficie media del lago	12,1 km ²
Profondità massima	48,5 m s.l.m.
Profondità media	21,58 m s.l.m.
Volume del lago	260,767 x 10 ⁶ m ³
S _B Superficie del bacino imbrifero, lago escluso	28,84 km ²
S _G Superficie del bacino idrogeologico, lago escluso	33,29 km ²
Indice di lacualità (S _L / S _L + S _B)	0,29

Fig. 18 - Dati morfometrici del Lago di Vico (da CAROLLO *et alii*, 1974)
- Morphometric data of the Vico Lake (from CAROLLO *et alii*, 1974).



Portate dell'emissario del Lago di Vico e del Rio Vicano

Quota (m s.l.m.)	Portata (l/s)	Data	Denominazione
510	116	13/09/1988	incile
490	34	17/01/1989	Rio Vicano
410	100	01/11/1982	Rio Vicano
300	33	18/10/2002	Rio Vicano
300	120	15/03/2002	Rio Vicano
300	86	01/07/2002	Rio Vicano
300	106	31/01/2003	Rio Vicano

Fig. 19 - Idrogramma del Lago di Vico (da DRAGONI *et alii*, 2002) e tabella delle portate dell'emissario.
- Hydrogram of the Vico Lake (from DRAGONI *et alii*, 2002) and discharge values of its bayou.

et alii, 1974; GELOSI *et alii*, 1985; DYER, 1995). A titolo di riferimento vengono di seguito riportati i grafici relativi alle determinazioni chimico-fisiche che gli autori hanno condotto durante la campagna del periodo 2006-2007. Nella figura 21 sono riportati i grafici relativi a temperatura, conducibilità elettrica e pH fino alla profondità di 30 metri, rilevati nella zona di massima profondità. Dai grafici si può osservare come il lago presenti una stratificazione stagionale in primavera-estate, che tende a scomparire in autunno-inverno. La stratificazione è più evidente se si considerano i valori di temperatura e pH, mentre lo è meno relativamente alla conducibilità. Le temperature di superficie sono comprese tra 4° e 26° C, quelle a 30 metri tra 4° e 15° C. I valori di pH di superficie oscillano tra 6,50 e 9,50, mentre a 30 metri il campo si restringe tra 7,3 e 8,5. La conducibilità elettrica a pelo libero varia nel range 410-440 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mentre al fondo il campo si allarga a 290-440 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

7. - CARTOGRAFIE INFORMATICHE E APPLICABILITÀ DELLA LEGENDA

In relazione ai prodotti previsti, per il completamento di questo lavoro, sono state conformate molte cartografie tematiche su base informatica, corrispondenti a livelli georeferenziati, spesso interfacciati con banche dati. In relazione alla applicazione di una legenda di riferimento, è stata realizzata una carta idrogeologica sperimentale a stampa. Le potenzialità del sistema geografico territoriale darebbero modo di sviluppare altri livelli

e prodotti, correlando con algoritmi o matrici i vari temi definiti.

Tra i potenziali prodotti derivati ricordiamo la carta dello spessore del complesso acquifero, la carta dello spessore dell'aerato, la carta delle iso-variazioni piezometriche, le carte di regionalizzazione delle precipitazioni e delle temperature, la carta dei coefficienti di infiltrazione potenziale ecc. Il sistema attuale, ideato per conformare una cartografia idrogeologica di base, può essere espanso fino a una più completa utilizzazione del GIS applicata al calcolo di bilanci idrogeologici distribuiti e/o alle carte di vulnerabilità degli acquiferi.

In relazione all'assetto geologico del territorio considerato e alla legenda in sperimentazione, è risultato che sono presenti vari tipi di limite idrogeologico. Tuttavia vista la densità informativa già raggiunta dalla carta idrogeologica sperimentale, si è ritenuto di non appesantire oltre tale prodotto con altri simboli grafici. I limiti, perciò vengono descritti solamente nel testo.

I Monti Cimini e Sabatini ospitano diversi bacini lacustri naturali. Nel territorio di riferimento sono presenti i Laghi di Vico e di Monterosi. Essi sono stati oggetto di vari studi che hanno utilizzato stazioni fisse di rilevamento. Nella legenda della carta idrogeologica manca un simbolo specifico per tale tipo di stazionamento. Riteniamo quindi che la legenda vada aggiornata in tal senso, in quanto nello scenario italiano esistono molti altri laghi studiati più o meno periodicamente.

Sempre in relazione a motivi grafici, le sorgenti lineari di subalveo non sono state numerate

Prelievi da lago per uso acqedottistico (P.R.G.A. 1997)			
Codice P.R.G.A.	Quota b.p. (m s.l.m.)	Portata (l/s)	Comune
806	510	9,8	Caprarola
806/A	510	30	Ronciglione

Prelievi da pozzo per uso acqedottistico (P.R.G.A. 1997)			
Codice P.R.G.A.	Quota b.p. (m s.l.m.)	Portata (l/s)	Comune
906	550	6	Caprarola
961	700	5	Caprarola
1037	674	10	San Martino C.

Fig. 20 - Prelievi per uso acqedottistico. - *Withdrawals for waterworks.*

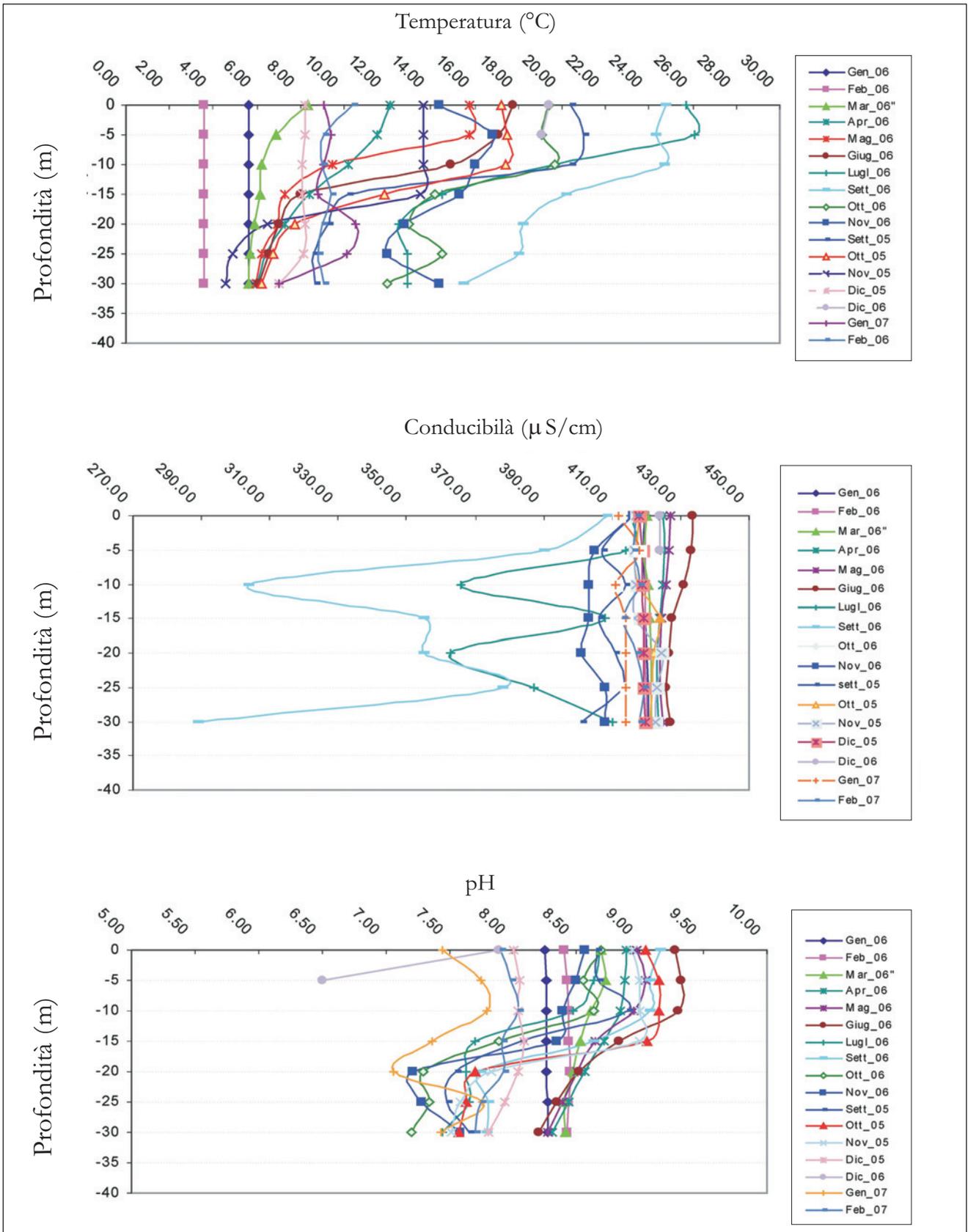


Fig. 21 - Grafici dei valori di temperatura, conducibilità elettrica e pH lungo la verticale della stazione di monitoraggio di centro lago, relativamente al periodo gennaio 2006 - febbraio 2007.

- Plots of the water temperature, electric conductivity and pH values with respect to the vertical depth at the central monitoring station of the Vico Lake, during January 2006-February 2007.

e classificate per ordine di portata, ma solamente graficate con il simbolo di tratto drenante.

In relazione alla disomogeneità litologica verticale e orizzontale delle serie vulcaniche laziali, non si è ritenuto di classificare i complessi in funzione del grado di infiltrazione efficace deducibile dal bilancio idrogeologico, in quanto essa non consente una reale distribuzione delle classi di valori sul territorio. Tale parametro andrebbe definito per contesti omo-genei tramite prove di pozzo. Tuttavia, pur essendo state raccolte alcune di queste sperimentazioni, la densità informativa risulta estremamente bassa.

8. - CONSIDERAZIONI FINALI

In relazione allo scopo dello studio, che è di sperimentare l'applicabilità della legenda descritta nel Quaderno S.G.N. serie III, n° 5, (MARI *et alii*, 1995), si può dire con fondatezza che essa risponde bene ai fenomeni e alle varie situazioni idrogeologiche riscontrate sul territorio. Si ritiene che sia stata poco studiata dagli autori della legenda la problematica dei laghi, e che quindi la simbologia ad essi riferibile sia carente.

Nell'era dell'informatica non si ritiene necessario mappare contemporaneamente tutti i temi stabiliti, in quanto essi vivono comunque come livelli, ovvero come carte virtuali. La corposità delle banche dati e il grado di conoscenza acquisito sul territorio studiato presenta un grande interesse applicativo e quindi una elevata trasferibilità. Inoltre, partendo da quanto già prodotto, sarà facile effettuare analisi e modellazioni idrogeologiche rivolte alla gestione delle risorse idriche utilizzando opportunamente i sistemi informativi.

Data l'estensione del dominio vulcanico recente o attuale nel territorio italiano risulta positivo il fatto che l'applicabilità della legenda già conformatasi risulti elevato.

Ringraziamenti

Si ringrazia il prof. P.B. CELICO, incaricato della revisione del lavoro, per gli utili suggerimenti proposti. Si ringrazia altresì il dr. L. MARTARELLI per la revisione scientifica del testo in lingua inglese e il dr. M. ROMA per la revisione tecnico-scientifica dell'allestimento cartografico e dell'informatizzazione dei dati idrologici.

BIBLIOGRAFIA

BALDI P., DECANDIA F.A., LAZZAROTTO A. & CALAMAI A. (1974) – *Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano*. Mem. Soc. Geol. It., **13**: 575-606.
BARBANTI L., CAROLLA A. & LIBERA V. (1968) – *Carta bati-*

metria del Lago di Vico. In: "Indagini limnologiche sui Laghi di Bolsena, Bracciano, Vico e Trasimeno. CNR, Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, **17**, 1974.
BERTAGNINI A. & SBRANA A. (1986) – *Il vulcano di Vico: stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche*. Mem. Soc. Geol. It., **35**: 699-713.
BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**: 947-956.
BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1988) – *Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio. Regione Lazio. Assessorato alla programmazione – I.C.A.*
BONI C., CAPELLI, PAGANELLI D. & PETITTA M. (1992) – *Assetto idrogeologico e risorse idriche nel bacino idrografico del Fiume Treia (Lazio settentrionale). ipotesi di un metodo di studio in domini geologici caratterizzati dalla presenza di sorgenti lineari*. Sessione Poster – Soc. Geol. It. 76° Riunione Estiva "I piani di Bacino", Firenze, 24 settembre 1992.
BONI C., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) – *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio. C.N.R., Centro di Studi per il Quaternario e l'Evoluzione ambientale*. Roma, 1993.
CAMPOBASSO C., CIONI R., SALVATI L. & SBRANA A. (1994) – *Geology and paleogeographic evolution of a peripheral sector of the Vico and Sabatini Volcanic Complex, between Civita Castellana and Mazzano Romano (Latium, Italy)*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It., **49**: 277-290.
CAPELLI G., MAZZA R. & PAGANELLI D. (2005a) – "Criticità della risorsa idrica nel bacino del F. Treia (Lazio settentrionale)". Acque Sotterranee, fasc. 95, anno 22: 19-26.
CAPELLI G. MAZZA R. & GAZZETTI C. (a cura di) (2005b) – *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale n° **78**, Pitagora Bologna, pp. 216.
CAROLLO A., BARBANTI L. MERLETTI M., CHIAUDANI G., FERRARI I., NOCENTI A. M., BONOMI G. ROGGIA D. & TONOLLI L. (1974) – *Indagini limnologiche sui Laghi di Bolsena, Bracciano, Vico e Trasimeno*. CNR, Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, **17**.
CIABATTI M. (1982) – *Elementi di idrologia superficiale*. Bologna, Cooperativa Libreria Universitaria.
CIMARELLI C. & DE RITA D. (2006) – *Relatively rapid emplacement of dome-forming magma inferred from strain analysis: The case of acid Latian dome complexes (Central Italy)*. Elsevier, Journal of volcanology and geothermal research, **158**: 106-116.
CORDA L., DE RITA D. & TECCE F. (1976) – *Caratteri granulometrici delle vulcaniti freatomagmatiche nell'area laziale*. Boll. Soc. Geol. It., **95**: 1235-1252.
DE RITA D., BERTAGNINI A., CARBONI M.G., CICCACCI S., FACCENNA C., DI FILIPPO M., FREDI P., FUNICIELLO R., LANDI P., SCIACCA P., VANNUCCI N. & ZARLENGA F. (1994) – *Geological – petrological evolution of the eriti mountains area (Latium, Central Italy)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **49**: 291-322.
DE RITA D., BERTAGNINI A., FACCENNA C., LANDI P., ROSA C., ZARLENGA F., DI FILIPPO M. & CARBONI M.G. (1997) – *Evoluzione geopetrografica-strutturale dell'area tolfetana*. Boll. Soc. Geol. It., **116**: 143-175.
DE RITA D., DI FILIPPO M. & SPOSATO A. (1993) – *Carta geologica del Complesso Vulcanico Sabatino*. In: DI FILIPPO M. (Ed.), *Sabatini Volcanic Complex*. Quaderni de "La Ricerca Scientifica", CNR **114**: Carta fuori testo alla scala 1:50.000.
DE RITA D., FUNICIELLO R., ROSSI U. & SPOSATO A. (1983) – *Structure and evolution of the Sacrofano-Baccano caldera, Sabatini Volcanic Complex, Rome*. Journal of Volcanology

- and Geothermal Reserch, **17**: 219-236.
- DRAGONI W. & VALIGI D. (2000) – *Some consideration regarding climatic change and specific erosion in Central Italy*. In: *Geomorphology and Global Environmental Change*, SLAYMAKER O. (Ed.), JOHN WILEY & SONS, pp. 197-208.
- DRAGONI W., LOTTI F., PISCOPO V. & SIBI A. (2002) – *Bilancio idrogeologico del Lago di Vico (Lazio – Italia)*. International Conference: “Residence times in lakes: science, management, education”, Bolsena (Viterbo – Italy) September 29th – October 3rd 2002, pp. 96-104.
- DRAGONI W., SPERANZA G. & VALIGI D. (2003) – *Impatto delle variazioni climatiche sui sistemi idrogeologici: il caso della sorgente Pescara d’Arquata (Appennino Umbro-Marchigiano, Italia)*. *Geologia Tecnica e Ambientale*, **3**, pp. 13-27.
- DYER M. (1995) – *The water quality at Lago di Vico during (1992-1993)*. *Science of the total environment*, **171**, 1-3 (5 ref.): 77-83.
- ENEL (1994) – *Carta del letto delle vulcaniti*. Joint Venture ENEL - AGIP, documento inedito.
- FUNICIELLO R., LOCARDI E. & PAROTTO M. (1976) – *Lineamenti geologici dell’area sabatina orientale*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **95**: 831-849.
- GELOSI E., BAZZANTI M., COLOMBARI P., FERRARA O., MASTRANTUONO L., NICOTRA G. & SEMINARA M. (1985) – *Physio-chemical and biological characteristics of Lake Vico Central Italy. Preliminary results*. International Symposium Environmental Biogeochemistry, Viterbo, **42**.
- GIANDOTTI M. (1937) – *Idrogeologia della bonifica integrale. Parte I: idrologia generale*. Firenze, S.A.G. Barbera, pp. 268.
- LA TORRE P., NANNINI R. & SOLLEVANTI F. (1981) – *Geothermal exploitation in Central Italy: geophysical survey in Cimini range, area 43°*. Meeting European Association of Exploitation Geophysicists, Venezia Lido, 26-29 maggio 1981.
- LOCARDI E. (1965) – *Tipi di ignimbriti del vulcano di Vico*. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, **72**, ser. A: 55-173.
- MARI G.M., MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D. & ZATTINI N. (1995) – *Carta Idrogeologica d’Italia 1:50.000 – Guida al rilevamento e alla rappresentazione*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **5**, pp. 33.
- MARRA F. & ROSA C. (1995) – *Stratigrafia e assetto geologico dell’area romana*. *Mem. Descr. della Carta Geol. It.*, **50**, pp. 49-112.
- MARUFFI G. (1972a) – *Il basamento impermeabile nella regione vulcanica dei Monti Cimini ricostruzione mediante prospezione geoelettrica*. *Boll. Soc. Geol. It.*, **91**: 195-206.
- MARUFFI G. (1972b) – *Ricostruzione mediante prospezione geofisica dell’andamento del basamento conduttivo nella regione vulcanica dei Monti Sabatini e, marginalmente, in quella dei Monti Cimini*. *Rend. Soc. It. Min. e Petr.*, **26**.
- MATTIAS P.P. & VENTRIGLIA U. (1970) – *La Regione Vulcanica dei Monti Sabatini e Cimini*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **9**: 331-384.
- NICOLETTI M. (1969) – *Datazioni Ar/K di alcune vulcaniti delle regioni vulcaniche cimina e vicana*. *Petroleum and Mining*, **1**: 1-20.
- ORTOLANI F. & PAGLIUCA S. (1996) – *Variazioni climatiche e ambientali nell’area mediterranea durante il periodo storico: evidenze geologiche di cicliche crisi ambientali tipo “effetto serra”*. *Il Quaternario*, **9**.
- PASINI P. (1910) – *Coefficienti udometrici desunti dal lavoro delle macchine nelle bonifiche meccaniche*. *Giorn. Genio Civile*, **48**, Roma: 385-413.
- RASPA G. (2005) – *Fattori meteo-climatici per il bilancio idrogeologico*. In: *Strumenti e strategie per la tutela e l’uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio*. CAPELLI, MAZZA & GAZZETTI (Eds.): 81-94.