



I S P R A

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2.2.1960)

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME LXXXI

Studi sperimentali finalizzati alla cartografia idrogeologica

*Field surveys for the implementation
of the hydrogeological cartography*

di

BONI C.F.†, CACCIUNI A., CAPELLI G., CELICO F., CELICO P.B., MARI G.M.,
MARTARELLI L., MAZZA R., PAGANELLI D., PARIS F., PETITTA M., RIVELLINO S.,
ROMA M., SCALISE A.R., SILVI A., TACCHIA D., TARRAGONI C., VITALE V.

Revisione scientifica

BRUNAMONTE F., CAPELLI G., CELICO P.B., FRANCANI V., PETITTA M., VALLETTA M.

Editors

Anna Rosa SCALISE, Lucio MARTARELLI

Direttore responsabile : Leonello SERVA

REDAZIONE a cura del Servizio Cartografico, coordinamento base dati e tavoli europei

Dirigente: Norman ACCARDI

Capo Settore: Domenico TACCHIA

Coordinamento Editoriale: Maria Luisa VATOVEC

Allestimento testi: Mauro ROMA, Maria Luisa VATOVEC, Valerio VITALE

*A Carlo,
amico e maestro.*

*Questo volume è dedicato
alla memoria di
Carlo Felice Boni.
Docente di Idrogeologia
all'Università degli Studi di Roma
"La Sapienza",
grande professionista
appassionato dell'idrogeologia ed
eccellente professore dalle indiscutibili
capacità didattiche.
È stato tra i pochi a definire un tipo
d'idrogeologia trasferibile alla gestione
delle risorse idriche, rendendo
quantitativa l'analisi idrogeologica
a scala regionale.
Una figura che ha spiccato per la sua
chiarezza ed integrità e per le
sue indiscusse capacità di analisi e di
proposta di soluzioni dei problemi.
È stato per tutti noi una
guida culturale, i suoi
insegnamenti rimangono un
tesoro inesauribile.*

(Gli Autori)

PRESENTAZIONE

Il Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo ha tra i propri compiti istituzionali anche quello di favorire la raccolta, l'elaborazione, l'archiviazione, la diffusione di dati geologico-ambientali, nonché la formazione e l'aggiornamento delle carte geotematiche del territorio.

La cartografia idrogeologica rappresenta in modo sintetico e in forma globale le principali informazioni idrogeologiche esistenti su un determinato territorio.

Essa costituisce pertanto una base di lavoro indispensabile per coloro che operano nel settore ed uno strumento tecnico-scientifico fondamentale per le attività finalizzate alla gestione ottimale delle risorse idriche e alla loro salvaguardia e tutela da potenziali contaminanti.

Gli studi illustrati in questo volume sono stati ottenuti dalle informazioni idrogeologiche raccolte in aree campione di varie situazioni del territorio italiano e finalizzati alla sperimentazione di linee guida per una migliore rappresentazione cartografica.

Il Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo, che con questo volume ha voluto contribuire all'avanzamento dell'esperienza scientifica finora maturata in quest'ambito di ricerca, continuerà a promuovere iniziative sulla cartografia idrogeologica, al fine di dare un sostanziale apporto alla conoscenza delle risorse idriche sotterranee.

PREFACE

The Geological Survey of Italy is currently involved in the official mandate of collecting, elaborating, storing and diffusing geological-environmental data and of compiling and updating the geothematic maps of the Italian territory.

The hydrogeologic cartography illustrates in a symbolic but exhaustive way the main hydrogeologic information collected within a specific territory, thus representing a main tool for researches concerned with sustainable management, safeguard from contamination and protection of the groundwater resources.

The studies illustrated in this volume derive from the results of the hydrogeological information collected in pilot areas showing different specific situations of the Italian territory and aimed to the testing of the guidelines for the hydrogeological cartographic representation.

The Geological Survey of Italy, confident that this volume may represent an effort to the implementation of the scientific knowledge on that topic, is going to promote the hydrogeologic cartography realization, for providing a qualified contribution to the knowledge on groundwater resource.

Dott. Leonello SERVA

*Direttore del
Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo*

INTRODUZIONE

La cartografia geotematica a carattere idrogeologico raccoglie un importante patrimonio conoscitivo di base ed è uno strumento tecnico-scientifico di riferimento per la tutela e la corretta gestione delle risorse idriche sotterranee. La realizzazione della cartografia idrogeologica non può prescindere da linee guida che garantiscano l'omogeneità dei contenuti e della rappresentazione. La "Carta Idrogeologica d'Italia - scala 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (Quaderno SGN n.5, serie III, 1995), parte integrante della collana dei Quaderni del Servizio Geologico Nazionale (ora ISPRA-Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia), è nata nell'ambito del progetto CARG (Cartografia geologica e tematica) ed è uno strumento di indirizzo per il rilevamento, la rappresentazione e l'informatizzazione dei dati della cartografia idrogeologica.

Le specifiche tecniche della "Guida" definiscono le modalità di rilevamento dei dati, che dovrà essere eseguito alla scala 1:25.000 e successivamente sintetizzato alla scala 1:50.000 dagli stessi rilevatori che hanno operato in campagna. La documentazione e i dati di interesse idrogeologico raccolti e/o rilevati in campagna dovranno essere finalizzati alla produzione della Carta Idrogeologica a scala 1:50.000 del territorio nazionale e delle relative note illustrative; alla predisposizione delle carte complementari alle scale opportune, allegate alle note illustrative o inserite a margine della cartografia idrogeologica; alla realizzazione della banca dati idrogeologica del territorio nazionale.

Il Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali (DSTN) - Servizio Geologico Nazionale della Presidenza del Consiglio dei Ministri (PCM), ha promosso nel 2001, in collaborazione con alcuni atenei italiani, un progetto di sperimentazione della "Guida" in aree campione rappresentative dei principali contesti idrogeologici del territorio nazionale (come depositi carbonatici e aree carsiche, depositi vulcanici, depositi alluvionali) e caratterizzate da elementi d'interesse sia per la presenza di risorse idriche sia per l'insorgere di problematiche ambientali rilevanti.

La sperimentazione è stata avviata in tre aree con diverse caratteristiche:

- Monti Cimini sud-orientali: lo studio è stato intrapreso in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi "Roma Tre" mediante la stipula di una convenzione ed ha interessato l'area vulcanica a SE del L. di Vico, nel bacino idrografico del Fiume Treia. La successione vulcanica, costituita da piroclastiti e lave, è sede di una falda superficiale d'interesse regionale controllata dalla morfologia del substrato flyschoidale.

- Monti Sibillini nord-occidentali: la sperimentazione è stata condotta in collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" nell'ambito di una convenzione che prevedeva lo studio di un'area appartenente al dominio carbonatico dei Monti Sibillini, ove ricorrono estesi acquiferi in successioni pelagiche calcareo-marnose ridotte e condensate dell'Appennino Umbro-Marchigiano.

- Monti del Matese e Piana di Boiano - Monte Totila e Piana del Fiume Sordo: sono state oggetto di collaborazione tramite una convenzione con il Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II": la prima area riguarda la porzione settentrionale dell'idrostruttura carbonatica dei Monti del Matese e la limitrofa Piana di Boiano, caratterizzate, rispettivamente, dalla presenza di un acquifero costituito prevalentemente da calcari di piattaforma e da una piana detritico-alluvionale; la seconda l'acquifero carbonatico del Monte Totila e l'adiacente Piana del Fiume Sordo, costituiti, rispettivamente, da successioni prevalentemente calcareo-silico-marnose di scarpata-bacino e da una piana fluvio-lacustre.

Nelle varie fasi di lavoro la collaborazione tra le varie strutture è stata molto attiva e ha avuto l'obiettivo di verificare criteri e metodologie, scambiare dati ed informazioni d'interesse, realizzare approfondimenti e momenti di confronto tecnico-scientifico.

Il progetto di sperimentazione ha interessato attività di:

- raccolta, analisi, archiviazione ed elaborazione sia di dati di letteratura sia di dati disponibili presso enti e strutture pubbliche;

- censimento dei punti d'acqua (pozzi e/o sorgenti) e definizione di una rete di monitoraggio significativa sulla quale sono state effettuate campagne stagionali e mensili di misure di portata di sorgenti (puntuali ed in alveo) e di corsi d'acqua, e di misure di livello freaticometrico nei pozzi;

- analisi chimico-fisiche speditive delle acque (temperatura, conducibilità elettrica e pH) nei punti di controllo.

I dati derivanti dalle attività sono stati organizzati secondo le indicazioni della "Guida" in database georiferiti che sono stati utilizzati per la predisposizione di elaborazioni e rappresentazioni grafiche e cartografiche.

Si vuole sottolineare che la sperimentazione proposta è necessariamente basata sull'acquisizione di dati e sulla realizzazione di misure dirette di campagna con la finalità di identificare gli aspetti quantitativi e qualitativi delle acque sotterranee e di proporli e rappresentarli in specifiche cartografie.

Le verifiche di applicabilità nelle aree suddette e la conseguente valutazione critica delle norme della "Guida" hanno contribuito alla definizione di proposte di modifica ed integrazione che potranno essere utilizzate per la redazione di un aggiornamento delle linee guida per la realizzazione della Carta Idrogeologica d'Italia.

Il progetto è stato promosso e avviato nel 2001 dal Dott. G.M. MARI, responsabile dell'Ufficio Idrogeologia del Servizio Geologico Nazionale dell'ex-DSTN. I responsabili scientifici per le Università sono stati: Prof. G. CAPELLI (per il settore Monti Cimini sud-orientali), Prof. C.F. BONI (per il settore dei Monti Sibillini nord-orientali) e Prof. P.B. CELICO (per il settore Monti del Matese-Piana di Boiano e Monte Totila-Piana del Fiume

Sordo). I responsabili di progetto per il DSTN sono stati, rispettivamente, la Dott.ssa A.R. SCALISE, il Dott. L. MARTARELLI e la Dott.ssa A. CACCIUNI. La valutazione delle attività è stata effettuata da specifiche commissioni, di cui hanno fatto parte la Dott.ssa A. CACCIUNI, l'Arch. A. LISI, il Dott. L. MARTARELLI, la Dott.ssa A.R. SCALISE, l'Arch. D. TACCHIA. Il Sig. R. VENTURA ha collaborato per gli aspetti informatici.

Il Dott. C. CAMPOBASSO, responsabile nel 2003 del Servizio Geologico, Scienze della Terra e Carte tematiche del Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia dell'APAT (ora ISPRA), ha consentito con entusiasmo la prosecuzione e lo sviluppo della sperimentazione della cartografia idrogeologica. Da questo periodo la Dott.ssa A.R. SCALISE ha seguito e coordinato le varie fasi del progetto fino alla conclusione.

Inoltre sempre nell'anno 2003, la sperimentazione cartografica idrogeologica è stata avviata anche nella Piana Reatina ed è stata condotta direttamente da personale del Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia dell'APAT (Dott. L. MARTARELLI, Dott.ssa A.R. SCALISE e Sig. A. SILVI) in collaborazione scientifica con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" (Prof. M. PETITTA). Lo studio ha interessato l'acquifero presente nei sedimenti sabbioso-limosi della piana alluvionale di Rieti e nei depositi detritici carbonatici limitrofi.

Le norme previste nella "Guida" sono state inoltre sperimentate in uno studio idrogeologico della Valle del Torrente Canera, che quindi è stato inserito in questo volume. Tale studio, condotto nel 2003-2004 direttamente da personale del Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia dell'APAT (Dott. L. MARTARELLI, Dott. F. PARIS, Dott.ssa A.R. SCALISE e Sig. A. SILVI) in collaborazione scientifica con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" (Prof. M. PETITTA), è stato realizzato per l'approfondimento delle caratteristiche idrogeologiche locali e per la definizione delle relazioni idrauliche tra l'acquifero alluvionale della Valle del T. Canera e l'acquifero residente nei rilievi carbonatici circostanti.

La pubblicazione dell'insieme degli studi effettuati, non prevista quando sono state avviate le diverse collaborazioni, è stata promossa nel 2005 dal Direttore del Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia, Dott. L. SERVA, che incaricava la Dott.ssa A.R. SCALISE ed il Dott. L. MARTARELLI di raccogliere, verificare e analizzare la documentazione prodotta dagli studi idrogeologici sopra citati al fine della loro pubblicazione in un volume delle "Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia" appositamente dedicato. Ciò al fine di dare la dovuta visibilità alle attività svolte ed ai risultati ottenuti ed, in generale, ai progetti di cartografia idrogeologica sviluppati nell'ambito del Servizio Geologico.

Pertanto, il presente volume raccoglie tutti i suddetti lavori, ampiamente revisionati ed aggiornati sia nei dati idrogeologici sia nella veste editoriale e cartografica; quest'ultima è stata notevolmente migliorata, resa uniforme tra le differenti cartografie idrogeologiche e, per quanto possibile, conforme alle indicazioni previste dalle norme della suddetta "Guida". Per tali aspetti cartografici, e per la collaborazione alla verifica preliminare della legenda idrogeologica della "Guida", ci si è avvalsi del contributo del Dott. M. ROMA e del Dott. V. VITALE, coordinati dall'Arch. D. TACCHIA.

FOREWORD

The hydrogeological cartography is a main reference technical-scientific tool for researches concerned with sustainable management and protection of groundwater resources. The hydrogeological cartography realization requires guidelines aimed to the homogeneity of the collected information and its representation. Regarding the Italian official cartography, these guidelines are reported in the "Carta Idrogeologica d'Italia - scala 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (Quaderno SGN n.5, serie III, 1995), published in the "Quaderni del Servizio Geologico Nazionale" editorial series, realized inside the Italian CARG Project (Geological and geothematic cartography) as a tool for the definition of survey, representation and informatization criteria for the hydrogeological mapping.

The technical rules of the CARG guidelines firstly deal with field survey activities and state that the hydrogeological information must be collected to the 1:25,000 scale and then reported on the map to the 1:50,000 scale by the same specialists who carried out the field activity. The hydrogeological documentation and field data will be elaborated for the realization of (i) the Hydrogeological Map of Italy at the 1:50.000 scale and the related Explanatory Notes; (ii) some complementary sketch maps at the opportune cartographical scale, which will be inserted in the Explanatory Notes or at the margin of the Hydrogeological Map; (iii) the hydrogeological database of the Italian territory.

The Italian "Presidenza del Consiglio dei Ministri (PCM) - Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali (DSTN) - Servizio Geologico Nazionale" (now ISPRA-Geological Survey of Italy/Land Resources and Soil Protection Dept.) has started, during 2001, a collaboration with some Italian University Geological Departments for the realization of a project aimed to the field testing of the Italian hydrogeological cartographical guidelines in pilot districts characterizing the main national hydrogeologic contexts (i.e.: calcareous and karst areas, volcanic deposits, alluvial plains) and showing a specific interest for both occurrence of groundwater resource and potential environmental degradation.

The selected test sites are listed below:

- the SE sector of the Monti Cimini district (Latium, Central Italy). Study carried out in collaboration with the University of "Roma Tre" - Geological Science Department. The study area is located SE from the Vico Lake and included in the

hydrographical basin of the Treia River, tributary of the Tiber River. The local volcanic deposits host a regional relevant aquifer. All these terrains overlay flysch deposits and marine and continental sediments.

- the NW sector of the Monti Sibillini district (Marche, Central-Northern Italy); collaboration with University of Rome "La Sapienza" – Earth Science Department. This district is characterized by important aquifers in the reduced, condensed and highly faulted calcareous-marly pelagic succession of the Umbria-Marche Apennine Chain.

- the Monti del Matese-Boiano Plain and Monte Totila-Sordo River Plain districts (Central-Southern Italy); collaboration with University of Naples "Federico II" – Geophysics and Volcanology Department. The N sector of the Matese hydrogeologic structure is characterized by the Abruzzi-Campanian carbonatic platform succession, hosting multiple interconnected and hanging aquifers at different elevations, bordered by the detrital-alluvial Boiano Plain. The hydrogeological unit of Monte Totila is composed by a mainly carbonatic-siliceous-marly succession of marine basin-slope environment, hosting a regional relevant aquifer, while fluvial-lacustrine deposits fill in the neighbouring Sordo River Plain.

The different working stages of the project were characterized by active collaboration among the partner institutions, aimed to verify the working criteria and methodology, to promote information and data exchange, to realize technical-scientific improvement on hydrogeological issues.

The project has included activity of:

- collection, organization, storage and elaboration of data from literature and previous studies from public and private organization archives;

- definition of operative monitoring networks of wells and springs;

- measuring of spring discharge, stream flow, piezometric levels;

- carrying out of temperature, electrical conductivity and pH analyses of waters.

The hydrologic and hydrogeological data were organized, following the guideline suggestions, in specific and distinct thematic informative layers, in shape format and ArcView environment, then opportunely managed for the realization of graphic and cartographic layouts.

It should be evidenced that the proposed guideline testing was based on field measurement surveys for allowing the definition of quantitative and qualitative aspects of groundwater and their appropriate mapping.

These field testing and the deriving critical evaluations of the current guidelines have allowed to define proposals of modifications and implementations, for contributing to a future revision of the Italian hydrogeological cartographical guidelines.

The project was promoted and started up during 2001 by Dr. G.M. MARI, responsible for the Hydrogeology Office of the former "Servizio Geologico Nazionale - DSTN - PCM". The charges of scientific project responsible entrusted by Universities were held by: Prof. G. CAPELLI (Monti Cimini Project), Prof. C.F. BONI (Monti Sibillini Project) and Prof. P.B. CELICO (Monti del Matese-Monte Totila Project). The corresponding charges of project responsible assigned by the DSTN were, respectively, held by Drs. A.R. SCALISE, Dr. L. MARTARELLI and Drs. A. CACCIUNI. Furthermore, Drs. A. CACCIUNI, Arch. A. LISI, Dr. L. MARTARELLI, Drs. A.R. SCALISE and Arch. D. TACCHIA attended the specific commissions for project evaluation. Mr. R. VENTURA collaborated for the computer informative aspects.

Dr. C. CAMPOBASSO, responsible from 2003 for the former "Servizio Geologico, Scienze della Terra e Carte tematiche" of the Geological Survey of Italy/Land Resources and Soil Protection Dept. – APAT (now ISPRA), enthusiastically approved the continuation and the implementation of the field testing of the hydrogeological cartography. From this year to its conclusion, Drs. A.R. SCALISE coordinated the project.

During 2003, the hydrogeological guideline testing also started in the Rieti Plain sector (Latium, Central Italy), under direct investigation by the hydrogeologists (Dr. L. MARTARELLI, Drs. A.R. SCALISE and Mr. A. SILVI) of the Geological Survey of Italy/Land Resources and Soil Protection Dept. – APAT and in scientific collaboration with the Earth Science Department of the University of Rome "La Sapienza" (Prof. M. PETITTA). The aquifers hosted in the sandy-silty sediments of the alluvial Rieti Plain and in the bordering calcareous detrital deposits have been studied.

The hydrogeological guidelines have also been tested in 2003-2004 by a research conducted in the Torrente Canera Valley (Latium, Central Italy), which was, then, opportunely inserted in this volume. This study, carried out under direct investigation by the hydrogeologists (Dr. L. MARTARELLI, Dr. F. PARIS, Drs. A.R. SCALISE and Mr. A. SILVI) of the Geological Survey of Italy/Land Resources and Soil Protection Dept. – APAT and in scientific collaboration with the Earth Science Department of the University of Rome "La Sapienza" (Prof. M. PETITTA), was realized to implement the local hydrogeological knowledge and to define the hydraulic relationships between the alluvial aquifer of the Torrente Canera Valley and the aquifer hosted within the neighbouring calcareous reliefs.

A comprehensive publication of these studies, not explicitly expected at the starting on of the various collaborations, was promoted in 2005 by the Director of the Geological Survey of Italy/Land Resources and Soil Protection Dept., Dr. L. SERVA, who charged Drs. A.R. SCALISE and Dr. L. MARTARELLI of collecting and verifying the obtained results of the cited hydrogeological studies, in order to allow their publication on a special volume of the "Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia" editorial series. The aim was to give visibility to those results and, in general, to the hydrogeological cartographical activity of the Geological Survey of Italy.

Therefore, the present volume collects all the previous researches, after an extensive revision and updating of both hydrogeological data and editorial and cartographical aspects. These latter have been widely implemented, uniformed among the different studies and, as much as it was possible, conformed to the guidelines. Dr. M. ROMA and Dr. V. VITALE carried out these aspects, under the coordination of Arch. D. TACCHIA.

Anna Rosa SCALISE, Lucio MARTARELLI

Progetto Verifiche sperimentali di applicabilità della Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995).

Finalità e contenuto della ricerca.

Risultati preliminari e valutazioni

*Guide to surveying and mapping of the Hydrogeological Map
of Italy at 1:50.000 scale. Experimental applicability check.*

Aim and contents of the research project.

Preliminary findings and evaluations

MARI G.M. (*)

RIASSUNTO - Il lavoro illustra le caratteristiche di un progetto di ricerca promosso nel 2000 dal Servizio Geologico Nazionale (1) con l'obiettivo di verificare la applicabilità della *Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia a scala 1:50.000* (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995).

La nota descrive il quadro generale di riferimento e il contesto che ha reso possibile la realizzazione del progetto (compiti istituzionali e assetto organizzativo del Servizio Geologico Nazionale, norme relative alle risorse idriche sotterranee) e confronta le linee guida per la cartografia idrogeologica pubblicate nel 1985 e nel 1995.

Il progetto è stato realizzato in collaborazione con l'Università degli Studi Roma Tre - Dipartimento di Scienze Geologiche nel settore sud orientale dei Monti Cimini, con l'Università degli Studi di Roma La Sapienza - Dipartimento di Scienze della Terra nel settore nord orientale dei Monti Sibillini e con l'Università degli Studi di Napoli Federico II

- Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia nelle aree dei Monti del Matese e del Monte Totila.

La nota illustra contenuto, finalità, modello logico di sviluppo, capitolato tecnico tipo, struttura organizzativa e costi, utilizzazione di strumenti e metodologie informatiche nelle vari fasi (dall'*input* dei dati, alla elaborazione, alla restituzione cartografica dei risultati) e indica possibili modalità di sviluppo del progetto con la finalità di una estensione al territorio nazionale o di una produzione cartografica per fogli a scala 1:50.000.

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia, Carta idrogeologica, Cartografia tematica, GIS Sistemi Informativi Geografici, Risorse idriche sotterranee.

ABSTRACT - This note describes the characteristics of a research project promoted in 2000 by the National Geological Survey (1)

(*) ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

(1) In sintesi: Servizio Geologico d'Italia (Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato; Servizio Geologico d'Italia (Ministero dell'Ambiente, ai sensi della legge 8.7.1986 n° 349); Servizio Geologico Nazionale (Presidenza del Consiglio dei Ministri, ai sensi dell'art.9 della legge 18.5.1989 n° 183); Servizio Geologico Nazionale (Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali - Presidenza del Consiglio dei Ministri, ai sensi del DPR 5.4.1993 n° 106); in APAT Agenzia per la protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (DPR 8.8.2002 n° 207); in ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (legge 6.8.2008 n° 133)

The purpose is to verify the applicability of the "Hydrogeological Map of Italy at 1:50,000 scale. Guide to surveying and mapping", published in 1995, in three test areas with presence of important groundwater resources.

The project has been carried out in cooperation with Department of Geologic Sciences, University of Roma Tre, in the south eastern sector of the Cimini Mountains, with Department of Earth Sciences, University of Roma La Sapienza, in a test area of the north eastern sector of the Sibillini Mountains, and with Department of Geophysics and Volcanology, University of Naples Federico II in the Matese and Totila mountains areas.

The paper describes the project references, the legislative context, the different institutional position and organization of the National Geological Survey, the laws regarding groundwater resources and monitoring activities from 1980 to 2000. Subjects, logical model of development, main stages, products and results has been illustrated. Computer methodologies and GIS tools were used throughout the research from the input of data, the collection and the georeferentiation, to databases development, to data processing, to output production and thematic mapping.

Moreover some possibilities of development of the research project has been pointed out.

KEY WORDS: Hydrogeology, Hydrogeological map, Thematic mapping, GIS Geographical Information System, Groundwater resources.

1. - INTRODUZIONE

Il Servizio Geologico Nazionale (1) ha sviluppato a partire dagli anni '90 attività orientate a definire le caratteristiche dei corpi idrici sotterranei, approfondire le problematiche relative al monitoraggio e realizzare reti sperimentali di controllo, valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento e verificare la applicabilità della *Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia a scala 1:50.000* pubblicata in Quaderni SGN n° 5, serie III, nel 1995.

In questo lavoro si intende approfondire il PROGETTO VERIFICHE SPERIMENTALI DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995) (2) promosso dal Servizio Geologico Nazionale nel 2000, e indicare obiettivi, contenuti, struttura organizzativa, costi e principali risultati conseguiti.

La cartografia tematica idrogeologica rappresenta un importante elemento conoscitivo di base e costituisce lo strumento tecnico-scientifico per le attività finalizzate alla tutela e alla corretta gestione delle risorse idriche sotterranee.

2. - QUADRO DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO

Si ritiene necessario indicare e descrivere i principali fattori che hanno determinato una progressiva evoluzione del contesto *culturale e scientifico* nel periodo 1980 - 2000, che hanno contribuito alla realizzazione del PROGETTO e ne rappresentano il quadro di riferimento.

Si assiste infatti alla emanazione di norme che da un lato introducono sostanziali modifiche nei compiti istituzionali e negli assetti organizzativi del Servizio Geologico Nazionale, dall'altro coinvolgono in modo più o meno diretto le risorse idriche sotterranee. Si sviluppano, a partire dalla seconda metà degli anni '80, progetti di cartografia geologica e geotematica estesi al territorio nazionale come il Progetto CARG (LETTIERI & CARA, 1998; LETTIERI & CARTA 2004, 2005; LETTIERI *et alii*, 2007).

In questo ambito si inseriscono: la produzione cartografica idrogeologica a scala 1:50.000 del Servizio Geologico d'Italia (FERRARA, 1970; CENTAMORE *et alii*, 1976; MOTTERAN *et alii*, 1993); la pubblicazione delle *Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico*, in Quaderni del Servizio Geologico d'Italia, serie II (JACOBACCI *et alii*, 1985) e della *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione*, in Quaderni del Servizio Geologico Nazionale n°5, serie III (MARI *et alii*, 1995); l'attività svolta dal 1985 dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche GNDICI-CNR e in particolare dalla Linea di Ricerca (VAZAR Vulnerabilità Acquiferi Zone ad Alto Rischio) che ha prodotto studi, indagini e cartografie a scala regionale e operativa, in aree campione del territorio nazionale (AA.VV., 1990, 1995, 1999; BARROCU, 1998; CIVITA, 1990a, 1990b; CIVITA, 1994; CIVITA & DE MAIO, 2002); le produzioni cartografiche degli Enti territoriali e di Istituti di Ricerca; la crescente e organica utilizzazione di strumenti e metodologie informatiche.

Nei paragrafi che seguono si descrivono i principali elementi che hanno contribuito a delineare, organizzare e realizzare la ricerca, e a individuare prodotti e risultati. Dal paragrafo 2.2. - RIFERIMENTI NORMATIVI al paragrafo 3.3. - CAPITOLO TECNICO, si è utilizzato il *corsivo* per evidenziare testi e parti di testi tratti dai documenti originali.

(2) Di seguito indicato anche come PROGETTO.

2.1. - LE PRIME REALIZZAZIONI DI CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA A SCALA 1:50.000

Le prime realizzazioni di cartografia idrogeologica a scala 1:50.000 del Servizio Geologico d'Italia sono costituite dal Foglio 611 Mistretta (FERRARA, 1970) e dal Foglio 291 Pergola (CENTAMORE *et alii*, 1976). Queste rappresentazioni non sembrano inquadrare in un obiettivo più generale di produzione di cartografie tematiche estese al territorio nazionale (figg. 1, 2).

2.2. - RIFERIMENTI NORMATIVI

Si indicano di seguito le norme che hanno determinato modifiche negli assetti istituzionali e organizzativi del Servizio Geologico e le norme che hanno interessato le risorse idriche sotterranee.

- Il D.P.C.M. 28.10.1988 *Organizzazione del Servizio geologico d'Italia* identifica (art. 1 comma 2) il Servizio Geologico d'Italia, nell'ambito del Ministero

dell'Ambiente, come:

- a) organo tecnico-scientifico dello Stato nel campo delle scienze della terra;
- b) sede di armonizzazione e di consulenza, nei settori di competenza, per la pubblica amministrazione statale, regionale e locale;
- c) organo cartografico dello Stato ai sensi dell'art. 1 della legge 2 febbraio 1960 n° 68.

Il comma 2 attribuisce al Servizio geologico d'Italia *autonomia funzionale e scientifica nello svolgimento dell'attività tecnica di servizio e ricerca, allo scopo di assicurare la salvaguardia e l'utilizzazione ottimale del territorio nazionale.*

All'art. 2 sono definite le *attribuzioni del Servizio geologico d'Italia*, che risultano:

- a) rilevare, aggiornare e pubblicare la Carta Geologica d'Italia alle scale topografiche idonee alle diverse esigenze;
- b) rilevare, aggiornare e pubblicare carte geotematiche a varie scale;
- c) armonizzare le altre attività di cartografia geologica di enti e organismi operanti a livello nazionale, regionale e locale;
- d) acquisire la documentazione e le informazioni geologi-

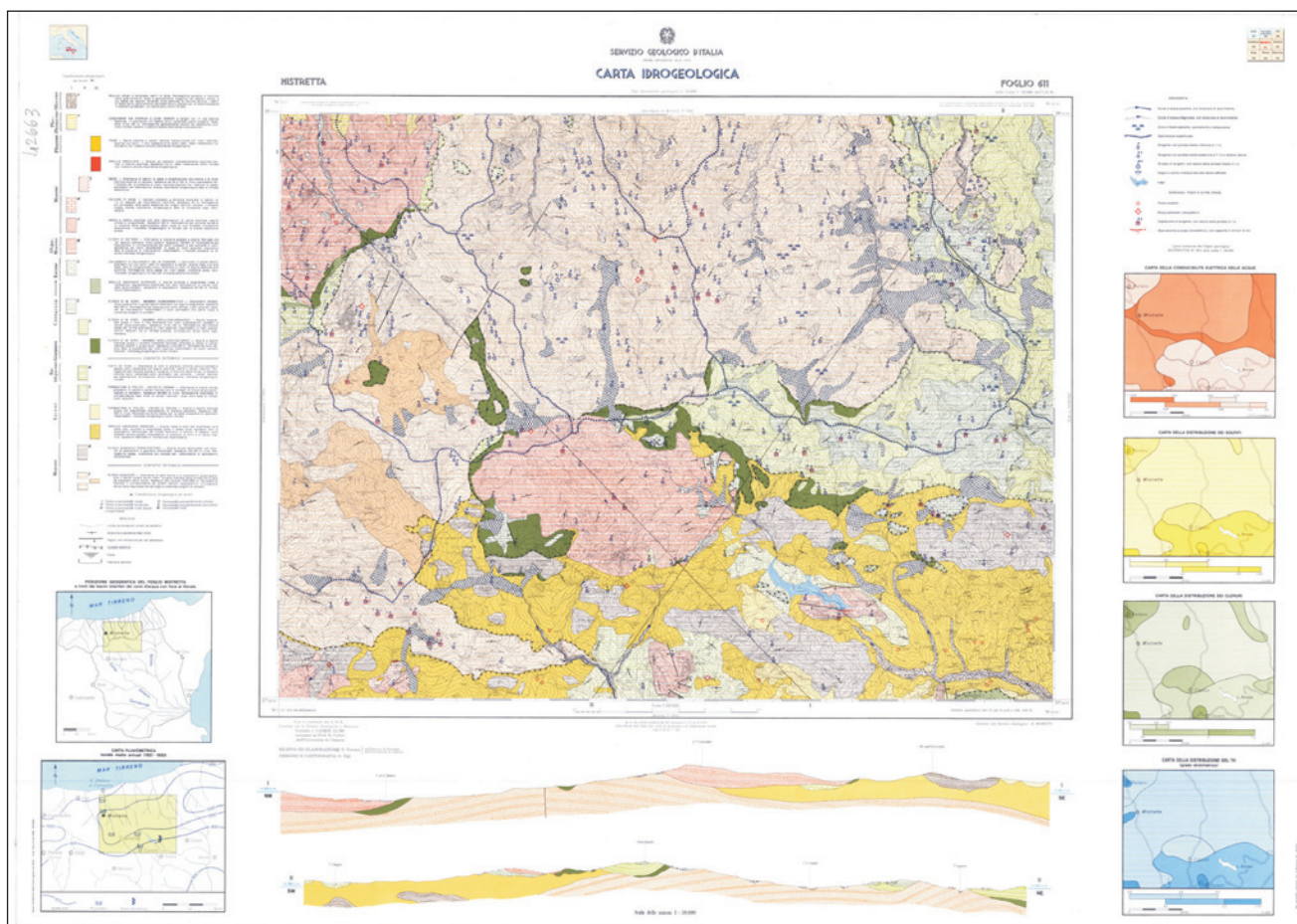


Fig. 1 - Carta Idrogeologica foglio 611 Mistretta a scala 1:50.000 (FERRARA, 1970).
- Hydrogeological map at 1:50.000 scale: sheet 611 Mistretta (FERRARA, 1970).

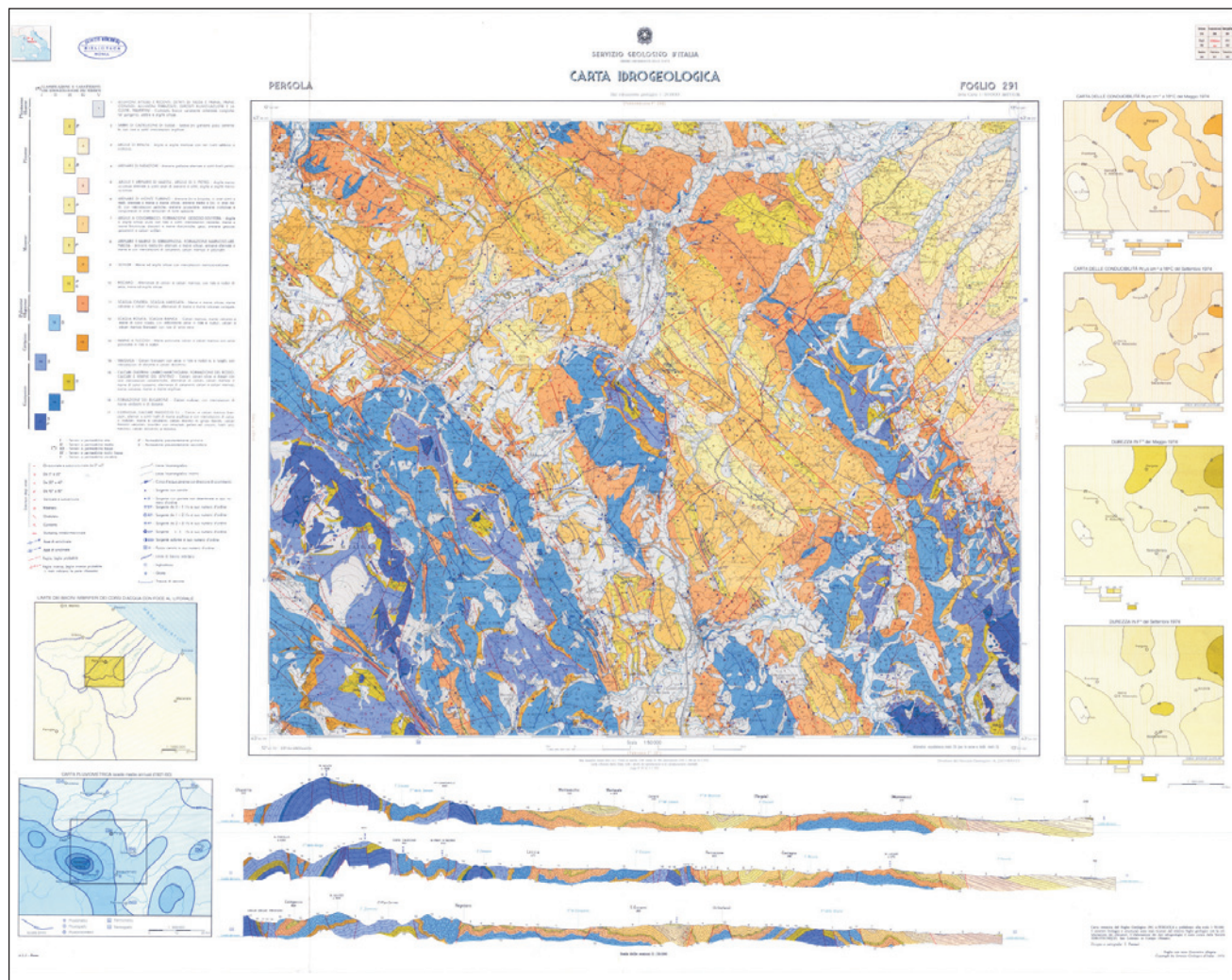


Fig. 2 - Carta Idrogeologica foglio 291 Pergola a scala 1:50,000 (CENTAMORE *et alii*, 1976).
- Hydrogeological map at 1:50,000 scale: sheet 291 Pergola (CENTAMORE *et alii*, 1976).

che, anche relative a studi effettuati dai diversi enti operanti sul territorio, al fine di costituire una banca dati nazionale, curandone all'occorrenza la gestione e garantendone la più ampia fruibilità;

e) raccogliere e catalogare i materiali di studio e le campionature, nonché le pubblicazioni inerenti le scienze della terra, curando la disponibilità delle relative collezioni;

f) eseguire ricerche, controlli e studi applicativi necessari per il corretto svolgimento delle proprie attribuzioni, per la conoscenza delle risorse dell'ambiente terrestre e marino nazionale e per la previsione dei rischi geologici;

g) esprimere pareri nel campo delle scienze della terra nei procedimenti relativi ad opere o ad attività di competenza di enti locali, amministrazioni dello Stato anche a ordinamento autonomo, regioni ed enti pubblici, ovvero ad opere o attività di privati soggette ad autorizzazione o vigilanza.

Per quanto attiene poi alla organizzazione degli uffici, l'art. 4 comma 2 definisce la struttura del Servizio geologico nella fase di primo impianto.

In particolare il II Settore - Territorio e Ambiente si articola in IV Centro - Difesa del Suolo e Geologia applicata, V Centro - Idrogeologia, VI Centro - Geologia Marina e Difesa delle coste.

- La Legge 18.05.89 n. 183 Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo attribuisce ai servizi tecnici nazionali, istituiti presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri (art. 9 comma 4) il compito di svolgere l'attività conoscitiva, realizzare il sistema informativo unico e la rete nazionale integrati di rilevamento e sorveglianza e fornire dati, pareri e consulenze.

Nella attività conoscitiva, riferita all'intero territorio nazionale sono comprese, tra l'altro (art. 2 comma 1) le azioni di: raccolta, elaborazione, archiviazione e diffusione dei dati; accertamento, sperimentazione, ricerca e studio degli elementi dell'ambiente fisico e delle condizioni generali di rischio; formazione e aggiornamento delle carte tematiche del territorio; valutazione e studio degli effetti conseguenti alla

esecuzione dei piani, dei programmi e dei progetti di opere.

L'attività conoscitiva (art. 2 comma 2) è svolta secondo criteri, metodi e standards di raccolta, elaborazione e consultazione, nonché modalità di coordinamento e di collaborazione tra i soggetti pubblici comunque operanti nel settore, che garantiscano la possibilità di omogenea elaborazione ed analisi e la costituzione e gestione, ad opera dei servizi tecnici nazionali, di un unico sistema informativo, cui vanno raccordati i sistemi informativi regionali e quelli delle province autonome.

- Del D.P.R. 24.01.1991 n. 85 Regolamento concernente la riorganizzazione ed il potenziamento dei Servizi tecnici nazionali geologico, idrografico e mareografico, sismico e dighe nell'ambito della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ai sensi dell'art. 9 della legge 18.05.1989 n. 183, si segnalano l'art. 20 comma 1, che ribadisce i compiti istituzionali del Servizio Geologico Nazionale e l'art. 21 Organizzazione del Servizio geologico nazionale, che definisce le aree, che svolgono una attività di coordinamento intersettoriale per materia (comma 2) e i settori (comma 3), e tra questi ultimi il Settore 4 Idrogeologia.

- Il D.P.R. 5.04.1993 n° 106 Regolamento concernente la riorganizzazione e il potenziamento dei Servizi Tecnici Nazionali nell'ambito della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ai sensi dell'art. 9 della legge 18.05.1989 n° 183 introduce tra l'altro modifiche alla organizzazione del Servizio Geologico Nazionale e alla dotazione organica, che tuttavia non rilevano in questo lavoro.

- Legge 10.05.1976 Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento.

All'art.1 è definito l'oggetto della legge:

- a) disciplina degli scarichi di qualsiasi tipo, pubblici e privati, diretti e indiretti, in tutte le acque superficiali e sotterranee, interne e marine, sia pubbliche che private, nonché in fognature nel suolo e nel sottosuolo;
- b) la formulazione dei criteri generali per l'utilizzazione e lo scarico delle acque in materia di insediamenti;
- c) l'organizzazione dei pubblici servizi di acquedotto, fognature e depurazione;
- d) la redazione di un piano generale di risanamento delle acque, sulla base di piani regionali;
- e) il rilevamento sistematico delle caratteristiche qualitative e quantitative dei corpi idrici.

- Deliberazione Comitato dei Ministri 4.02.1977

Allegato 1: Criteri generali e metodologie per il rilevamento delle caratteristiche qualitative e quantitative dei corpi idrici e per la formazione del catasto degli scarichi.

Al Cap. I sono individuati e descritti i corpi idrici: laghi e serbatoi, corsi d'acqua naturali e artificiali, acque di transizione, acque costiere, falde acquifere sotterranee.

Il Cap. II definisce nel dettaglio le metodologie per

il rilevamento delle caratteristiche qualitative e quantitative dei corpi idrici.

In particolare al punto E) Falde acquifere sotterranee si legge:

1. Notizie generali

Presupposto di ogni indagine idrologica sulle acque sotterranee è la preliminare individuazione del corpo idrico sotterraneo e del relativo bacino idrogeologico, da conseguirsi mediante ricerche geologiche, geofisiche e idrologiche.

È da tenere comunque presente che nel caso delle acque sotterranee, a causa delle difficoltà nella individuazione dei corpi idrici e della complessa struttura del serbatoio sotterraneo, le approssimazioni nelle valutazioni si presentano frequentemente inferiori a quelle relative alle acque superficiali.

Si dovrà comunque pervenire a una caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei nei loro seguenti aspetti:

- a) modalità e condizioni di alimentazione e di deflusso, sia naturale che artificiali;
- b) proprietà idrogeologiche delle formazioni rocciose acquifere e loro distribuzione spaziale (porosità, permeabilità, trasmissività);
- c) caratteristiche idrodinamiche (carico idraulico, velocità media, portata);
- d) caratteristiche di qualità dell'acqua di falda (temperatura e principali proprietà chimiche e batteriologiche).

In generale la conoscenza dell'assetto idrogeologico e delle caratteristiche idrologiche dei corpi idrici sotterranei è basata principalmente su un inventario dei pozzi di vario tipo esistenti e delle manifestazioni sorgentizie, che rappresentano i punti di acquisizione dei dati diretti.

Sarà pertanto da prevedere l'esecuzione di un censimento dei pozzi e delle sorgenti (sinora attuato solo in modo parziale) e il contemporaneo accertamento delle opportune caratteristiche idrogeologiche, idrologiche e idrochimiche.

La conoscenza dei corpi idrici sotterranei, mercè anche l'adozione, se del caso, di metodi specializzati (quali quelli geofisici, geochimici e radioattivi) risulterà perfettibile a mano a mano che si disporrà di ulteriori informazioni. Nelle indagini una particolare attenzione dovrà sempre essere data alla vulnerabilità delle falde rispetto agli inquinanti diretti e indiretti, come pure alla diffusione dei contaminanti una volta raggiunta la falda, e alla capacità autodepurante della falda medesima.

2. Utilizzazioni prevalenti attuali.

- a) Uso potabile: si indicheranno le portate complessive emunte dal corpo idrico per uso potabile (l / s valore medio annuo);
- b) Uso industriale: si indicheranno i volumi d'acqua complessivi emunti dal corpo idrico e destinati a insediamenti produttivi (mc/g valore medio annuo);
- c) Uso agricolo: si indicheranno i volumi d'acqua complessivi emunti dal corpo idrico per uso irriguo (l / s valore medio del primo periodo irriguo), trascurando le captazioni inferiori a 5 l / sec.

Le informazioni sulle utilizzazioni sono collegate

alla preparazione dell'inventario dei pozzi e delle sorgenti. Parallelamente dovranno essere indicati e precisati tutti gli scarichi sul suolo e nel sottosuolo che ricadono nel bacino idrogeologico, come pure le caratteristiche di qualità dei corpi idrici superficiali (corsi d'acqua, laghi, serbatoi) che risultano alimentare i corpi idrici sotterranei. Per le falde freatiche particolarmente vulnerabili si forniranno notizie sulle condizioni di utilizzo dei terreni superficiali, ove ha luogo l'alimentazione delle falde stesse per infiltrazione.

3. Caratteristiche idrologiche

Sotto il profilo idrologico assumono particolare rilievo le indagini che si rendono necessarie per lo studio ed il controllo del regime delle falde sotterranee, non solo in dipendenza delle variazioni di livello, ma anche in funzione delle portate che vengono sottratte alle falde stesse mediante emungimenti dai pozzi ed il libero deflusso delle acque sorgentizie. Tali indagini hanno importanza preminente, ma ciò non di meno sarà opportuno eseguire altre ricerche per la determinazione di altri elementi caratteristici quale principalmente il tasso di rinnovamento, e cioè il rapporto tra il deflusso medio annuo sotterraneo ed il volume idrico della falda, atto ad evidenziare la possibilità di ricarica naturale della falda medesima.

Gli elementi idrologici che in via prioritaria dovranno essere accertati sono costituiti essenzialmente dai livelli freatici e piezometrici e dalle portate che vengono emunte dai pozzi o defluiscono liberamente dalle sorgenti, tutti elementi da rilevare secondo le metodologie del servizio idrografico del Ministero dei lavori pubblici. Le misurazioni dovranno essere svolte più volte nell'anno idrologico, e possibilmente in modo contemporaneo ai punti di osservazione di un medesimo corpo idrico.

Comunque, data la complessità dell'indagine da effettuare, nella prima fase della stessa si potranno utilizzare i dati disponibili relativi a studi già eseguiti o comunque facilmente rilevabili, rivolgendo l'attenzione soltanto a quelle falde interessate da problemi di inquinamento.

Siccome la carenza di informazioni potrà essere (anche in quest'ultimo caso) cospicua, si dovranno intraprendere, se necessario, studi idrogeologici completi, con l'impiego di metodi geofisici e radioattivi e con programmi di perforazione di nuovi pozzi.

4. Caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche

Anche le indagini relative alla qualità delle acque dovranno essere effettuate più volte, con frequenza almeno stagionale, nell'anno e possibilmente in modo contemporaneo ai punti di osservazione significativi di un medesimo corpo idrico, scelti in maniera adeguata.

In particolare per la caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei sotto il profilo qualitativo, le determinazioni dovranno essere, in generale, limitate ad un ristretto numero di parametri analitici fondamentali. Accanto a

questi si dovranno rilevare, caso per caso, parametri specifici, legati cioè alla presenza di particolari fenomeni di contaminazione.

I parametri da quantificare in ogni caso, a scopo di comparazione e di valutazione di massima dello stato di qualità sono i seguenti:

- temperatura dell'acqua (secondo manuale IRSA);
- durezza (secondo manuale IRSA);
- conducibilità (secondo manuale IRSA);
- specie ioniche fondamentali (Na, K, Ca, Fe, Cl, SO₄, NO₃ - manuale IRSA);
- indici batteriologici (coli fecali e totali - manuale IRSA).

- Il D.P.R. 24.05.1988 n. 236 *Attuazione della Direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano*, ai sensi dell'art. 15 della legge 16.04.1987 n. 183 introduce (art. 4) le aree di salvaguardia delle risorse idriche:

1. Per assicurare, mantenere e migliorare le caratteristiche qualitative delle acque da destinare al consumo umano, sono stabilite aree di salvaguardia distinte in zone di tutela assoluta, zone di rispetto e zone di protezione.

2. Le zone di tutela assoluta e le zone di rispetto si riferiscono alle sorgenti, ai pozzi e ai punti di presa; le zone di protezione si riferiscono ai bacini imbriferi ed alle aree di ricarica delle falde.

Sono definite poi le funzioni di competenza statale (art. 8) e tra queste sono individuate: lettera d) le norme tecniche per la tutela preventiva e per il risanamento delle acque destinate al consumo umano, nonché i criteri generali per la individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche e lettera g) le norme tecniche per lo scavo, perforazione, trivellazione, manutenzione, chiusura e riapertura di pozzi per acqua.

Al D.P.R. 24.05.1988 n. 236 sono allegati: I *Requisiti di qualità - Elenco dei parametri*, II: *Modelli e frequenze delle analisi delle acque destinate al consumo umano* e III: *Metodi analitici di riferimento*.

L'attuazione del D.P.R. 24.05.1988 n. 236 favorisce nel territorio nazionale lo sviluppo degli studi e delle ricerche sulle risorse idriche sotterranee destinate al consumo umano. Questi studi si riferiscono alla definizione delle caratteristiche quantitative e qualitative delle acque sotterranee ma determinano anche approfondimenti originali riferiti sia alla vulnerabilità che alle metodologie da utilizzare nella realizzazione delle aree di salvaguardia (AA.VV., 1988; AA.VV., 1990; AA.VV., 1995; AA.VV., 1999; CIVITA, 1988; CIVITA, 1994).

Il Servizio Geologico Nazionale partecipa con un proprio rappresentante (3) ai lavori delle Commissioni istituite per la definizione delle norme tecniche di cui alle lettere d) e g) del D.P.R.

24.05.1988 n. 236.

- Anche le disposizioni normative successive, il D.Lgs. 12.07.1993 n° 275 *Riordino in materia di concessione di acque pubbliche*, la Legge 05.01.1994 *Disposizioni in materia di risorse idriche*, e il D.Lgs. 11.05.1999 n° 152 *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*, a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258 favoriscono la attività conoscitiva e definiscono elementi di tutela e di controllo delle risorse idriche.

In particolare il D.Lgs. 11.05.1999 n° 152 promuove una nuova fase di sviluppo delle conoscenze sulle risorse idriche sotterranee del territorio nazionale, sulla base di un complesso di attività finalizzate alla definizione dello stato ambientale delle risorse idriche sotterranee attraverso la identificazione degli acquiferi, la definizione di modelli concettuali idrogeologici e il monitoraggio delle caratteristiche quantitative e qualitative.

2.3. - NORME PER LA CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA E DEL RISCHIO GEOLOGICO (Quaderni Servizio Geologico d'Italia, serie II, 1, 1985, IPZS, Roma)

La necessità di prevedere riferimenti finalizzati a garantire anche per le carte geotematiche omogeneità di contenuti e di rappresentazione si manifesta nel decennio successivo alla realizzazione delle prime cartografie idrogeologiche a scala 1:50.000 (FERRARA, 1970; CENTAMORE *et alii*, 1976) e si concretizza nella attività di gruppi di lavoro costituiti con l'obiettivo di predisporre specifiche norme.

Si fa riferimento al gruppo di lavoro proposto dal Comitato Geologico nella seduta del 13.11.1974, composto da A. Jacobacci, C.F. Boni, M. Govi, C. Merlo, L. Pannuzi, A. Valdinucci, membri, N. Zattini (membro-segretario), integrato nel 1978 da P. Bono. Alla stesura finale del documento contribuiscono P. Messina e G.C. Ventura.

Le *Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico* sono state pubblicate nei Quaderni del Servizio Geologico d'Italia, Serie II, 1 (JACOBACCI *et alii*, 1985).

Nella introduzione si riconosce che la necessità di pervenire a una più razionale ed economica gestione coordinata del territorio rende indilazionabile la realizzazione di una adeguata cartografia tematica che accompagni quella litostratigrafica e che esprima le caratteristiche fisiche del territorio secondo le esigenze relative ai temi di ricerca.

La produzione di siffatta cartografia riferita all'intero

territorio nazionale deve rispecchiare indirizzi e tendenze unitarie, rispondendo a una normativa generale che consenta la esecuzione di documenti omogenei dai quali sviluppare ulteriori ricerche operative a livello locale.

È avvertita la necessità che le carte tematiche oggetto della presente normativa, debbono essere, pur nel rigore scientifico e tecnico, tali da evidenziare i problemi pratici per modo che gli utilizzatori possano comprendere l'importanza dei temi rappresentati e quindi affidare le soluzioni tecniche agli specialisti.

Per quanto si riferisce alle scale di lavoro, la scala 1:50.000 può essere considerata operativa a livello di progettazione di massima, supportata da una attività di campagna a scala 1:25.000 o anche maggiore, integrata da studi di laboratorio e da ogni altra informazione. La scala regionale, almeno 1:250.000, fornisce una informazione d'insieme dei fenomeni riconosciuti nel territorio in esame ed è realizzabile anche utilizzando i dati già pubblicati (JACOBACCI *et alii*, 1985).

Con specifico riferimento alla cartografia idrogeologica si afferma che negli ultimi anni è andata sempre più affermandosi la tendenza ad abbandonare, almeno parzialmente, i criteri cartografici enunciati nella "Legenda per le carte idrogeologiche" (UNESCO, 1970); tendenza intesa nel senso di ridurre la rappresentazione dei caratteri più schiettamente geologici del territorio, per dare maggiore risalto alla cartografia dei parametri più specifici del processo infiltrazione - percolazione - emergenza che caratterizzano i fenomeni idrogeologici, e per rappresentare questi parametri in modo quantitativo, con la migliore approssimazione passibile nei limiti imposti dai tempi e dai mezzi a disposizione.

La pubblicazione di queste "norme" deve essere considerata una operazione preliminare per ogni tentativo di tutela e di razionale gestione del patrimonio idrico che deve essere conosciuto con il maggiore dettaglio possibile.

Scopo di queste norme è quello di facilitare la preparazione di documenti cartografici che, oltre a rappresentare i lineamenti idrogeologici regionali di prevalente interesse scientifico, forniscano all'utente ogni possibile informazione espressa in termini quantitativi, anche se definiti per approssimazione, circa l'entità delle risorse idriche localmente disponibili, la loro qualità e la loro distribuzione in superficie e nel sottosuolo.

La scala più opportuna di una siffatta carta idrogeologica è 1:50.000; essa non solo consente di conoscere la distribuzione territoriale delle risorse idriche ma è utile, nello stesso tempo, all'ulteriore sviluppo di ricerche operative.

Si aggiunge poi che si ritiene opportuno far precedere lo sviluppo del rilevamento idrogeologico a quella scala da una indagine a carattere regionale per la preparazione di un documento di lavoro a scala compresa tra 1:200.000 e 1:500.000, documento che faccia il punto dello stato delle conoscenze già acquisite e consenta di tracciare le grandi linee della circolazione regionale.

In assenza di una cartografia litostratigrafica di base la

cartografia idrogeologica rappresenterà i parametri litologici, strutturali, idrogeologici, idrologici e idrochimici schematizzati nella forma più adatta ad esprimere i lineamenti idrogeologici regionali e locali.

La legenda è concepita in modo che nella documentazione cartografica risultino chiaramente gli aspetti idrogeologici che maggiormente caratterizzano il territorio: ruscellamento, infiltrazione, percolazione e emergenza.

A tale fine sono indicate:

- le aree nelle quali prevale il processo di infiltrazione, e quindi di ricarica degli acquiferi, e le aree dove domina invece il ruscellamento di superficie;

- le aree nelle quali prevale il processo di percolazione; queste sono cartografate in modo selettivo, segnalando con particolare evidenza le caratteristiche degli acquiferi più accessibili, cioè posti a profondità tale da rendere conveniente la costruzione di pozzi;

- i luoghi di emergenza delle acque sotterranee, ciascuna delle quali caratterizzata dai valori di portata media, dal regime e dai fondamentali caratteri chimico-fisici.

Tutti gli affioramenti, non più distinti dal grado di permeabilità relativa, sono individuati da classi di infiltrazione efficace (i.e. in mm/anno) o di trasmissività (T in m^2/sec) e sono suddivisi in tre grandi gruppi litologici, nell'ambito dei quali sono previste ulteriori suddivisioni.

Il significato idrogeologico degli affioramenti è distinto da colori; le diverse tonalità di ciascun colore esprimono classi con differenti valori relativi alla ricarica degli acquiferi (i.e.) e alla potenzialità idrica delle falde sotterranee (\bar{T}).

La legenda idrogeologica, costruita in analogia a quella pubblicata dall'UNESCO (1970) si articola in: Idrologia di superficie, Idrogeologia sotterranea, Litofacies distinte in funzione della infiltrazione efficace (i.e.) e della trasmissività (T), Opere artificiali, Idrologia carsica.

In Appendice alle Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico (AA.VV., 1985) sono riportati i simboli relativi ai limiti, diversi per significato idrogeologico, da utilizzare per una accurata definizione delle modalità di circolazione delle acque sotterranee.

Nell'ambito delle carte derivate e complementari della carta idrogeologica, si segnalano tra l'altro, la carta idrogeologica di vulnerabilità delle falde idriche, la subsidenza indotta, il chimismo delle acque sotterranee e superficiali, le forme carsiche ipogee ed epigee.

La prima applicazione delle Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico (JACOBACCI *et alii*, 1985) si realizza con il Foglio 389 Anagni (fig. 3) alla scala 1:50.000 (MOTTERAN *et alii*, 1993).

2.4. - CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000. GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE. (Quaderni SGN n° 5, Serie III, IPZS, Roma, 1995).

Con riferimento ai compiti istituzionali derivanti dalla Legge 18.05.89 n. 183 Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo, in

relazione all'avvio del progetto di realizzazione della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 e delle carte geotematiche (CARG), si sviluppano in ambito SGN una serie di attività con l'obiettivo di definire specifici contributi normativi, orientati ai diversi tematismi, da realizzare attraverso il confronto tra tecnici, esperti di settore e utenti istituzionali, con la finalità di garantire omogeneità di contenuti e di rappresentazione.

In questo nuovo contesto si provvede quindi in tempi relativamente brevi alla pubblicazione dei Quaderni del Servizio Geologico, serie III, in particolare i volumi:

1 - Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento (PASQUARÈ *et alii*, 1992).

2 - Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida alla rappresentazione cartografica (COSCI *et alii*, 1996).

3 - Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida alla informatizzazione (CARA *et alii*, 1995).

4 - Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento (BRANCACCIO *et alii*, 1994).

5 - Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione (MARI *et alii*, 1995).

6 - Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Banca dati geologici (linee guida per l'informatizzazione e per l'allestimento per la stampa dalla banca dati (ARTIOLI *et alii*, 1997).

Seguiranno poi le pubblicazioni:

7 (7 fascicoli) - Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle formazioni (DELFRATI *et alii*, 2000).

8 - Carta Geologica dei Mari italiani alla scala 1:250.000. Guida al rilevamento (D'ANGELO & VENTURA, 2002).

9 - Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica (GERMANI *et alii*, 2003).

10 - Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000. Guida alla rappresentazione cartografica (COSCI *et alii*, 2007).

11 - Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida all'uso del manuale cromatico di riferimento per la stampa delle carte geologiche (TACCHIA, 2007).

Con l'obiettivo di definire le linee guida per la realizzazione della Carta Idrogeologica d'Italia a scala 1:50.000 viene costituito nel 1989 un gruppo di lavoro che vede la partecipazione di tecnici del Servizio Geologico Nazionale e di esperti di settore: A. AURELI (Università di Catania), G. BARROCU (Università di Cagliari), C.F. BONI (Università di Roma), P.B. CELICO (Università di Napoli), M. CIVITA (Università di Torino), V. FRANCANI (Università di Milano), G. GIULIANO (IRSA-CNR), M. GOVI (CNR-IRPI di Torino), F. GUZZETTI (CNR-IRPI di Perugia), G.M. MARI (SGN), G. MOTTERAN (SGN), T. NANNI (Univer-

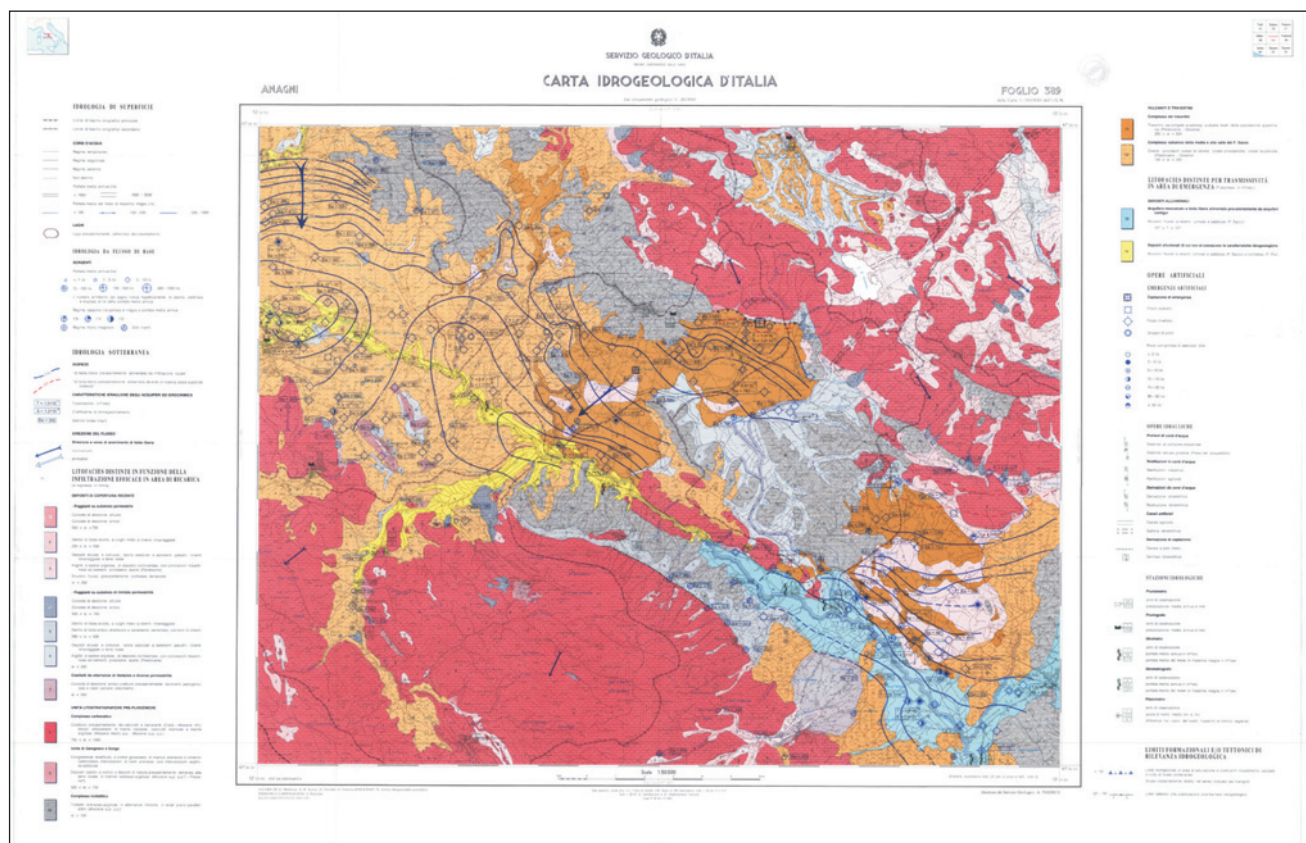


Fig. 3 - Carta Idrogeologica foglio 389 Anagni a scala 1:50.000 (MOTTERAN *et alii*, 1993).
- Hydrogeological map at 1:50.000 scale: sheet 389 Anagni (MOTTERAN *et alii*, 1993).

sità di Ancona), M. PELLEGRINI (Università di Modena), F. PETRONE (SGN), G. PRANZINI (Università di Firenze), A.R. SCALISE (SGN), T. TADOLINI (Università di Bari), D. TERRIBILI (SGN), G. VENTURA (ENEA) e N. ZATTINI (SGN).

Una efficace sintesi delle attività svolte dal gruppo di lavoro è riportata nella *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione* (MARI *et alii*, 1995) in Premessa:

Nel corso degli incontri è emerso che la rappresentazione cartografica degli affioramenti in funzione di valori relativi alla infiltrazione efficace e alla trasmissività (come previsto dalla normativa del 1985) non sembra ancora applicabile, alla luce delle conoscenze fino ad oggi acquisite e delle sperimentazioni effettuate, a tutto il territorio. Per avere quindi una cartografia omogenea a livello nazionale e utilizzabile in sede operativa come strumento conoscitivo per la corretta gestione e tutela delle risorse idriche, risulta opportuno rappresentare gli affioramenti in funzione della permeabilità relativa.

Tenendo conto delle esperienze e dei suggerimenti dati dai singoli esperti, vengono qui proposte dal SGN le linee guida per la realizzazione della cartografia idrogeologica ufficiale.

Ulteriori esperienze e sperimentazioni su tutte le varie

situazioni idrogeologiche presenti nel nostro territorio, potranno aggiornare, perfezionare e dare una veste definitiva al presente documento.

È dunque il Servizio Geologico Nazionale a proporre, coerentemente con i propri compiti istituzionali, le linee guida per la realizzazione della cartografia idrogeologica ufficiale (MARI *et alii*, 1995).

Nella *Introduzione* si evidenzia che la documentazione e i dati di interesse idrogeologico raccolti e/o rilevati in campagna sono finalizzati:

- alla produzione della Carta Idrogeologica a scala 1:50.000 del territorio nazionale e delle relative note illustrative;
- alla predisposizione delle carte complementari alle scale opportune, allegate alle note illustrative o inserite a margine della carta idrogeologica;
- alla realizzazione della banca dati idrogeologica del territorio nazionale.

L'insieme degli elementi conoscitivi raccolti ed elaborati e delle cartografie prodotte dovranno essere restituiti sia su supporto cartaceo che acquisiti e organizzati su supporto magnetico.

Le modalità di acquisizione, organizzazione e restituzione su supporto magnetico degli elementi conoscitivi rac-

colti ed elaborati e delle cartografie prodotte saranno evidenziati in una successiva pubblicazione.

La legenda idrogeologica si articola in 8 tavole: Tavola A - Idrologia di superficie; Tavola B - Idrologia sotterranea; Tavola C - Complessi idrogeologici distinti in funzione del loro grado di permeabilità relativa; Tavola D - Opere artificiali; Tavola E - Aree carsiche; Tavola F - Simboli litologici; Tavola G - Limiti relativi alla cartografia idrogeologica; Tavola H - Complessi idrogeologici distinti in funzione della infiltrazione efficace e/o della trasmissività.

Nella Introduzione è specificato che le Tavole da A a G si riferiscono alla carta idrogeologica di base; la Tavola H, relativa alla carta complementare da allegare alle note illustrative, dovrà essere realizzata solo in presenza di strutture idrogeologiche idonee e di dati sufficienti.

Parte integrante della normativa sono le specifiche tecniche, che hanno l'obiettivo di definire la distribuzione spaziale e le cadenze temporali nonché la modalità di esecuzione di alcune operazioni di rilevamento delle caratteristiche dei corpi idrici che assumono un ruolo determinante nella predisposizione della carta idrogeologica.

Considerata la varietà di situazioni idrogeologiche che caratterizza il territorio nazionale, è opportuno sottolineare che le norme tecniche hanno un carattere di indicazioni generali e che, quindi, i criteri e le modalità di esecuzione delle operazioni di rilevamento dovranno essere preventivamente concordate con i funzionari del Settore IV Idrologia e verificate in corso d'opera.

Le specifiche tecniche si articolano in: Censimento dei dati idrogeologici; Idrologia di superficie; Idrologia sotterranea; Caratteristiche degli acquiferi; Caratteristiche idrodinamiche; Caratteristiche idrochimiche; Complessi idrogeologici distinti in funzione della infiltrazione efficace e/o della trasmissività.

2.5. - SVILUPPO DI SPECIFICI ASPETTI E CONFRONTO TRA LE NORME

Dal confronto tra la *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione* (MARI et alii, 1995) e le *Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico* (JACOBACCI et alii, 1985) derivano riflessioni e considerazioni di un certo interesse.

La differenza principale consiste nella scelta di descrivere e quindi di rappresentare cartograficamente gli affioramenti non in funzione della infiltrazione efficace e della trasmissività ma in funzione della permeabilità relativa.

La scelta non è dettata in realtà da motivazioni tecnico-scientifiche ma piuttosto dalla necessità di realizzare una cartografia omogenea a livello nazionale e utilizzabile in sede operativa come strumento conoscitivo per la corretta gestione e tutela delle risorse idriche. Necessità derivante dai compiti istituzionali del Servizio Geologico e dal quadro nor-

mativo, in particolare dalla applicazione della legge 18.05.89 n. 183 *Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*, che individua nell'ambito della attività conoscitiva riferita all'intero territorio nazionale, insieme ad altre azioni, la formazione e all'aggiornamento delle carte tematiche, utilizzando criteri, metodi e standards in grado di garantire una omogeneità di contenuti tecnico-scientifici, di elaborazione e di rappresentazione.

Nella *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione* (MARI et alii, 1995) si introducono ulteriori elementi informativi (ad esempio: Limite della intrusione marina. Curva corrispondente al valore di 500 ppm di cloruri; quota dell'interfaccia acqua dolce-acque fossili), e si esplicita il contenuto quantitativo della ricerca idrogeologica e della sua rappresentazione cartografica.

In particolare nei paragrafi, *Idrologia di superficie* (Tav. A), *Idrologia sotterranea* (Tav. B) e *Caratteristiche degli acquiferi* (Tav. B, III) delle specifiche tecniche si approfondiscono concetti già presenti nelle *Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico* (JACOBACCI et alii, 1985), che vengono ulteriormente caratterizzati relativamente a quantificazione e cadenze temporali delle misure.

Si fa riferimento alla definizione delle portate dei corsi d'acqua perenni attraverso i dati relativi ad almeno 24 misure consecutive con cadenza mensile; alla definizione degli scambi idrici tra corsi d'acqua superficiali e acque sotterranee attraverso l'esecuzione di misure consecutive di portata su sezioni di corsi d'acqua da effettuare in differenti situazioni di regime del corso d'acqua e della falda e in occasione di differenti portate del corso d'acqua.

Si introduce poi il concetto di *rete di monitoraggio quantitativa*, costituita da sorgenti con portata media annua superiore o uguale a 1 l/s e da pozzi, con una previsione di misure (Q sorgenti e livello statico della falda nei pozzi) con cadenza mensile per almeno 24 mesi consecutivi, e di misure con cadenza temporale minima trimestrale per la rimanente durata del progetto.

Un altro elemento di interesse è rappresentato dalla indicazione che *in presenza di unità idrogeologiche costituite da falde libere e da più falde in pressione alle diverse profondità, si dovranno prevedere reti di monitoraggio per le misure periodiche di livello dell'acqua differenziate per ciascuno degli acquiferi individuati. In queste situazioni la densità della rete di monitoraggio dovrà necessariamente tenere conto del numero di pozzi esistenti nel territorio per ciascun orizzonte acquifero.*

Per quanto attiene infine alle *Caratteristiche idrochimiche* (Tav. B, III, 4) si introduce il concetto di *punto d'acqua campionabile* (pozzo e sorgente che consente il prelievo di campioni prima di eventuali immissioni in serbatoi e autoclavi) e di *rete di monitoraggio qualitativa*,

costituita da pozzi e sorgenti utilizzate a scopo idropotabile eventualmente integrati con altri punti d'acqua.

Il prelievo di campioni e le analisi chimiche dovranno essere effettuate con cadenza semestrale da laboratori di strutture pubbliche.

L'approfondimento di specifici aspetti e la introduzione di nuovi elementi di caratterizzazione quantitativa e qualitativa derivano dalle indicazioni contenute nelle norme riferite alle risorse idriche sotterranee segnalate nel paragrafo 2.2. - RIFERIMENTI NORMATIVI, dagli studi realizzati dal Servizio Geologico Nazionale e/o in avanzata fase di realizzazione in collaborazione con altri Enti. Gli studi interessano aree campione del territorio nazionale - con presenza di rilevanti risorse idriche sotterranee e di una elevata pressione antropica - e sono caratterizzati da un contenuto metodologico e tematico innovativo: vulnerabilità all'inquinamento, realizzazione di reti di monitoraggio delle risorse idriche sotterranee, infiltrabilità (ANTONELLI & MARI, 1993; ANTONELLI *et alii*, 1993; BONDESAN *et alii*, 1994; ANTONELLI *et alii*, 1996; IRSA, 1996).

Nella *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione* (MARI *et alii*, 1995) è possibile riconoscere da un lato la consapevolezza dello sviluppo tecnico-scientifico che si è nel frattempo determinato, e insieme le potenzialità offerte dalla utilizzazione di strumenti e metodologie informatiche nelle varie fasi, dall'*input* dei dati alla realizzazione di banche dati, alla elaborazione cartografica dei risultati. E anche la individuazione di un nuovo importante obiettivo strategico: la rappresentazione cartografica (carta idrogeologica, carte complementari) rappresenta infatti uno dei prodotti possibili delle attività di raccolta, analisi ed elaborazione dei dati, finalizzati anche alla *realizzazione della banca dati idrogeologica del territorio nazionale*.

3. - PROGETTO VERIFICHE SPERIMENTALI DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995) (2)

3.1. - MOTIVAZIONI, FINALITÀ E CONTENUTO

Il quadro di riferimento del PROGETTO è, come si è detto, rappresentato da un insieme di norme, compiti istituzionali, struttura organizzativa del

Servizio Geologico Nazionale, progetti di ricerca estesi al territorio nazionale, studi e indagini di specifico tematismo idrogeologico realizzati dal Servizio Geologico Nazionale.

Un rilevante contributo alla realizzazione del PROGETTO è rappresentato dalla sua *identificazione con un obiettivo* dell'incarico di direzione dell'Ufficio Idrogeologia del Servizio Geologico Nazionale (4).

Gli obiettivi dell'incarico (art. 3 comma 1) si sostanziano nella propulsione e nel coordinamento delle linee di attività dell'Ufficio. In particolare, in aree campione di rilevante interesse idrogeologico e ambientale, si provvederà, anche in collaborazione con altri Enti, a:

A - definire le caratteristiche dei corpi idrici sotterranei;

B - approfondire le problematiche relative al monitoraggio delle acque sotterranee e realizzare reti sperimentali di controllo;

C - valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento;

D - verificare la applicabilità della guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia su scala 1:50.000.

Dopo la pubblicazione della *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione* (MARI *et alii*, 1995) il Servizio Geologico Nazionale ha realizzato ulteriori approfondimenti relativi alla utilizzazione di differenti metodologie di valutazione della vulnerabilità all'inquinamento e all'impiego di metodologie e strumenti informatici per la gestione dinamica di sistemi integrati di valutazione (GIULIANO *et alii*, 1998); alla organizzazione e alla sperimentazione di reti di controllo (MARI *et alii*, 1999; MARI *et alii*, 2000; ANTONELLI *et alii*, 2001); alla elaborazione dei dati idrogeologici e idrochimici, al confronto di reti di monitoraggio e alla ottimizzazione della gestione di progetti stabili di osservazione della caratteristiche quantitative e qualitative (ANTONELLI & MARI, 2003).

Il Servizio Geologico Nazionale promuove quindi nel 2000 il PROGETTO con l'obiettivo di realizzare cartografie idrogeologiche in aree campione del territorio nazionale, rappresentative dei principali contesti idrogeologici e caratterizzate dalla presenza di elementi di interesse relativi alle utilizzazioni delle risorse idriche sotterranee e alle problematiche ambientali.

Nella definizione e nella organizzazione del PROGETTO sono stati considerati diversi fattori. In particolare lo sviluppo del Progetto CARG, la crescente utilizzazione di strumenti e di metodologie informatiche nelle varie fasi, e non ultimi, i limiti

(4) Conferito dal Direttore del Servizio Geologico Nazionale A. TODISCO a G.M. MARI in data 24. 7. 2000.

presenti, in ragione del tempo trascorso dalla istituzione del gruppo di lavoro (1989), nelle linee guida per la realizzazione della cartografia idrogeologica, che rimandavano a una *successiva pubblicazione la definizione delle modalità di acquisizione, organizzazione e restituzione su supporto magnetico degli elementi conoscitivi raccolti ed elaborati e delle cartografie prodotte* (MARI *et alii*, 1995).

In altri ambiti disciplinari, per superare analoghe limitazioni si è provveduto a sviluppare specifiche procedure e realizzare prodotti quali ad esempio la *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Banca dati geologici. Linee guida per l'informatizzazione e per l'allestimento per la stampa dalla banca dati* (ARTIOLI *et alii*, 1997).

In ambito idrogeologico si è ritenuto di non dover ulteriormente procrastinare la realizzazione della cartografia idrogeologica a scala 1:50.000 e di individuare ulteriori finalizzazioni, diverse dalla applicabilità delle linee guida a specifici contesti territoriali, da approfondire e sviluppare nel corso della sperimentazione.

Tra queste in particolare:

- sviluppare strumenti e metodologie informatiche nelle varie fasi, dall'input dei dati alla elaborazione cartografica dei risultati;
- procedere alla sperimentazione delle linee guida e, per quanto possibile, alla *informatizzazione* del Quaderno SGN n° 5.

Per queste ragioni si troveranno nel *capitolato tecnico tipo* (paragrafo 3.3.) riferimenti generici alle metodologie di *archiviazione, organizzazione dei dati, elaborazione su supporto informatico* e alla *utilizzazione per quanto possibile delle linee guida per l'informatizzazione previste per la Carta Geologica d'Italia 1:50.000* (Quaderni SGN n° 6, serie III, 1997 e Quaderni SGN n° 3, serie III, 1995).

Si può infatti leggere: *I dati, le elaborazioni e rappresentazioni grafiche e cartografiche derivanti dalle attività presenti in convenzione saranno forniti su supporto cartaceo e digitale, organizzati con sistemi numerici da concordare con il Servizio Geologico Nazionale.*

E per quanto si riferisce alla utilizzazione della simbologia: *Il layout di stampa non farà riferimento per la sua rappresentazione al Quaderno n° 5, serie III, 1995, pur mantenendo la corretta leggibilità dei dati presenti sulla Carta Idrogeologica in scala 1:25.000 e 1:50.000.*

Un elemento discriminante della sperimentazione è rappresentato dal *contenuto quantitativo* del rilevamento e della rappresentazione cartografica del tematismo idrogeologico, già esplicitato nelle linee guida (MARI *et alii*, 1995) e confermato dalla previsione di sviluppare in modo sistematico le misure (ad esempio: di livello di falda, di portata delle sorgenti e dei corsi d'acqua), che rappresen-

tano la informazione da associare a tabelle, grafici, *database* e/o da evidenziare nella rappresentazione cartografica.

Si è adottato un modello logico di sviluppo del PROGETTO articolato in fasi distinte, che prevedono rispettivamente di:

- identificare le caratteristiche delle aree di indagine;
- predisporre un *capitolato tecnico tipo*;
- individuare i potenziali contraenti con l'obiettivo di ridurre i tempi di realizzazione, mantenere una elevata qualità scientifica alla ricerca e ai prodotti, contenere i costi di realizzazione;
- realizzare una collaborazione tra Servizio Geologico Nazionale e contraenti, verificare criteri e metodologie utilizzate nelle varie fasi, scambiare dati e informazioni, con approfondimenti e momenti di confronto tecnico - scientifico;
- sviluppare il coordinamento e l'armonizzazione delle attività, con integrazioni e rimodulazioni in relazione alle difficoltà incontrate e ai risultati raggiunti, con la finalità di mantenere un carattere *unitario* al progetto di ricerca, anche se articolato in specifiche convenzioni e riferito a contesti territoriali diversi.

3.2. - CARATTERISTICHE DELLE AREE DI INDAGINE

In relazione agli obiettivi di progetto, si è ritenuto che le aree campione nelle quali sviluppare le sperimentazioni dovessero avere i seguenti requisiti:

- essere rappresentative dei principali contesti idrogeologici del territorio nazionale per struttura idrogeologica e tipo di circolazione idrica (ad esempio: complessi carbonatici e aree carsiche, complessi metamorfici e cristallini, complessi vulcanici, complessi alluvionali, complessi di aree e pianure costiere, etc.);
- essere caratterizzate dalla presenza di elementi di interesse relativi alla utilizzazione prevalente delle risorse idriche sotterranee (uso potabile, agricolo, industriale, etc.) e alle problematiche ambientali (vulnerabilità naturale all'inquinamento; attività civili, agricole e industriali potenzialmente inquinanti, etc.);
- avere una estensione in grado di ottenere una rappresentazione dei diversi elementi simbolici e cartografici valutabile in termini di efficacia;
- essere conosciute dal punto di vista idrogeologico (ad esempio: dati esistenti e disponibili relativi alla struttura idrogeologica e alla circolazione idrica, schede e di sorgenti e pozzi, dati idrochimici e delle utilizzazioni) in modo da concentrare la sperimentazione sugli *obiettivi di progetto* più che sulle specifiche problematiche idrogeologiche;

- consentire tempi di realizzazione della sperimentazione dell'ordine di 14 -16 mesi.

3.3. - CAPITOLATO TECNICO

Il *capitolato tecnico* tipo di seguito evidenziato rappresenta la traduzione operativa di quanto previsto in Quaderni SGN n° 5 (MARI *et alii*, 1995) sia in termini di tipologia dei dati da raccogliere che di definizione di misure da effettuare e di procedure da utilizzare.

Premessa

Il Servizio Geologico Nazionale ha promosso il PROGETTO VERIFICHE SPERIMENTALI DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995).

Oggetto della Convenzione:

Oggetto della convenzione è la realizzazione del Programma di Lavoro GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000. VERIFICHE DI APPLICABILITÀ NEL SETTORE ...

Fasi di progetto, interventi e prodotti:

L'area oggetto di studio e di sperimentazione si identifica con il settore ... in allegato 1. L'area interessa le tavolette IGM alla scala 1: 25.000: ...

Sono previste tre fasi di lavoro, per una durata complessiva di ... mesi.

Fase 1 - *Acquisizione dei dati di base e delle conoscenze geologiche, idrologiche e idrogeologiche fondamentali.*
- Raccolta dei dati e dei documenti di interesse relativi a geologia, idrologia, idrogeologia, idrochimica, disponibili presso enti pubblici, enti di ricerca, università. In particolare: sorgenti localizzate (normali, mineralizzate fredde, mineralizzate termali, emanazioni gassose) e lineari di subalveo, pozzi (uso potabile, irriguo e industriale), sondaggi di interesse stratigrafico, opere di captazione per uso potabile, pozzi profondi perforati per ricerche geotermiche, sezioni di misura delle portate in alveo, stazioni idrologiche (idrometriche, pluviometriche, termometriche), chimismo delle acque, livelli di falda. Le caratteristiche idrodinamiche degli acquiferi e le derivazioni e/o restituzioni in alveo saranno censite limitatamente ai soli dati ufficiali;

- analisi, classificazione, elaborazione e controllo dei dati e dei documenti raccolti;

- aggiornamento e integrazione dei dati idrogeologici, idrologici e idrochimici nel corso del progetto;

- definizione del regime di tutti i corsi d'acqua presenti (temporaneo, stagionale, perenne, non definito);

- definizione della portata media annua e della portata media del mese di massima magra per tutti i corsi d'acqua perenni, laddove siano disponibili misure pluriennali;

- realizzazione di ... misure di portata per tutti i corsi

d'acqua perenni, a cadenza stagionale;

- valutazione dei rapporti falda-fiume attraverso la ricostruzione della superficie piezometrica e attraverso una serie di misure consecutive di portata su sezioni (minimo 2) di corsi d'acqua, in differenti condizioni di regime del corso d'acqua e della falda e in occasione di differenti portate del corso d'acqua, da ripetere almeno stagionalmente (1 ogni 3 mesi);

- schede monografiche delle stazioni di misura delle portate;

- tabelle e grafici delle misure di portata eseguite;

- censimento delle sorgenti e delle emergenze diffuse e/o lineari, e censimento dei pozzi. Schede monografiche relative (tab. 4, tab. 1 e tab. 2, Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995);

- definizione di una rete di monitoraggio (pozzi e sorgenti) da utilizzare per le misure periodiche di portata e di livello statico della falda. Si dovranno prevedere, laddove possibile, reti di monitoraggio differenziate per ciascuno degli acquiferi individuati (falde libere e/o falde in pressione). Si dovranno altresì prevedere dove possibile pozzi alternativi da utilizzare come riserva. Nella definizione della rete di monitoraggio e nella realizzazione delle misure si procederà a partire da una rete preliminare, in stretta relazione con l'acquisizione dei dati del censimento delle sorgenti e dei pozzi;

- realizzazione di...misure di livello di falda nei pozzi della rete/reti di monitoraggio, con cadenza...; - realizzazione di...misure di portata per le sorgenti che costituiscono la rete di monitoraggio, con cadenza...;

- esecuzione di analisi chimico-fisiche speditive delle sorgenti e dei pozzi (T°C, conducibilità, pH, etc.) in occasione delle misure di portata e di livello di falda;

- definizione del regime delle sorgenti con portate medie annue superiori a 10 l/s, sulla base dei dati disponibili;

- aggiornamento delle schede monografiche delle sorgenti (tab. 4 e 5, Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995) e dei pozzi (tab. 1, tab. 2 e tab. 3, Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995).

- definizione delle quote in m s.l.m. dei punti d'acqua che costituiscono la rete di monitoraggio (pozzi e sorgenti);

- reperimento, dove possibile, di prove di portata eseguite in pozzi significativi e valutazione dei parametri idrodinamici degli acquiferi.

Le basi topografiche da utilizzare nella fase di raccolta dei dati esistenti e nella fase di rilevamento di campagna possono essere: le sezioni, se disponibili, alla scala 1:25.000 della cartografia IGMI, complete di planimetria, orografia ed idrografia; le tavolette alla scala 1:25.000 della cartografia IGMI purché aggiornate e inquadrare nel sistema ED 50; la cartografia tecnica regionale alla scala 1:10.000 e 1:25.000, se disponibile, purché rispondente ai requisiti geometrici e alla precisione di rilievo, conformi agli standard IGMI.

Fase 2 - Analisi e elaborazione dei dati:

- confronto tra i dati e i documenti di interesse raccolti presso Enti pubblici, di ricerca, università, imprese private, e i dati rilevati in campagna;

- analisi e validazione dei dati;
- selezione, archiviazione e organizzazione dei dati raccolti e delle misure su supporto cartaceo e su supporto informatico;
- elaborazione dei dati su supporto cartaceo e su supporto informatico;
- redazione e elaborazione di dati di interesse idrologico e idrogeologico, selezionati in specifici e distinti livelli tematici. Si distingueranno: reticolo idrografico; spartiacque superficiale; tratti di corso d'acqua drenante o disperdente; sezioni di misura; derivazioni in alveo; restituzioni in alveo; laghi; canali artificiali; complessi idrogeologici; limiti idrogeologici; sorgenti localizzate e diffuse; pozzi e perforazioni; isopiezometriche; spartiacque sotterranei; direzioni di flusso; caratteristiche idrodinamiche; sorgenti termominerali e minerali, emanazioni gassose, pozzi che interessano acque minerali o termali; etc. I livelli informativi saranno classificati secondo quanto previsto in Quaderni SGN n° 5;
- utilizzazione di opportuni modelli concettuali nella redazione delle corrispondenti tabelle di riferimento per gli attributi relativi agli elementi geometrici presenti in carta, e definizione per gli oggetti puntuali, lineari e poligonali dei campi di valori presenti esclusivamente in legenda e delle loro coordinate geografiche. Agli attributi definiti secondo il Quaderni SGN n° 5, verranno associati, in accordo con il Servizio Geologico Nazionale, campi chiave ai quali sarà possibile collegare database esterni, già disponibili, utili alle finalità di progetto;
- utilizzazione per quanto possibile delle linee guida per l'informatizzazione previste per la Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (Quaderni SGN n° 3 e 6 serie III, IPZS, Roma, 1995, 1997);
- identificazione e predisposizione di ulteriori livelli informativi.

I dati, le elaborazioni e rappresentazioni grafiche e cartografiche derivanti dalle attività presenti in convenzione saranno forniti su supporto cartaceo e digitale, organizzati con sistemi numerici da concordare con il Servizio Geologico Nazionale.

Gli strati informativi derivati, organizzati in formato shape realizzati in ambiente ArcView, e le informazioni tematiche raccolte, saranno rappresentate sulla cartografia di base in formato raster alla scala 1:25.000 relativa alle tavolette IGMI scala 1:25.000 V, tagliate secondo le "nuove" sezioni 1:25.000. I dati e le elaborazioni relativi alle indagini e alle misure effettuate saranno forniti in formato vettoriale.

Il layout di stampa non farà riferimento per la sua rappresentazione al Quaderno SGN n° 5, serie III, 1995, pur mantenendo la corretta leggibilità dei dati presenti sulla Carta Idrogeologica in scala 1:25.000 e 1:50.000.

Fase 3 - Interpretazione dei dati, realizzazione della carta idrogeologica e prodotti finali:

- definizione di un modello della circolazione idrica sotterranea e dei suoi rapporti con quella superficiale, in rela-

zione a: caratteristiche fisiche e geometriche dei complessi idrogeologici, limiti dei bacini idrogeologici, rapporti fra acque superficiali e acque sotterranee, curve isopiezometriche delle falde, principali direttrici del deflusso idrico sotterraneo;

- profili idrogeologici a varia scala;
- calcoli di bilancio idrogeologico;
- identificazione degli elementi di criticità presenti nell'area oggetto di studio (depauperamento della risorsa, etc.);
- valutazione critica della Carta Idrogeologica - 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995), e proposte di modifiche e integrazioni sulla base delle sperimentazioni effettuate;
- valutazione critica delle relazioni individuate, in sede di applicazione del Quaderno SGN n° 5, tra i vari livelli informativi e eventuale proposta di incremento delle relazioni con riferimento alle finalità del progetto;
- realizzazione della Carta Idrogeologica alla scala 1:25.000 con legenda e sezioni;
- realizzazione della Carta Idrogeologica alla scala 1:50.000 con legenda e sezioni;
- note illustrative, con elementi di bilancio idrico degli acquiferi e cartografie tematiche di complemento o supporto della carta idrogeologica di base.

Le basi topografiche da utilizzare per la consegna dei dati e degli elaborati possono essere: le sezioni, se disponibili, alla scala 1:25.000 della cartografia IGMI, complete di planimetria, orografia ed idrografia; le tavolette alla scala 1:25.000 della cartografia IGMI purché aggiornate e inquadrare nel sistema ED 50; la cartografia tecnica regionale alla scala 1:10.000 e 1:25.000, se disponibile, purché rispondenti ai requisiti geometrici e alla precisione di rilievo, conformi agli standard IGMI.

Modalità di consegna dei dati e dei prodotti della ricerca:

I dati raccolti, le misure effettuate, le analisi, le elaborazioni grafiche e cartografiche effettuate nelle varie fasi della ricerca, i risultati e i prodotti dello studio saranno consegnati su supporto cartaceo (1 copia) e su supporto informatico (CD Rom) secondo lo schema di seguito specificato.

A partire dalla data di notifica della avvenuta approvazione della Convenzione si produrranno :

- entro ... mesi, un rapporto contenente i dati di studi precedenti e di studi reperiti in bibliografia nonché i dati derivanti dalle prime attività di campagna. Il rapporto sarà integrato da elaborati grafici e cartografici preliminari (carta dei complessi idrogeologici, carta del substrato del sistema acquifero sotterraneo, etc.);
- entro ... mesi, un rapporto contenente i dati, l'analisi, l'elaborazione, le rappresentazioni grafiche e cartografiche relative alle attività effettuate (pozzi e sorgenti censite, misure di portata delle sorgenti e misure di livello di falda nei pozzi, analisi chimico-fisiche speditive, carte isopiezometriche relative alle campagne di misura effettuate, etc.);
- entro ... mesi, un rapporto finale contenente i dati, l'a-

analisi, l'elaborazione, le rappresentazioni grafiche e cartografiche relative alle attività effettuate. Il rapporto finale conterrà altresì la carta idrogeologica alla scala 1:25.000 con legenda e sezioni, la carta idrogeologica alla scala 1:50.000 con legenda e sezioni, e sarà corredato dalle schede monografiche dei pozzi e delle sorgenti e dalle note illustrative.

Responsabile scientifico del programma di lavoro ...

Costi e modalità di pagamento:

Per la realizzazione della ricerca è prevista una spesa di euro...IVA inclusa. Alla consegna della documentazione prevista entro...mesi dalla data di notifica della avvenuta approvazione della Convenzione e successivamente alla approvazione di una Commissione tecnico-scientifica saranno corrisposti i seguenti importi ...IVA inclusa, pari al ...%, ...%, ...% dell'importo complessivo indicato.

Collaborazione tra Servizio Geologico Nazionale e...

In fase di attuazione della convenzione si dovrà realizzare una collaborazione tra Servizio Geologico Nazionale e ... , con l'obiettivo di verificare criteri e metodologie utilizzate nelle varie fasi, scambiare dati e informazioni di interesse, realizzare approfondimenti e momenti di confronto tecnico - scientifico.

Proprietà dei dati e dei prodotti delle attività:

La documentazione, le elaborazioni ed i prodotti delle attività previste in Convenzione rimangono di esclusiva proprietà del Servizio Geologico Nazionale. Di quanto sopra il Servizio Geologico Nazionale potrà disporre per qualunque uso, nel rispetto delle norme previste sulla proprietà intellettuale.

3.4. - LA SCELTA DEI CONTRAENTI

Per quanto concerne questo aspetto si operato con l'obiettivo di mantenere una elevata qualità scientifica alla ricerca e ai prodotti, di ridurre i tempi di realizzazione delle sperimentazioni e contenere i costi, anche attraverso la utilizzazione di conoscenze già acquisite in specifici ambiti territoriali.

Il Servizio Geologico Nazionale ha ritenuto necessario chiedere la collaborazione di G. CAPELLI (Università degli Studi Roma Tre - Dipartimento di Scienze Geologiche) in relazione alle conoscenze acquisite e alle sperimentazioni effettuate nei depositi vulcanici; di P.B. CELICO (Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia) in relazione alle attività e agli studi effettuati nei complessi idrogeologici dell'Italia centro-meridionale e di C.F. BONI (Università degli Studi di Roma La Sapienza - Dipartimento di Scienze della Terra) in relazione alle attività e agli studi effettuati nei complessi idrogeologici dell'Italia centrale.

3.5. - STRUTTURA DEL PROGETTO E CONVENZIONI

Definite le caratteristiche delle aree di indagine e elaborato il *capitolato tecnico tipo*, sulla base dei Programmi di lavoro presentati dalle Università, sono state stipulate le convenzioni con la Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali - Servizio Geologico Nazionale, individuati i *Responsabili del progetto per conto della Amministrazione* e i componenti delle *Commissioni di valutazione* secondo lo schema di seguito indicato:

1 - Università degli Studi Roma Tre - Dipartimento di Scienze Geologiche.

Oggetto: GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000. VERIFICHE DI APPLICABILITÀ NEL SETTORE SUD ORIENTALE DEI MONTI CIMINI.

Responsabile scientifico del Programma di Lavoro: G. CAPELLI, professore associato di Geologia Applicata e Idrogeologia.

Durata 14 mesi.

Costi: 61.162,96 euro IVA inclusa.

Responsabile del progetto per conto della Amministrazione: A.R. SCALISE.

Commissione di valutazione: A. CACCIUNI, L. MARTARELLI, A. LISI.

2 - Università degli Studi di Roma La Sapienza - Dipartimento di Scienze della Terra.

Oggetto: GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000. VERIFICHE DI APPLICABILITÀ NEL SETTORE NORD-ORIENTALE DEI MONTI SIBILLINI.

Responsabile scientifico del Programma di Lavoro: C.F. BONI, professore di Idrogeologia e Idrogeologia Applicata.

Durata: 14 mesi.

Costi: 57.016,84 euro IVA inclusa.

Responsabile del progetto per conto della Amministrazione: L. MARTARELLI.

Commissione di valutazione: A.R. SCALISE, A. CACCIUNI, D. TACCHIA.

3 - Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia.

Oggetto: VERIFICHE SPERIMENTALI DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 NELLE AREE DEI MONTI DEL MATESE E DEL MONTE TOTILA.

Responsabile scientifico del Programma di Lavoro: P.B. CELICO, ordinario di Idrogeologia.

Durata: 16 mesi.

Costi: 58.442,26 euro IVA inclusa.

Responsabile del progetto per conto della Amministrazione:

zione: A. CACCIUNI.

Commissione di valutazione: A.R. SCALISE, L. MARTARELLI, D. TACCHIA.

3.6. - CONSIDERAZIONI

Con l'obiettivo di evidenziare la complessità delle problematiche affrontate e le soluzioni adottate, in particolare per quanto riguarda la utilizzazione di strumenti e metodologie informatiche nelle varie fasi, si ritiene opportuno segnalare una serie di approfondimenti sviluppati nell'ambito della realizzazione del PROGETTO.

In primo luogo la *Proposta di modello dati G.I.S. per la strutturazione dell'informazione idrogeologica a partire dalla Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995)*, in collaborazione con il Laboratorio GIS e cartografia automatica del Dipartimento di Scienze Geologiche della Università degli Studi Roma Tre, orientata a realizzare una prima versione informatizzata del Quaderno SGN n° 5 e a sviluppare un modello di *geodatabase* relazionale in grado di rendere il dato utilizzabile in ambiente GIS (MARI *et alii*, 2003; MARI *et alii*, 2004).

In secondo luogo le specifiche applicazioni effettuate nell'ambito del PROGETTO DI RICERCA CENSIMENTO DELLA CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DELLE MODALITÀ DI STANDARDIZZAZIONE DEI DATI ESISTENTI, AL FINE DI SVILUPPARE IN MODO ORGANICO E UNITARIO ATTIVITÀ CONOSCITIVE NEL SETTORE DELLE ACQUE SOTTERRANEE promosso da APAT e realizzato nel 2003-2005 (5). In particolare l'analisi dei requisiti, lo schema concettuale, il modello logico relazionale, lo schema di *geodatabase* e l'analisi funzionale finalizzate alla costruzione di un *Sistema Informativo Territoriale delle risorse idriche sotterranee con metodologie G.I.S.* in grado di collocare la documentazione e i dati raccolti, opportunamente classificati, nella loro ubicazione geografica reale e di effettuare operazioni di ricerca e estrazione per coordinate, di sovrapposizione e confronto (MARI *et alii*, 2005; MARI *et alii*, 2007a; MARI *et alii*, 2007b).

È necessario infine evidenziare le attività svolte da informatici e cartografi (Ufficio Informatica e produzione editoriale del Servizio Geologico Nazionale e Servizio Cartografico, coordinamento base dati e tavoli europei di APAT) che hanno consentito nella prima fase la definizione delle

modalità di organizzazione, di memorizzazione e di consegna dei dati e degli elaborati cartografici in formato numerico al Servizio Geologico Nazionale, e nella fase successiva, dal termine delle convenzioni alla preparazione alla stampa, la realizzazione della *rappresentazione cartografica* e la utilizzazione degli elementi informativi *orientati* anche alla definizione di una *banca dati* di tematismo idrogeologico.

Le problematiche generali, il percorso metodologico e le soluzioni di volta in volta adottate, insieme alle questioni non ancora risolte sono descritte in modo dettagliato da altri autori (TACCHIA, questo volume; ROMA & VITALE, questo volume). Il risultato delle attività svolte è visibile nelle *rappresentazioni cartografiche* realizzate a partire dai dati geografici e tabellari forniti da ciascun gruppo di lavoro al termine delle attività convenzionali, trasferiti e resi omogenei in un unico ambiente GIS.

Per il confronto si rimanda alle figure 4 e 5 (settore sud orientale dei Monti Cimini), alle figure 6 e 7 (settore dei Monti Sibillini) e alle figure 8 e 9 (aree dei Monti del Matese e del Monte Totila).

4. - CONCLUSIONI

Si è delineato il quadro di riferimento del PROGETTO VERIFICHE SPERIMENTALI DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995) e descritto il contesto che ha reso possibile la sua realizzazione. In particolare: i nuovi compiti istituzionali e gli assetti organizzativi del Servizio Geologico Nazionale (1), le norme riferite alle risorse idriche sotterranee, la predisposizione e realizzazione di progetti di cartografia geologica e geotematica estesi al territorio nazionale (CARG), la *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione* (MARI *et alii*, 1995) prodotta in sede di revisione delle *Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico* (JACOBACCI *et alii*, 1985).

Si è poi indicato quale contributo alla realizzazione del PROGETTO la sua *identificazione con un obiettivo* dell'incarico di direzione dell'Ufficio Idrogeologia del Servizio Geologico Nazionale (4).

(5) Responsabile G.M. MARI

Sono state descritte le attività preliminari e tra queste la definizione delle caratteristiche delle aree di indagine, la predisposizione di un *capitolato tecnico tipo*, la individuazione dei potenziali contraenti, la struttura del PROGETTO e le singole convenzioni.

Per una analisi e una valutazione di dettaglio delle ricerche effettuate, dei dati raccolti, delle elaborazioni e dei risultati prodotti in ciascuna area campione, si rimanda al lavoro di altri autori (AA.VV., 2008a; AA.VV., 2008b; AA.VV., 2008c, questo volume).

In relazione alla molteplicità degli obiettivi - verificare l'applicabilità delle linee guida, confermare il contenuto *quantitativo* al rilevamento e alla rappresentazione cartografica, individuare e sperimentare strumenti e metodologie informatiche nelle varie fasi, garantire una omogeneità di contenuti tecnico-scientifici, di elaborazione e di rappresentazione cartografica - si è operato in modo da mantenere un carattere *unitario* al progetto di ricerca, e si è quindi realizzata una attività di coordinamento e di armonizzazione che ha di volta in volta interessato gli aspetti idrogeologici, informatici, cartografici, con integrazioni e rimodulazioni in base alle difficoltà incontrate e ai risultati raggiunti.

Un finanziamento specifico ha reso possibile la realizzazione del PROGETTO, insieme alla collaborazione sviluppata tra Ufficio Informatica e produzione editoriale e Ufficio Idrogeologia del Servizio Geologico Nazionale e tra questi e i gruppi di lavoro costituiti in ambito universitario.

Tutto questo ha rappresentato *un valore aggiunto* e ha contribuito a determinare i risultati del PROGETTO promosso dal SGN, che non sembra oggi riproponibile con le stesse modalità.

Non è tuttavia mutata, anche in relazione ai cambiamenti climatici, all'uso delle risorse idriche sotterranee e ai possibili conflitti sulla loro utilizzazione, la necessità di fornire strumenti tecnico-conoscitivi, di definire presenza e caratteristiche qualitative e quantitative delle risorse idriche sotterranee, e di individuare potenziali rischi di inquinamento. Non è venuta meno l'esigenza di descrivere le caratteristiche idrogeologiche del territorio attraverso strumenti e metodologie informatiche di raccolta, analisi, elaborazione e rappresentazione cartografica dei dati.

L'analisi e la valutazione dei risultati evidenziano la complessità delle problematiche sviluppate nell'ambito della ricerca, che ha approfondito specifici aspetti (idrogeologici in ciascun area campione, riferiti alla utilizzazione di strumenti e

metodologie informatiche e alla rappresentazione cartografica in generale) ma anche evidenziato la necessità di definire ulteriori finalizzazioni e nuove modalità di realizzazione.

In un contesto normativo e organizzativo di relativa stabilità, diverso da quello che si è determinato, il PROGETTO si sarebbe sviluppato da un lato attraverso le sperimentazioni in nuove aree campione, considerando anche i risultati di ricerche e studi relativi ai criteri e alle metodologie di selezione dei punti della rete di controllo (GIULIANO *et alii*, 2006; MARTELLI *et alii*, 2007), dall'altro con una serie di riflessioni e approfondimenti orientati alla definizione, utilizzazione e gestione numerica di simboli e graficismi, alle elaborazioni e rappresentazioni cartografiche, alla gestione numerica del dato idrogeologico come segmento di una banca dati tematica.

Consolidate con lo sviluppo delle attività di ricerca le *linee guida per la realizzazione della cartografia idrogeologica* sperimentate nei loro molteplici aspetti, e condivise con tecnici, esperti di settore e utenti istituzionali, si sarebbero potuti utilizzare, sulla base di specifici accordi, i dati relativi alle caratteristiche quantitative e qualitative delle risorse idriche sotterranee raccolti dalle ARPA negli ambiti territoriali di competenza.

Alla struttura centrale (APAT, ora ISPRA) il compito di verificare la attendibilità dei dati raccolti e la significatività dei punti di controllo dei corpi idrici sotterranei; di organizzare un sistema informativo territoriale sulle risorse idriche sotterranee con metodologie GIS e realizzare la cartografia operativa e di area vasta.

Questo approccio avrebbe reso possibile la utilizzazione dei dati sia a livello locale che nazionale, il confronto tra i vari corpi idrici e una omogenea elaborazione in differenti contesti idrogeologici. E avrebbe potuto determinare un risparmio di risorse economiche e strumentali e realizzare attraverso un sistema coordinato di attività tra strutture centrali e periferiche, una *banca dati sulle risorse idriche del territorio nazionale* e rappresentazioni cartografiche aggiornabili a determinati intervalli temporali.

Un'altra possibilità di realizzazione della cartografia idrogeologica, orientata alla produzione di fogli scala 1:50.000 ma anche alla rappresentazione di aree di maggiore estensione, potrebbe derivare dalla utilizzazione dei dati raccolti in studi e ricerche di prevalente contenuto idrogeologico effettuati da Università, Istituti di Ricerca e Enti territoriali, con le modalità indicate nel Quaderno SGN n° 5 e definite nella sperimentazione e nelle attività di PROGETTO.

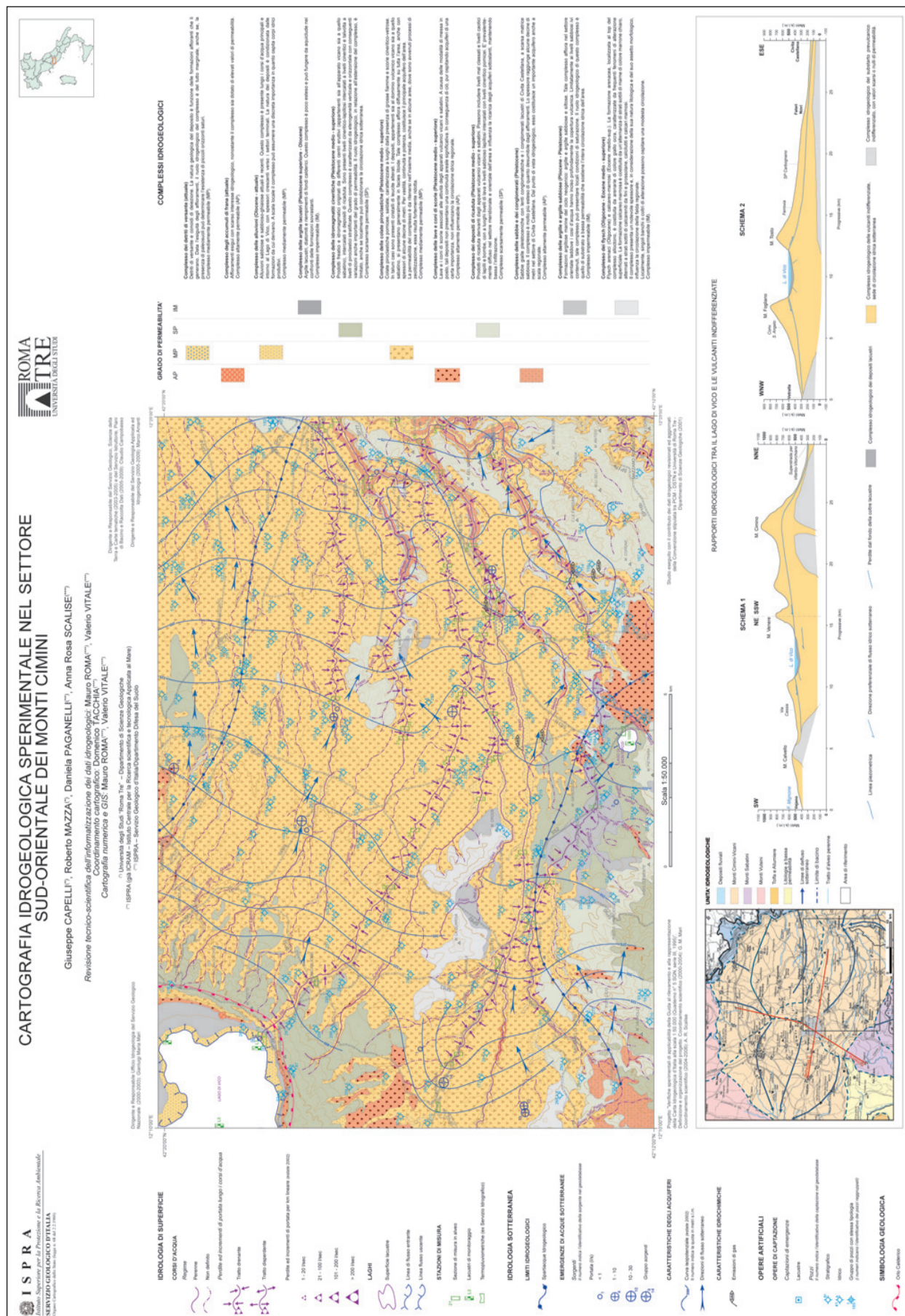


Fig. 5 - Carta Idrogeologica del settore sud orientale dei Monti Cimini (AA.VV., 2008a).
- Hydrogeological map of the south eastern sector of Cimini mts. (AA.VV., 2008a).

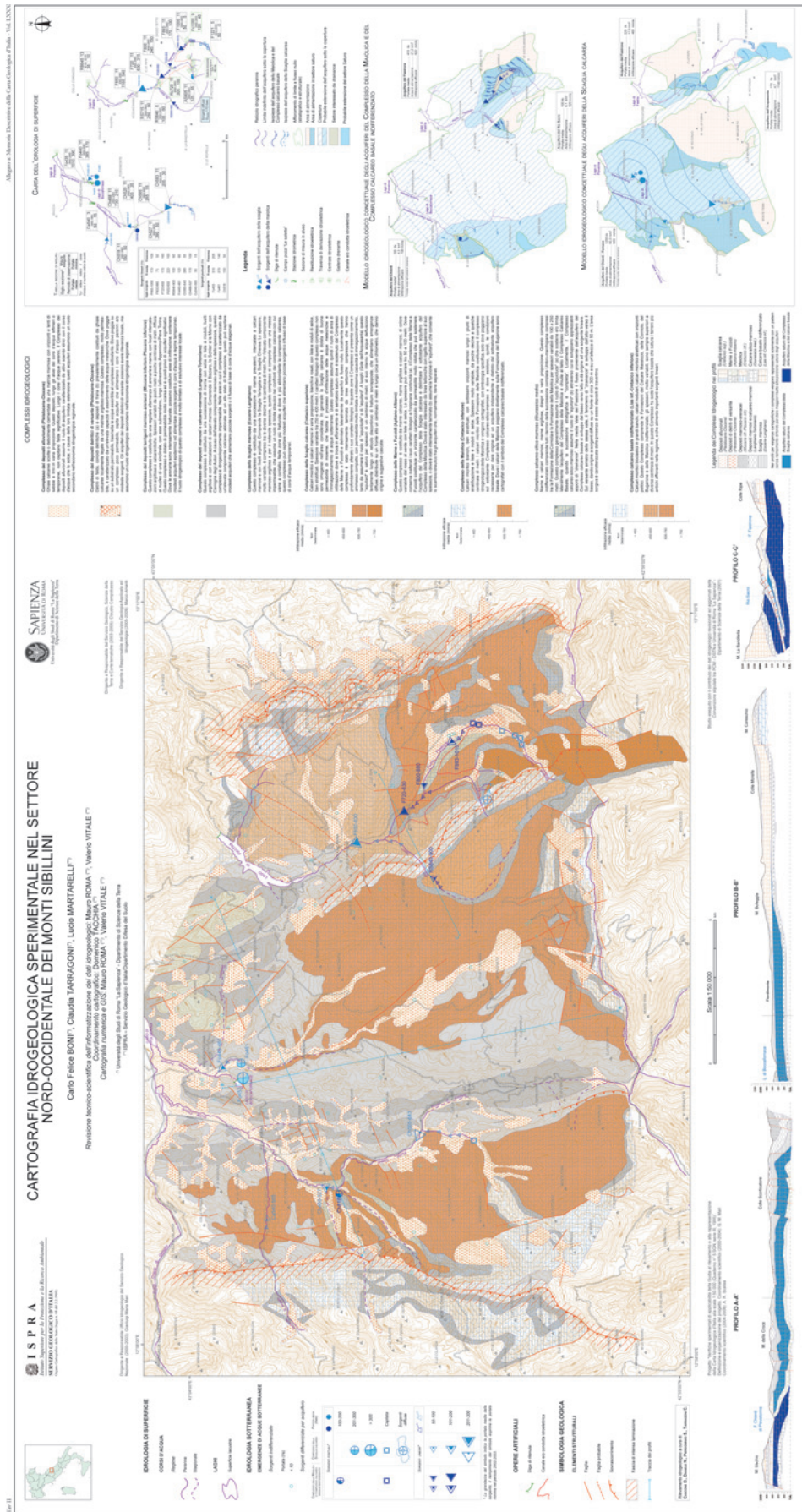


Fig. 7 - Carta Idrogeologica del settore nord occidentale dei Monti Sibillini (A.A.VV., 2008b).
- Hydrogeological map of the north western sector of Sibillini mts. (A.A.VV., 2008b).

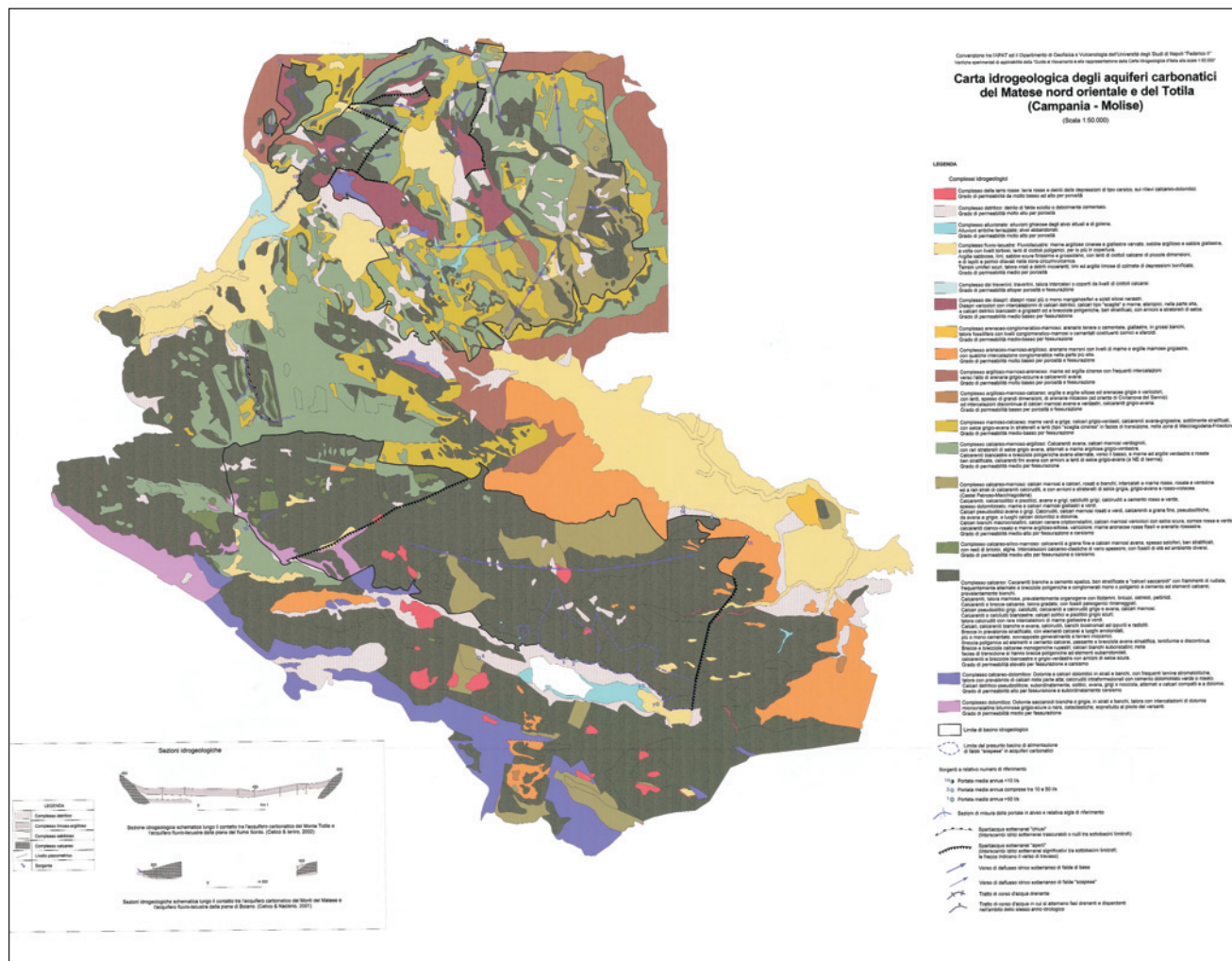


Fig. 8 - Carta Idrogeologica delle aree dei Monti del Matese e del Monte Totila (AA.VV., 2004) inedito.
- Hydrogeological map of the Matese and Totila mts. districts (AA.VV., 2004).

Ringraziamenti e collaborazioni

Renato VENTURA e Domenico TACCHIA (Ufficio Informatica e produzione editoriale del Servizio Geologico Nazionale e Servizio Cartografico, coordinamento base dati e tavoli europei APAT), hanno collaborato nella fase preliminare, con la definizione degli aspetti relativi alla utilizzazione di strumenti e metodologie informatiche e degli aspetti cartografici; nella fase di realizzazione delle attività, attraverso la definizione delle modalità di organizzazione, di memorizzazione e di consegna dei dati e degli elaborati cartografici in formato numerico al Servizio Geologico Nazionale; nella fase di controllo e in quella di preparazione alla stampa, con le indicazioni delle procedure per la realizzazione delle rappresentazioni cartografiche. A questo si deve aggiungere la utilizzazione degli elementi informativi orientati anche alla definizione di una banca dati di tematismo idrogeologico.

Mauro ROMA (Servizio Cartografico, coordinamento base dati e tavoli europei APAT), e Valerio VITALE (Servizio Geologia applicata e Idrogeologia, Dipartimento Difesa del Suolo, APAT), hanno collaborato nelle fasi di realizzazione delle rappresentazioni cartografiche e di preparazione alla stampa.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1988) – *Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee* - FRANCANI & CIVITA (Eds.) Geograph, Milano.
- AA.VV. (1990) – *Protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi* - Atti 1° Convegno Nazionale, Marano sul Panaro (Modena), 20-22 settembre 1990.
- AA.VV. (1995) – *Protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi*. Convegno Nazionale. Nonantola (Modena) 17-18-19 maggio 1995 - Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora (Ed.), Bologna.
- AA.VV. (1999) – *Protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio*. 3° Convegno Nazionale, Parma 13-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora (Ed.), Bologna.
- AA.VV. (2003a) – *Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Verifiche di applicabilità nel settore sud-orientale dei Monti Cimini. Relazione finale inedita della Convenzione tra DSTN-SGN e Università di RomaTre*. Luglio 2003.



- AA.VV. (2008a) – *Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore sud-orientale dei Monti Cimini (Lazio) (questo volume).*
- AA.VV. (2008b) – *Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini (Marche) (questo volume).*
- AA.VV. (2008c) – *Cartografia idrogeologica sperimentale nelle aree dei Monti del Matese e del Monte Totila (Campania-Molise) (questo volume).*
- ANTONELLI R., DAZZI R., GATTO G., MARI G.M., MOZZI G., ZAMBON G. (1993) – *Correlazioni litostratigrafiche ed idrostrutturali nel complesso alluvionale della bassa valle del fiume Agno-Guà e nell'antistante pianura vicentina (M. Lessini*

- Orientali- Vicenza*). Bollettino Servizio Geologico d'Italia, **109**, IPZS, Roma. Pubbl. n. 539 del GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4.
- ANTONELLI R. & MARI G.M. (1993) – *Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nelle valli dell'Agno-Guà e del Chiampo e nella antistante pianura (M.Lessini Orientali-Vicenza). Carta della vulnerabilità naturale con note illustrative, scala 1:25.000*. Regione del Veneto - Dipartimento Ecologia e Tutela Ambiente - Presidenza del Consiglio dei Ministri - Servizio Geologico Nazionale - Venezia. Pubbl. n. 947 del GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4.
- ANTONELLI R., CAMILLA S. & MARI G.M. (1996) – *Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nelle valli dell'Agno - Guà e del Chiampo e nella antistante pianura (M. Lessini Orientali - Vicenza). Carta della distribuzione degli insediamenti produttivi e dell'uso del suolo e del sottosuolo, scala 1:25.000*. Regione del Veneto, Dipartimento Ecologia e Tutela dell'Ambiente e Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, Servizio Geologico Nazionale, Venezia. Pubbl. n. 1364 del GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4.
- ANTONELLI R., FABBRI P., MARI G.M., MARTARELLI L., SILVI A. & TAGLIAPIETRA A. (2001) – *Sperimentazioni e proposte per una rete di controllo dei corpi idrici sotterranei nella pianura veneta* - Atti Convegno Nazionale: "Le risorse idriche sotterranee: conoscerle per proteggerle", 14-15 novembre 2001 Venezia.
- ANTONELLI R. & MARI G.M. (2003) – *Valutazioni sulla evoluzione del chimismo nei sistemi acquiferi della media e bassa valle dell'Agno-Guà e del Chiampo (M. Lessini Orientali - Vicenza) attraverso osservazioni pluriennali non sistematiche* - Memorie di Scienze Geologiche **55**, Padova.
- ARTIOLI G.P., BONANSEA E., CARA P., CAVALLIN A., FANTOZZI P.L., FORLATI F., GARBERI M.L., GUAZZETTI F., MANDRIE L., RIGHINI G., SPAZIANI A., TOMMASI G., VENTURA F.A., VISICCHIO F., ANGELELLI A., TACCHIA D. & OMENIGRANDI A. (1997) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Banca dati geologici. Linee guida per l'informatizzazione e per l'allestimento per la stampa dalla banca dati*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **6**, IPZS, Roma.
- BARROCU G. (a cura di) (1998) – *Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi. Rapporto 1986/1995* - Grafiche Ghiani Monastir (CA).
- BONDESAN A., CAVALLIN A., GIULIANO G., MARI G.M., FLORIS B. & DE AMICIS M. (1994) – *La carta della infiltrabilità regionale della pianura padana e veneto-friulana*. Quaderni di Geologia Applicata 2/1994 - Pitagora Editrice Bologna.
- BRANCACCIO L., CASTIGLIONI G.B., CHIARINI E., CORTEMIGLIA G., D'OREFICE M., DRAMIS F., GRACIOTTI R., LA POSTA E., LUPA CALMIERI E., ONORATI G., PANIZZA M., PANNUZI L., PAPASODARO F., PELLEGRINI G.B. & RODOLFI G. (1994) – *Carta Geomorfologia d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **4**, IPZS, Roma.
- BRGM (1980) – *Carte hydrogéologiques de la France à l'échelle de 1:500.000. Systemes aquiferes*. BRGM, Orleans, France.
- CARA P., GIOVAGNOLI M.C., SPAZIANI A., VENTURA F.A., VISICCHIO F., BONEATTI F. & MONARI P.D. (1995) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida alla informatizzazione*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **3**, IPZS, Roma.
- CENTAMORE E., IDROTECNICO & VALLETTA M. (1976) – *Carta Idrogeologica: Foglio 291 Pergola della Carta a scala 1:50.000*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- CIVITA M. (1988) – *Una metodologia per la definizione e il dimensionamento delle aree di salvaguardia delle opere di presa delle sorgenti normali* - Boll. Ass. Min. Subalpina, **25** (4), Torino.
- CIVITA M. (1990a) – *La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Relazione Generale* - Atti I° Convegno Nazionale: "Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi", Marano sul Panaro, Modena.
- CIVITA M. (1990b) – *Legenda unificata per le carte di vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei / Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps*. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, I (Append.), Pitagora (Ed.), Bologna.
- CIVITA M. (1994) – *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica* - Quaderni di Tecniche di Protezione ambientale. Protezione delle acque sotterranee, Pitagora (Ed.) Bologna, 1994.
- CIVITA M. & DE MAIO M. (a cura di) (2002) – *Atlante delle carte di vulnerabilità delle regioni italiane - Compendio delle cartografie realizzate dal GNDICI - CNR Linea di Ricerca 4 "Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi"*. Responsabile M. CIVITA 1985 - 2002, DBMAP Torino, Firenze 2002.
- COSCI M., FALCETTI S. & TACCHIA D. (1996) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida alla rappresentazione cartografica*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **2**, IPZS, Roma.
- COSCI M., MASELLA G., & PANNUTI V. (2007) – *Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 - Guida alla rappresentazione cartografica*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **10**, S.EL.CA., Firenze.
- D'ANGELO S. & VENTURA G. (2002) – *Carta geologica dei Mari italiani alla scala 1:250.000. Guida al rilevamento*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **8**, S.EL.CA., Firenze.
- DELFRATI L. & GROPELLI G. (2000) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Catalogo delle formazioni*, a cura della Commissione Italiana di Stratigrafia della Società Geologica Italiana: accordo di programma S.G.N. - C.N.R. - Servizio Geologico Nazionale - Quaderni serie III, **7**, IPZS, Roma.
- FERRARA V. (1970) – *Carta Idrogeologica: Foglio 611 Mistretta della Carta a scala 1:50.000*. Servizio Geologico d'Italia, con il contributo del C.N.R., Comitato per le Scienze Geologiche e Minerarie, Grafica Editoriale Cartografica, Roma.
- GERMANI D., ANGIOLINI L. & CITA M.B. (supervisione di) (2003) – *Guida italiana alla classificazione e alla terminologia stratigrafica*, a cura della Commissione Italiana di Stratigrafia della Società Geologica Italiana, APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia, Quaderni serie III, **9**, S.EL.CA., Firenze.
- GIULIANO G., MARI G.M., CAVALLIN A. & DE AMICIS M. (1998) – *Ricerca sulla vulnerabilità naturale e sul rischio di inquinamento delle acque sotterranee nella pianura padana, veneta e friulana. Carta della infiltrabilità regionale, carta idrogeologica regionale, carta della vulnerabilità regionale (scala 1:500.000)*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **56**, IPZS, Roma.
- GIULIANO G., PREZIOSI E., PETRANGELI A.B., VIVONA R., PATERA A., DE LUCA A. & BARBIERO G. (2006) – *Integrazione fra rete di monitoraggio delle acque sotterranee e cartografia di vulnerabilità delle falde. Proposta metodologica e sperimentazione in provincia di Roma* - Mem. Desc. della Carta Geol. d'It., **73**, IPZS, Roma.
- IRSA (1996) – *Cartografia della vulnerabilità degli acquiferi: dagli aspetti conoscitivi alla applicazione normativa*. Atti della Giornata di Studio, Milano 16 gennaio 1996, Quaderni

- Istituto di Ricerca sulle Acque, **99**, Roma.
- JACOBACCI A., BONI C.F., GOVI M., MERLO C., PANNUZI L., VALDINUCCI A., ZATTINI N., BONO P., MESSINA P. & VENTURA C. (1985) – *Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico*, Serv. Geol. d'It., Quad. Serie II, **1**, IPZS, Roma.
- LETTIERI M.T. & CARA G. (1998) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000: stato di attuazione del progetto C.A.R.G. (aggiornamento maggio 1998)*, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- LETTIERI M.T. & CARTA R. (2004) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000: stato di attuazione del progetto C.A.R.G. (aggiornamento aprile 2004)*, SystemCart s.r.l., Roma.
- LETTIERI M.T. & CARTA R. (2005) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000: stato di attuazione del progetto C.A.R.G. (aggiornamento settembre 2005)*, I.G.E.R. s.r.l., Roma.
- LETTIERI M.T., CARTA R. & APUZZO R. (2007) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000: stato di attuazione del progetto C.A.R.G. (aggiornamento giugno 2007)*.
- MARI G.M., MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D. & ZATTINI N. (1995) – *Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento ed alla rappresentazione*, Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **5**, IPZS, Roma.
- MARI G.M., BAGNAIA R. & VENTURA R. (1999) – *Rete di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei. Risultati preliminari delle indagini e delle sperimentazioni effettuate nella pianura veneta*. Atti 3° Convegno Nazionale sulla protezione e Gestione delle acque sotterranee per il III millennio, Parma - Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora (Ed.), Bologna.
- MARI G.M., BAGNAIA R. & VENTURA R. (2000) – *Rete di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei nella pianura veneta. Approfondimento di alcuni elementi conoscitivi di base*. Atti Convegno: "Le Pianure. Conoscenza e salvaguardia. Il contributo delle Scienze della Terra", Ferrara, 1999.
- MARI G.M., CECILI A., CINNIRELLA A., LISI A., MARTARELLI L., SCALISE A.R., TACCHIA D. & VENTURA R. (2003) – *Proposta di modello dati G.I.S. per la strutturazione dell'informazione idrogeologica a partire dalla Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, Roma, 1995)*. Poster, Atti FIST Geoitalia, 4° Forum Italiano Scienze della Terra, Bellaria 2003.
- MARI G.M., CECILI A., LISI A., SCALISE A.R., TACCHIA D. & VENTURA R. (2004) – *GIS proposal for a structured hydrogeological information*. Poster, 32nd International Geological Congress, Firenze 2004.
- MARI G.M., TACCHIA D., VENTURA R. & ROMA M. (2005) – *Dal censimento di studi e carte idrogeologiche alla organizzazione di un G.I.S. sulle risorse idriche sotterranee del territorio nazionale*. Poster, Atti 9° Conferenza Nazionale ASITA, Catania.
- MARI G.M., TACCHIA D., VENTURA R. & ROMA M. (2007a) – *Censimento di studi e carte idrogeologiche realizzate nel territorio nazionale. Uno strumento per migliorare le conoscenze sulle risorse idriche sotterranee*. Giornale di Geologia Applicata, **5**.
- MARI G.M., ROMA M., TACCHIA D. & VENTURA R. (2007b) – *The APAT library-owned documents related to the groundwater resources: an example of utilization by means of a Geographical Information System*. Atti FIST Geoitalia 2007, 6° Forum Italiano Scienze della Terra, Rimini.
- MARTELLI G., GRANATI C. & RODA C. (2007) – *Criteri per la realizzazione di una rete di monitoraggio quantitativo e sperimentazione*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, **75**, IPZS, Roma.
- MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D., VENTURA G. & ZATTINI N. (1993) – *Carta Idrogeologica d'Italia : Foglio 389 Anagni scala 1:50.000*, IPZS, Roma.
- PASQUARÈ G., ABBATE E., BOSI C., CASTIGLIONI G.B., MERENDA L., MUTTI E., OROMBELLI G., ORTOLANI F., PAROTTO M., PIGNONE R., POLINO R., PREMOLI SILVA I. & SASSI F.P. (1992) – *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento*. C.N.R. Commissione per la cartografia geologica e geomorfologica, Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, **1**, IPZS, Roma.
- REPUBBLICA ITALIANA (1976) - *Legge 10.05.1976. Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento*. G.U. n. 141 del 29.05.1976.
- REPUBBLICA ITALIANA (1977) - *Deliberazione Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento 4.02.1977. Criteri, metodologie e norme tecniche generali di cui all'art. 2 lettere b), d) ed e) della legge 10.05.1976 recante Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento*. Suppl. Ord. G.U. n. 48 del 21.2.1977.
- REPUBBLICA ITALIANA (1988) - *D.P.R. 24.05.1988 n. 236. Attuazione della Direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art. 15 della legge 16.04.1987 n. 183*. G.U. n. 60 del 30.6.1988.
- REPUBBLICA ITALIANA (1989) - *D.P.C.M. 28.10.1988. Organizzazione del Servizio Geologico d'Italia*. G.U. n. 4 del 5.1.1989.
- REPUBBLICA ITALIANA (1989) - *Legge 18.05.89 n. 183. Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*. G.U. n. 38 del 25.5.1989.
- REPUBBLICA ITALIANA (1991) - *D.P.R. 24.01.1991 n. 85. Regolamento concernente la riorganizzazione ed il potenziamento dei Servizi Tecnici Nazionali Geologico, Idrografico e Mareografico, Sismico e Dighe nell'ambito della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ai sensi dell'art. 9 della legge 18.05.1989 n. 183*. G.U. n. 65 del 18.3.1991.
- REPUBBLICA ITALIANA (1993) - *D.P.R. 5.04.1993 n° 106. Regolamento concernente la riorganizzazione e il potenziamento dei Servizi tecnici nazionali nell'ambito della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ai sensi dell'art. 9 della legge 18.05.1989 n° 183* - G.U. n. 84 del 10.4.1993.
- REPUBBLICA ITALIANA (1993) - *D.Lgs. 12.07.1993 n° 275. Riordino in materia di concessione di acque pubbliche*. G.U. n. 182 del 5.8.1993.
- REPUBBLICA ITALIANA (1994) – *Legge 05.01.1994. Disposizioni in materia di risorse idriche*. G.U. n. 14 del 19.1.1994.
- REPUBBLICA ITALIANA (1999) – *D.Lgs. 11.05.1999 n° 152. Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*, a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258. G.U. n. 246 del 20.10.2000.
- ROMA M. & VITALE V. (questo volume) - *Studi sperimentali finalizzati alla cartografia idrogeologica*. Mem. descr. della Carta Geol. d'It., **81**, pp. 47-58, Geda, Torino.
- TACCHIA D. (2007) - *Carta Geologica d'Italia - 1:50.000. Guida all'uso del manuale cromatico di riferimento per la stampa delle carte geologiche*. Quaderni del Servizio Geologico d'Italia, serie III, **11**, Firenze 2007.
- TACCHIA D. (questo volume) - *Studi sperimentali finalizzati alla cartografia idrogeologica*. Mem. descr. della Carta Geol. d'It., **81**, pp. 37-47, Geda, Torino.
- UNESCO (1963) – *International legend for Hydrogeological Maps*. UNESCO document NS/NR 20.
- UNESCO, IASH, IAH, IGS (1970) – *International legend for Hydrogeological Maps*, London.

La sperimentazione cartografica su dati numerici idrogeologici

Experimental cartography on hydrogeological numeric data

TACCHIA D. (*)

RIASSUNTO - Vengono descritti i criteri adottati nel trattamento di dati numerici di tipo idrogeologico finalizzati alla rappresentazione cartografica, nell'ambito del "Progetto di verifica sperimentale di applicabilità delle Linee Guida al rilevamento e alla rappresentazione cartografica della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (*Quaderno n. 5, serie III, del Servizio Geologico d'Italia, 1995*)", effettuata su aree campione. Sono stati evidenziati i problemi cartografici da affrontare nell'allestimento di una carta idrogeologica, a partire dalla rappresentazione di dati "dinamici", prevalenti nelle informazioni di questa natura, fino alle particolarità presenti nei diversi bacini idrografici delle aree campione prescelte. Da un lato sono stati approfonditi i contenuti dei dati tabellari necessari alla descrizione delle informazioni idrogeologiche, come contributo per la definizione di una banca dati sull'argomento, dall'altro è stato costituito un primo concreto bagaglio operativo da utilizzare nella formazione della carta idrogeologica ufficiale, che costituisce uno dei compiti del Servizio Geologico d'Italia quale "Organo Cartografico dello Stato". Particolare attenzione è stata posta nella traduzione grafica del dato idrogeologico, raccolto e memorizzato sperimentalmente in forma numerica, sintesi descrittiva dell'informazione scientifica da fissare in sede di stampa.

PAROLE CHIAVE: Carta Idrogeologica, Carta Idrogeologica ufficiale, Banca Dati Idrogeologici

ABSTRACT - The criteria for the management of hydrogeologic numerical data aimed at the cartographic representation, in the framework of the "Project for the verification of applicability in test areas of the guideline to survey and cartographic representation of the Hydrogeologic Map of Italy at the 1:50,000 scale (*Quaderno n. 5, serie III, Servizio Geologico d'Italia, 1995*)", have been discussed. The cartographic concerns regarding the setting of a hydrogeologic map have been highlighted, from the representation of "time dependent" data, widely represented in this kind of information, to the peculiar features of the different hydrographic basins of each selected test area. The required records for a suitable data table, contributing to the definition of a specific database, have been characterized in depth, and, on the other hand, a preliminary significant effective knowledge has been delineated for the realization of the Hydrogeologic Map of Italy, representing one of the official mandate of the Geological Survey of Italy, which is charged of the task of "National Cartographic Institution". Specific attention was emphasized to the graphic representation of the hydrogeologic data, collected and stored in numerical form, constituting the descriptive outline of the scientific information to be set during the map realization.

KEY WORDS: Hydrogeologic Map, Official Hydrogeologic Map of Italy, Hydrogeologic database

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

1. - GENERALITÀ ED ORIENTAMENTI

Tra le carte tematiche che descrivono un determinato territorio la carta idrogeologica assume una particolare peculiarità per la variabilità nel tempo degli eventi esaminati e rappresentati.

Del gruppo di carte tematiche afferenti il tema geologico è forse la carta che si caratterizza per una variabilità temporale dei principali dati interessati alla rappresentazione.

Per meglio descrivere il concetto si pensi alla carta geologica: le variazioni delle caratteristiche generali e dei fenomeni rappresentati si manifestano in periodi di tempo generalmente da lunghi a molto lunghi, e la carta stessa si configura e può in effetti essere considerata come “sostanzialmente statica” nei suoi contenuti complessivi, fatte salve le modifiche interpretative dei processi deposizionali rappresentati.

Il concetto di carta “sostanzialmente statica” può essere utilizzato anche nel caso della carta geomorfologica, pur con le dovute differenze: essa infatti descrive ed evidenzia fenomeni di per se stessi più recenti, almeno se ci si riferisce al Quaternario, ancora di fatto potenzialmente attivi nel corso di rilevamento.

Diversamente dalle carte geologiche e geomorfologiche, la carta idrogeologica descrive e rappresenta fenomeni che, per la grande maggioranza, sono in continua evoluzione.

Si pensi ad un generico flusso di un determinato corpo idrico superficiale. Se si prescinde dalla traccia geometrica georiferita a livello di base topografica, nei vari tratti del suo percorso, durante la fase iniziale di rilevamento e di raccolta dei dati, si possono determinare, misurare e quindi rappresentare con opportuna simbologia, variazioni di portata più o meno repentine. Una diminuzione di portata, nei tratti di corso d'acqua superficiale caratterizzati da una prevalente azione di alimentazione del corpo idrico sotterraneo per infiltrazione verticale e filtrazione laterale, o nei tratti interessati da prelievi e/o derivazioni di determinati quantitativi idrici destinati ai vari usi. Oppure un aumento di portata nei tratti di corso d'acqua superficiale alimentati da una falda acquifera sotterranea, o in presenza di restituzioni e apporti di vario tipo.

Altri esempi possono essere rappresentati dalla portata delle sorgenti, che è strettamente dipendente dalla ampiezza del bacino di alimentazione ma che nello stesso bacino, esprime una sua variabilità, sia in termini quantitativi, con valori minimi e massimi, che in termini qualitativi, con modifiche nei valori di concentrazione di parametri significativi, in relazione a tutti gli altri elementi

coinvolti, ad esempio le precipitazioni, la evapotraspirazione, la infiltrazione efficace, e in relazione alle caratteristiche di variabilità degli elementi stessi.

Altri esempi relativi al tema della variabilità in un ristretto intervallo temporale potrebbero essere indicati: direzioni di deflusso delle acque sotterranee, sia in presenza di falde acquifere che di reti acquifere, livello statico dell'acqua nei pozzi, caratteristiche idrochimiche, scambi idrici tra corsi d'acqua superficiali e acque sotterranee, limiti della intrusione marina, limiti settentrionali e meridionali in presenza di aree con risorgive.

Nel caso della carta idrogeologica è necessario sottolineare che non solo l'elemento principale, quale ad esempio il flusso di un determinato corpo idrico superficiale, deve essere rappresentato e cartografato, ma può costituire oggetto da rappresentare anche la possibile variazione di portata, misurata in un determinato tratto. La variabilità anche in intervalli temporali relativamente brevi, dell'ordine del mese, degli scambi tra corso d'acqua superficiale e acque sotterranee e la possibilità anche della inversione dei rapporti di scambio, inducono a evidenziare che la rappresentazione cartografica di determinati fenomeni particolarmente complessi assume caratteristiche di parzialità e di fatto la rappresentazione cartografica può solo limitarsi alla descrizione di parte dei contenuti, generalmente quelli considerati maggiormente significativi.

È evidente che la carta idrogeologica stampata è per sua stessa natura statica, tuttavia rappresenta informazioni ed elementi in massima parte variabili, spesso anche repentinamente variabili, nel tempo.

Questa dinamicità intrinseca rappresenta un contenuto importante e discriminante che deve necessariamente trovare non solo una possibile e adeguata rappresentazione nella carta stessa, attraverso una opportuna simbologia, ma anche una sua valorizzazione in termini di tabelle, grafici, modelli interpretativi, schemi, *data base*.

La fotografia della situazione idrogeologica, del suo evolversi (almeno in un indeterminato intervallo temporale) e dell'interpretazione generalizzabile dei dati contenuti è in ogni caso ancor oggi metodo ritenuto accettabile (se non unico), anche se non completamente esaustivo, per descrivere le caratteristiche idrogeologiche di un determinato territorio.

Il concetto della cartografia come rappresentazione sintetica di un determinato contenuto informativo, determina la obbligatorietà della realizzazione del prodotto cartografico proprio per consentire la circolazione delle informazioni territoriali di questa natura tradotte di fatto in dati visi-

bili correttamente interpretati, piuttosto che attraverso elenchi numerici o descrizioni letterali ad esempio di perimetri di aree che, per quanto dettagliate, risultano nella maggior parte dei casi di difficile cognizione comunicativa. Si pensi all'elenco dei valori di portata di una sorgente in periodi determinati (giorno/mese/anno): difficilmente questa tabella risulterà, almeno a un prima lettura, significativa specialmente se confrontata con l'utilizzo di un simbolo cartografico che descrive, con la sua forma grafica, la portata media come dato generalizzato evidenziando contestualmente i valori minimi e massimi riscontrati.

Allo stesso modo la rappresentazione cartografica di un'area attraverso il simbolo associato a un determinato grado di permeabilità relativa riportato sulla superficie topografica risulterà molto più efficace di qualsiasi sua possibile descrizione letterale.

Gli esempi citati hanno l'obiettivo di individuare e proporre un modello logico di approccio cartografico che nel rispondere alla necessità di comprensione immediata, contestuale alla visione del prodotto cartografico, allo stesso modo consente la divulgazione del dato in questo caso idrogeologico.

È evidente che il dato idrogeologico è iconizzato, rappresentato cioè, con simboli in grado di indirizzare correttamente la lettura del fruitore e la comprensione dell'informazione fornita, ovviamente anche attraverso il supporto di una apposita legenda.

Il processo di determinazione di una istantanea significativa del dato idrogeologico di uno specifico contesto territoriale è oggi realizzabile in modo agevole attraverso simulazioni che utilizzano tecnologie GIS. Queste ultime possono disporre della variabile tempo e attraverso *item* correlati all'oggetto idrogeologico georiferito, consentono analisi qualitative e/o quantitative più efficaci e, in ultima analisi, orientano la determinazione verso modelli logici favorendo la scelta di una istantanea cartografica valutabile sperimentalmente e ritenuta più significativa.

Va detto che la derivazione cartografica da GIS appare certamente riduttiva se si considerano le *en*ne applicazioni possibili e/o simulabili da esso.

Non è questa la sede per approfondire in modo esauriente l'argomento.

Tuttavia è necessario evidenziare e sottolineare l'approfondimento operato nell'ambito del "Progetto verifiche sperimentali di applicabilità della guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" (Quaderno SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995) dal Servizio Geologico Nazionale con l'obiettivo da un lato di procedere alla individuazione e alla

caratterizzazione di dati memorizzabili e dall'altro di prevederne una utilizzazione finalizzata alla definizione di una banca dati di specifico tematismo idrogeologico.

Le attività di seguito descritte e gli approfondimenti realizzati nell'ambito della sperimentazione sono state dunque ispirate e orientate non solo alla possibilità di derivazione di cartografia ma anche a individuare e definire alcuni parametri base per la fornitura di dati idrogeologici utilizzando sistemi numerici indipendenti, per quanto possibile, da piattaforme e *software* dedicati.

È opportuno evidenziare che, per quanto a conoscenza dell'autore, quello effettuato può essere considerato il primo tentativo realizzato utilizzando dati riferiti alle risorse idriche sotterranee.

2. - INDIRIZZI PER LA FORNITURA DEI DATI

Con riferimento agli obiettivi di "PROGETTO":

1 - verificare la applicabilità delle linee guida a specifici contesti territoriali;

2 - sviluppare strumenti e metodologie informatiche nelle varie fasi (*input* dei dati, organizzazione di modelli concettuali, realizzazione di banche dati, elaborazione cartografica dei risultati) e colmare il *gap informatico* nel frattempo intervenuto dalla pubblicazione del Quaderno 5 (AA.VV., 1995);

3 - procedere alla sperimentazione delle linee guida e, per quanto possibile, alla informatizzazione del Quaderno 5;

sono stati sviluppati e approfonditi gli aspetti metodologici generali e i contenuti pratico-operativi riferiti ai punti 2 e 3, in particolare per quanto attiene alle modalità di organizzazione dei dati, di memorizzazione e di consegna al Servizio Geologico Nazionale.

Per questi aspetti si è stabilito di adottare in una prima fase un orientamento di carattere generale, che prevede per ciascuna convenzione una fornitura di massima, con l'obiettivo da un lato, di permettere la sperimentazione delle linee guida e dei contenuti informativi del Quaderno 5, mantenendo uno *standard* equivalente e confrontabile nei contesti territoriali prescelti, dall'altro, in senso più generale, di rafforzare e sostanziare il carattere unitario del "PROGETTO".

Di conseguenza, come evidenziato da altri autori (MARI, questo volume) si sono utilizzati, sia in sede di "Capitolato tecnico tipo" (paragrafo 3.3.) che nei capitoli delle convenzioni stipulate con le strutture universitarie, riferimenti generali alle metodologie di archiviazione, organizzazione

dei dati, elaborazione su supporto informatico e alla utilizzazione per, quanto possibile, delle linee guida per l'informatizzazione previste per la Carta Geologica d'Italia 1:50.000.

Ad esempio: I dati, le elaborazioni e rappresentazioni grafiche e cartografiche derivanti dalle attività presenti in convenzione saranno forniti su supporto cartaceo e digitale, organizzati con sistemi numerici da concordare con il Servizio Geologico Nazionale.

E anche: Il *layout* di stampa non farà riferimento per la sua rappresentazione al Quaderno SGN n. 5, serie III, 1995, pur mantenendo la corretta leggibilità dei dati presenti sulla carta idrogeologica in scala 1:25.000 e 1:50.000.

A partire dunque dall'orientamento di carattere generale e dalla previsione di una fornitura di massima, si è ritenuto che i molteplici obiettivi di "PROGETTO"(1) potessero essere raggiunti attraverso la sua concreta realizzazione con le modalità di seguito specificate.

In particolare attraverso le attività di verifica di criteri e metodologie utilizzate nelle varie fasi, di scambio di dati e informazioni di interesse, di sviluppo di approfondimenti e di realizzazione di confronti tecnico - scientifici che hanno coinvolto gli aspetti idrogeologici, informatici, cartografici, e prodotto sperimentazioni, integrazioni e adeguamenti, fino alla individuazione di soluzioni condivise/accettabili e praticabili.

Sono stati definiti gruppi omogenei di dati che hanno una relazione diretta con la rappresentazione della legenda della carta idrogeologica, articolata in 8 tavole (capoversi) distinte per tipologia di informazione:

- Idrologia di Superficie;
- Idrologia Sotterranea;
- Complessi Idrogeologici distinti in funzione del loro grado di permeabilità relativa;
- Opere Artificiali;
- Aree Carsiche;
- Simboli Litologici;
- Limiti relativi alla Cartografia Idrogeologica;
- Complessi Idrogeologici distinti in funzione della infiltrazione efficace e/o della trasmissività (carta complementare).

L'analisi compiuta, più che di ordine scientifico o cartografico, è finalizzata a qualificare ciascun dato analizzandone gli elementi oggetto di consegna e stabilendo per essi la tipologia di memorizzazione e in ultima analisi la documentazione digitale attesa.

L'esempio che segue potrà specificare quanto detto e allo stesso tempo esplicitare il percorso metodologico adottato.

Nell'ambito della Tavola B: "Idrologia Sotterranea", sono comprese le Emergenze di acque sotterranee distinte in Emergenze localizzate e Emergenze diffuse.

Tra le Emergenze localizzate, le Sorgenti sono indicate e descritte nella carta idrogeologica a scala 1:50.000, con un gruppo di 8 simboli differenti, in relazione alla Portata media annua, e nel solo caso di sorgenti con portate medie annue superiori a 10 l/sec, con la ulteriore indicazione e descrizione del Regime attraverso 6 simboli diversi.

La scelta del simbolo da utilizzare nella rappresentazione cartografica deriva dalla elaborazione dei dati delle misure di portata delle sorgenti, effettuate secondo le indicazioni dei capitoli tecnici delle convenzioni a determinati intervalli temporali (mensile, stagionale), e dalla disponibilità dei dati necessari alla valutazione del regime (rapporto tra portata di magra e portata media annua) delle sorgenti con portata media annua maggiore di 10 l/s.

Il dato si qualifica dunque per almeno due aspetti: la posizione in carta e la tabella dei dati delle misure di portata delle sorgenti.

Nel caso in esame e per tutti gli altri con le stesse caratteristiche, si è quindi richiesto di fornire la posizione geografica in carta (attraverso GIS con punto georiferito) e la tabella relativa (in genere nel formato *.xls), con l'unico legame dell'attributo nome/numero in carta uguale al nome/numero sul *record* presente nella tabella che memorizza i dati corrispondenti.

L'esempio chiarisce che si tratta di una implementazione/esplosione delle usuali forniture attraverso metodologie GIS. In queste la tabella è generalmente interna o direttamente collegabile perché inserita in un disegno logico di banca dati preordinata.

Non essendo possibile questa soluzione, si è stabilito di scegliere una soluzione intermedia tra: consegna cartacea, con stampa della carta e della tabella, e consegna del solo dato digitale inserito in una struttura di banca dati che ne vincola posizione, nome degli *item* e attributi utilizzabili, tutti elementi da verificare attraverso precisi vincoli alfanumerici.

Questo approccio ha una doppia motivazione. Da un lato la necessità di sperimentare la possibilità di fornitura di dati digitali di tipo idrogeolo-

(1) Progetto verifiche sperimentali di applicabilità della guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Quaderno SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995).

gico con le loro intrinseche implicazioni, in attesa della definizione di una banca dati specifica da realizzare, validare e standardizzare da parte del Servizio Geologico Nazionale e, dall'altra, verificare le difficoltà, i limiti oggettivi e le eventuali carenze di organizzazione e fornitura del dato digitale (e non digitale) da parte degli operatori coinvolti nelle sperimentazioni.

Opportuno a questo punto è, chiarire che l'esperienza della realizzazione e della complessa fase di metabolizzazione e di attuazione della banca dati CARG ha contribuito a indirizzare verso le soluzioni descritte.

In questo senso e per maggiore chiarezza serve ricordare che il Servizio Geologico Nazionale ha pubblicato il Quaderno n° 3: "Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida alla informatizzazione" nel 1995, quindi sette anni dopo l'inizio del Progetto CARG (1988) ed anche che, nella concreta realizzazione del medesimo progetto è utilizzato in realtà il Quaderno n° 6: "Banca dati geologici. Linee guida per l'informatizzazione e per l'allestimento per la stampa dalla banca dati", pubblicato nel 1997.

Dunque sono stati necessari quasi dieci anni per individuare una soluzione condivisa ed accettata da operatori e contraenti esterni.

La partecipazione diretta di esperti, nelle fasi di raccolta, organizzazione ed elaborazione dei dati idrogeologici, indirizza le modalità di costruzione di una banca dati specificamente dedicata al tematismo e, si ritiene, che possa contribuire ad avvicinare le attese non solo del fornitore del dato ma anche dei possibili fruitori e utilizzatori dello stesso quali tecnici, esperti di settore e utenti istituzionali.

Va precisato che come nel Progetto CARG, anche nella verifiche di applicabilità della "Carta Idrogeologica d'Italia. Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995) si utilizza il termine *banca dati* per definire in realtà una fornitura strutturata di dati da sistematizzare in un ambito digitale organizzato.

Le sperimentazioni realizzate nell'ambito del "PROGETTO" sono state dunque indirizzate sia alla consegna di una carta idrogeologica corredata dei dati e stampata, con relazione allegata (documentazione questa necessaria alla validazione della ricerca) sia alla definizione dei criteri da utilizzare per fornire il dato, che tiene conto e considera la intrinseca predisposizione digitale del dato stesso.

Rimane evidente e non modificata dagli approfondimenti relativi alla utilizzazione di strumenti e di metodologie informatiche, nelle varie fasi, la necessità di mantenere lo specifico contenuto

idrogeologico alla ricerca e alle attività svolte dai vari operatori senza limitarne o incasellarne i risultati scientifici per forzature o necessità informatiche.

Il valore aggiunto del "PROGETTO", direttamente e esplicitamente definito dal contenuto del capitolato tecnico delle convenzioni, specificamente rappresentato dalla previsione di una restituzione dei dati necessari ad illustrare le caratteristiche idrogeologiche del territorio oggetto di studio è stato quello di utilizzare anche un formato numerico.

Questa scelta, operata in relazione alla necessità di definire un modello logico di strutturazione dell'informazione idrogeologica e della sua rappresentazione cartografica attraverso la sperimentazione di strumenti e metodologie informatiche, è stata compiuta anche non tenendo conto delle perplessità e/o delle aspettative di una parte dei contraenti.

L'intuizione di questa necessità e la decisione di verificarne la sua applicabilità *in progress* nonostante le difficoltà da più parti segnalate ha di fatto permesso una prima sperimentazione sulla modalità di organizzazione e trasferibilità digitale di dati di tipo idrogeologico.

Con questo percorso si è cercato di coniugare da un lato i compiti istituzionali del Servizio Geologico Nazionale, derivanti dalla legge 183/1989 sulla Difesa del Suolo con le esigenze di realizzazione della attività conoscitiva riferite a uno specifico tematismo, le risorse idriche sotterranee, dall'altro le aspettative della comunità scientifica circa la possibilità di archiviazione, organizzazione, elaborazione e distribuzione digitale dei dati idrogeologici, secondo modelli di riferimento predisposti da un Organo Cartografico di Stato con caratteristiche di scientificità e qualità formale e sostanziale.

3. - CRITERI OPERATIVI DI MEMORIZZAZIONE DEI DATI

Come descritto nel paragrafo precedente, l'analisi compiuta sugli elementi informativi contenuti nella "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995) e quindi la definizione dei dati e dei prodotti attesi dalla sperimentazione, ha permesso una prima macrovalutazione circa la loro restituzione su supporto digitale.

Tuttavia alle attività previste nei capitoli tecnici è stato associato un carattere sperimentale e una elevata flessibilità, anche in relazione alla scelta di effettuare la ricerca in contesti territoriali e in

ambiti idrogeologici fortemente differenziati tra di loro.

L'esempio prima descritto sulla modalità di scomposizione del dato atteso, secondo le modalità previste nella "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995) ha permesso di evidenziare gli ambiti numerici nei quali predisporre i singoli contenuti. In generale le specifiche di massima fornite si riferiscono: all'ordine geografico, con il posizionamento e georeferenziazione del dato acquisito o derivato dalla ricerca sul campo e alla costruzione di singole tabelle per la descrizione dei contenuti variabili (in genere nel tempo) e fissi se presenti nell'ambito delle informazioni di tipo idrogeologico.

Gli elementi di ordine cartografico richiesti sono stati volutamente semplificati rispetto ai contenuti del Quaderno n° 5. Non è stata richiesta ad esempio la costruzione esatta e la relativa applicazione del simbolo definito, ma piuttosto la corretta collocazione geografica dell'elemento di riferimento (punto, linea o poligono) e la definizione/indicazione di un suo legame provvisorio con la legenda della carta.

Le semplificazioni grafiche, anche accentuate rispetto ai criteri compositivi previsti nella "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995) sono derivate dalla esigenza di non vincolare gli sviluppi della ricerca idrogeologica a precostituiti ordini numerici o di resa cartografica.

La validazione è stata basata sulla presenza del dato e sulla sua identificazione univoca con la voce di legenda collegata e ovviamente sulla correttezza del riferimento geo-spaziale, registrato su *raster* della base topografica IGM, con l'obiettivo di semplificare la attività di acquisizione del dato attraverso l'utilizzazione di strumenti *software*, già in dotazione degli operatori esterni, stabilendo di mantenere libertà di scelta dell'ambiente CAD/GIS da utilizzare.

I prodotti sviluppati sia in ambiente ArcView che AutocadMap sono stati validati pur nella consapevolezza dei limiti oggettivi imposti dai rispettivi *software*. Nel primo caso, l'impossibilità di gestione di simboli lineari orientati, nel secondo la particolarità di composizione dei medesimi elementi descritti con "blocchi grafici" riportati, ma non concretamente *fusi*, con la linea di base.

Si è stabilito di consentire una certa flessibilità nell'utilizzo dei simboli indicati nella "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000-Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995) nelle fasi di rappresentazione dei dati e di derivazione cartografica.

Questa determinazione è derivata dal fatto che il Servizio Geologico Nazionale avrebbe poi effettuato una attività specifica di allineamento unitario dei prodotti realizzati nell'ambito delle convenzioni per la sperimentazione del Quaderno n° 5, e in questo ambito verificato le difficoltà di traduzione cartografica della simbologia, le possibili discordanze di carattere scientifico e infine confrontato le rappresentazioni cartografiche proposte dai contraenti con quelle derivate dal Servizio Geologico Nazionale utilizzando lo stesso dato.

I dati tabellari sono stati acquisiti in genere in formato *.xls non essendovolutamente richiesta dal capitolato tecnico la costruzione di tabelle interne al GIS, comunque di non semplice definizione in mancanza di indirizzi ordinativi univoci o *item* con completa ed esatta definizione dei valori numerici o alfanumerici attribuibili.

È necessario tuttavia sottolineare che in questo modo è stato possibile verificare la possibilità di gestione di tabelle di dati idrogeologici variabili, almeno nel tempo, e orientare la scelta alla unificazione e alla associazione di singoli elementi omogenei dal punto di vista informativo (pozzi, sorgenti, portate dei corsi d'acqua superficiali, etc.). È evidente che gli operatori già esperti in metodologie GIS hanno costruito e memorizzato le tabelle relative, ove possibile, nell'ambito del data base collegato.

In ogni caso i dati sono stati comunque riprocessati e riutilizzati dal Servizio Geologico Nazionale per formalizzare la derivazione cartografica sperimentale.

4. - L'ACQUISIZIONE DEL DATO CARTOGRAFICO

Come già precedentemente accennato, il capitolato tecnico delle convenzioni non indicava specifiche metodologie da utilizzare nella fase di restituzione dei risultati e dei prodotti cartografici, in ragione di diverse motivazioni:

- valorizzare le capacità, l'esperienza e le professionalità informatiche presenti nei gruppi di lavoro dei dipartimenti universitari;

- verificare le differenze tra i contenuti previsti nel Quaderno n° 5 e le modalità di descrizione dei dati idrogeologici adottate dai gruppi di lavoro dei dipartimenti universitari e/o dagli autori;

- valorizzare le specifiche professionalità informatiche e cartografiche presenti nel Servizio Geologico Nazionale con una attività finalizzata alla restituzione dei dati e alla rappresentazione cartografica utilizzando i contenuti della legenda del Quaderno n° 5.

È opportuno sottolineare che in generale le esigenze di rappresentazione di dati riferite a specifici tematismi scientifici sono difficili da conciliare con una cartografia che necessariamente deve essere orientata alla semplificazione e alla possibile generalizzazione in campo nazionale.

Tuttavia la sperimentazione effettuata ha permesso una duplice verifica cartografica, dei contraenti/autori da un lato, dei cartografi/informatici del Servizio Geologico Nazionale dall'altro, e insieme un approfondimento delle problematiche connesse alla trattazione digitale delle informazioni di ordine idrogeologico in ambito cartografico.

La sperimentazione effettuata dai gruppi di lavoro dei dipartimenti universitari coinvolti nella ricerca e i risultati scientifici ottenuti sono descritti da altri autori in questo volume.

Si ritiene interessante invece approfondire i risultati ottenuti dai cartografi/informatici del Servizio Geologico Nazionale attraverso un complesso di attività che hanno prodotto come risultato finale nuove restituzioni cartografiche sulla base dei dati geografici e tabellari forniti al termine delle attività convenzionali.

Si segnala per completare le informazioni che le nuove restituzioni cartografiche sono state analizzate e validate dai gruppi di lavoro e dagli autori.

La prima questione affrontata si riferisce alla necessità di omogeneizzare i dati forniti da ciascun gruppo di lavoro in un unico ambiente GIS per permettere di comparare e confrontare gli elementi geografici e tabellari.

Il trasferimento dei dati è stato tutt'altro che agevole. I vari *export* permettono in genere la sola acquisizione georeferita delle primitive geometriche (punti, linee, poligoni) e la ricostruzione degli attributi dei vari elementi e la loro collocazione in tabelle coordinate in ambiente GIS è legata, in genere, a procedure semiautomatiche.

Il processo semiautomatico è comunque soggetto alla verifica diretta degli operatori, dal momento che non avviene quasi mai direttamente ma si realizza attraverso una serie di identificativi delle varie entità geometriche, esclusivi di ciascun *software* (colore, *layer* di appartenenza, etc.), spesso recuperabili in modo univoco solo se si utilizzano serie di *query* incrociate.

A completamento delle varie operazioni sono stati confrontati i risultati ottenuti con quanto riportato nelle carte originali fornite dai contraenti/autori e accertata la presenza di tutti gli elementi e la loro corretta attribuzione.

Il processo di trasferimento dei dati nel nuovo ambiente GIS è stato complicato dalla scelta operata da alcuni gruppi di lavoro/autori di forzare in modo consapevole le potenzialità dei *software* uti-

lizzati per la costruzione della simbologia, con l'obiettivo, del tutto condivisibile dal punto di vista tecnico-scientifico, di ottenere una rappresentazione a stampa più soddisfacente e più aderente alla situazione idrogeologica da descrivere.

In questo ambito un simbolo orientato è stato costruito con più forme geometriche, utilizzando più *layer* sovrapposti, per mantenere e evidenziare determinate e peculiari informazioni cartografiche, pur mantenendo un unico riferimento geografico, ad esempio la combinazione di un cerchio con un triangolo per indicare una direzione di flusso.

Questa modalità ha comportato la necessità di una identificazione preliminare degli elementi presenti, ridondanti rispetto alla nuova destinazione, e la necessità di trattare ciascuno di essi con i criteri utilizzati nel nuovo ambiente. Con riferimento all'esempio citato: una sola posizione geografica, la relativa topologia e l'attributo di orientamento.

È opportuno sottolineare che per migliorare il risultato cartografico spesso si è costretti a utilizzare il *software* a disposizione in modo improprio o non del tutto consoni ai comandi disponibili. Il problema in realtà è presente in modo più o meno accentuato con tutti i *software* disponibili, se consideriamo il legame con la gestione di una banca dati e la necessità di una sua restituzione cartografica relativamente semplificata.

Se ci si riferisce alle fasi iniziali del Progetto CARG, i miglioramenti conseguiti nelle nuove *release* sono del tutto evidenti, anche se sono ancora presenti problemi di restituzione cartografica che non soddisfano del tutto le attese di un Organo Cartografico dello Stato quale il Servizio Geologico. Con riferimento al Quaderno n° 5 ad esempio la non traduzione digitale dei simboli grafici comporta, ancor oggi, la restituzione in modo analogico attraverso il segno grafico riportato a lato delle varie voci di legenda.

Per semplificare le restituzioni cartografiche degli autori e permettere un maggiore approfondimento dei vari temi scientifici da trattare, sono state indicate e validate le basi topografiche IGM da utilizzare in formato raster georeferito disponibili alle varie scale, in genere 1:25.000.

Le informazioni di ordine cartografico sono state registrate su questi elementi. In questo contesto una ulteriore problematica affrontata, certamente significativa per una carta idrogeologica, è rappresentata dalla possibilità di utilizzare le aste fluviali come *template* di una buona parte delle informazioni da riportare. Per consentire la restituzione dei dati si è quindi effettuata l'acquisizione vettoriale del reticolo idrografico per utilizzarlo nelle informazioni di tipo idrogeologico.

5. - LA CARTOGRAFIA SPERIMENTALE DERIVATA

Per quanto riguarda gli aspetti strettamente cartografici della sperimentazione del Quaderno n° 5, numerose e significative sono le indicazioni provenienti dalle sperimentazioni effettuate sia in sede di realizzazione del "PROGETTO" che nell'ambito della attività svolta dai cartografi/informatici del Servizio Geologico Nazionale, successiva come si è detto alla consegna dei dati e del materiale cartografico previsto nei capitoli tecnici delle convenzioni.

Due sono le questioni che si ritiene necessario sottolineare.

La prima legata presumibilmente alla semplificazione talvolta eccessiva derivante dalla applicazione della legenda del Quaderno n° 5, la seconda strettamente dipendente dalla scelta di utilizzare simboli grafici non facilmente correlabili, in termini di gestione e di descrizione, a sistemi numerici.

Come già in precedenza accennato, le indagini effettuate su uno specifico contesto territoriale riportate alla scala 1:50.000 della cartografia ufficiale non sempre si conciliano con la generalizzazione descrittiva simbolica e grafica prevista nella legenda della "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995).

Gli autori hanno segnalato la non completezza espositiva e/o la difficoltà talvolta l'impossibilità di una adesione letterale alla legenda del Quaderno n° 5.

È il caso della rappresentazione dei Complessi Idrogeologici da distinguere secondo il loro grado di permeabilità relativa (Tav. C). È prevista una distinzione in 5 classi, tre catalogate rispettivamente come altamente, mediamente e scarsamente permeabili, una impermeabile e una classe con il grado di permeabilità relativa diverso da quello del complesso cui appartengono.

E anche il caso della distinzione dei complessi idrogeologici in funzione della infiltrazione efficace e/o della trasmissività (Tav. H). Nella elaborazione di questa carta, tuttavia considerata complementare, effettuate da alcuni autori sono state differenziate oltre 10 classi, ben superiori alle 6 previste è evidente che in questo caso non è stato possibile ai cartografi/informatici del Servizio Geologico Nazionale rappresentare l'elemento informativo in questione come previsto dalla legenda del Quaderno n° 5.

In realtà il problema si presenta con una complessità maggiore di quella qui sinteticamente espressa, infatti il dato da rappresentare, nel caso di complessi idrogeologici altamente permeabili AP e mediamente permeabili AM, ha almeno 2

parametri di riferimento variabili in modo relativamente indipendente e non prevedibile: la combinazione/sovrapposizione cartografica dei colori della carta geologica ufficiale e i simboli litologici indicati nella Tavola F. È peraltro questo uno degli elementi principali di cartografia idrogeologica, che riguarda in genere l'intera area del campo carta.

La mediazione cartografica adottata in questo caso dai cartografi/informatici del Servizio Geologico Nazionale in sede di riformulazione degli elaborati cartografici a partire dai dati forniti dai gruppi di lavoro dei dipartimenti universitari ha comportato l'inserimento di sottoclassi per tutte le situazioni necessarie e, come scelta di base, la logica dell'attenuazione o dell'esaltazione dei cromatismi di fondo per distinguere ambiti dei complessi idrogeologici compresi tra quelli prestabiliti.

Nel caso della restituzione cartografica dei simboli litologici si sono adottate spaziature della trama diverse per le classi non previste dalla legenda del Quaderno n° 5.

La individuazione e la definizione di queste soluzioni, come di altre non specificamente descritte in questa sede, ha comportato una attività complessa e articolata, con numerose e diverse prove successive, analisi, elaborazioni, ulteriori prove.

Il risultato della attività svolta dai cartografi/informatici del Servizio Geologico Nazionale è visibile nelle cartografie (tavv. I, II, III f.t. allegate in tasca di copertina) riconducibili alla realizzazione del "Progetto verifiche sperimentali di applicabilità della guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" (Quaderno SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995).

Per quanto si riferisce invece ai soli aspetti cartografici e di utilizzazione grafica dei simboli si rimanda alle altre cartografie (tavv. IV, V f.t. allegate in tasca di copertina).

Un problema cartografico che non ha avuto una soluzione ritenuta accettabile è costituito dalla previsione di rappresentare la mancanza di dato con l'assenza di qualsiasi tipologia cromatica.

Nelle carte geologiche la presenza di aree prive di indicazione di colore è, come noto, limitata a pochi e circoscritti casi; ad esempio aree in frana oppure conoidi prive della indicazione del periodo di formazione, aree caratterizzate da un contenuto intuibile a livello concettuale, anche da un fruitore non esperto, e comunque sempre grafizzate con specifici simboli.

La questione cartografica è appunto in che modo, in assenza di qualsiasi elemento che può consentire una corretta lettura e interpretazione, indicare a un utilizzatore, più o meno esperto, le aree in attesa di informazione.

Rispetto agli interrogativi che ne derivano non si deve dimenticare che la questione si pone in una carta tematica ufficiale dello Stato.

In generale in una carta topografica un'area *bianca* può, ad esempio, rappresentare, analizzate le quote dell'immediato intorno e le isoipse, una zona di pianura. Nelle carte tematiche l'assenza di cromatismo non è immediatamente riconducibile a assenza o non disponibilità di dato, anche se il relativo tassello si riporta in legenda. Spesso, soprattutto se ubicata all'interno delle aree oggetto di studio, l'assenza di cromatismo è interpretata come refuso di stampa e in ogni caso introduce elementi di incertezza dell'informazione non accettabili dal punto di vista cartografico.

La questione deve quindi essere opportunamente approfondita.

Un altro aspetto che è necessario evidenziare è relativo alla scelta di simbologie che con difficoltà si conciliano con la descrizione digitale del dato.

Dalla pubblicazione della "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995) si sono realizzate numerose evoluzioni dell'approccio cartografico derivato da dati numerici. Nel 1995 la cartografia idrogeologica, come quella geologica, era sostanzialmente realizzata con metodi e procedure pressoché tradizionali, anche se il Servizio Geologico Nazionale aveva effettuato una prima sperimentazione con dato numerico del foglio 389 "Anagni" della Carta Idrogeologica d'Italia a scala 1:50.000 (AA.VV., 1993).

Il foglio 389 "Anagni" pur se restituito con pellicole fotolitografiche a matrici singole, è stato interamente studiato con metodologie GIS, utilizzando peraltro una interfaccia e una restituzione grafica notevolmente limitata rispetto alle *release* odierne. Numerose questioni sono emerse durante la sperimentazione: la complessità di aggregazione delle aree, peraltro non necessariamente coincidenti con i litotipi da rappresentare, la definizione dei bacini idrografici attraverso la lettura combinata di elementi della base topografica (isoipse, quote), la difficoltà della rappresentazione cartografica delle portate delle numerose aste fluviali e degli elementi puntuali di tipo idrogeologico (pozzi, sorgenti).

Un ulteriore aspetto da approfondire evidenzia nell'ambito della realizzazione del "PROGETTO" si riferisce alla utilizzazione della simbologia prevista nel Quaderno n° 5 e in particolare alle difficoltà incontrate nella descrizione del dato con sistemi numerici, come evidenziato nell'esempio che segue.

Tra le Caratteristiche degli acquiferi è indicata la direzione di flusso che, in relazione alla presenza di falda libera, falda in pressione e sistemi multifalde, reti acquifere, è rappresentata con una freccia di diversa forma (pagg. 12, 13 del Q. 5). Il

simbolo è applicato, nel foglio 389 Anagni, come una unica freccia con ancoraggio (coda) in un punto predefinito indicato dall'autore: una parte (corpo) che si snoda in modo variamente flessibile e non prevedibile e un triangolo (punta) che indica la direzione del flusso verso un altro punto dell'area interessata.

Nella rappresentazione su stampa della carta, corredata dalla descrizione di legenda, un fruitore, più o meno esperto, non incontra una particolare difficoltà a definire il senso del simbolo stabilito dall'autore e tradotto dal cartografo.

Si riscontrano invece difficoltà oggettive se si vuole fare leggere lo stesso simbolo in modo automatico ad un sistema che prevede una banca dati. Infatti la forma del simbolo indicata nella legenda del Quaderno n° 5 non trova una descrizione topologica immediatamente catalogabile nei criteri previsti in un ambiente GIS: non è traducibile in un punto orientato variando il corpo della freccia, né assimilabile ad un poligono orientato per il repentino e non prevedibile percorso di direzione.

Una soluzione possibile è quella lineare orientata che quantomeno, anche se riferita all'asse centrale della freccia graficamente definita, descrive in modo relativamente completo il senso della simbologia adottata: dal punto di inizio, attraverso un percorso stabilito, al punto di arrivo con orientamento finale di direzione (freccia). Tuttavia la linea orientata è tutt'altro che facilmente traducibile nella forma grafica indicata nella legenda del Quaderno n° 5, sia per mancanza di idonei algoritmi sia per la presenza di numerosi elementi con lunghezze diverse e non legabili ad elementi definiti reperibili nella carta.

Nell'ambito della realizzazione del "PROGETTO" non è stato possibile orientare la sperimentazione allo sviluppo di specifici algoritmi grafici in grado di definire in modo più o meno completo la forma indicata nella legenda del Quaderno n° 5.

Si è ritenuto, considerati i molteplici e complessi obiettivi di "PROGETTO", di rinviare a specifici studi gli approfondimenti necessari e la ricerca di soluzioni adeguate.

Le soluzioni adottate, per quanto a volte riduttive, sono state analizzate, valutate e considerate tuttavia soddisfacenti dai gruppi di lavoro dei dipartimenti universitari/autori della rappresentazione cartografica e dai cartografi/informatici del Servizio Geologico Nazionale.

Come evidenziato nelle carte allegate il simbolo è stato tradotto con un lineare orientato rappresentato da una sequenza di frecce con caratteristiche geometriche, ma non di curvatura, come indicato nella legenda del Quaderno n° 5. È intuitivo che il tipo di freccia utilizzato corrisponde alle diverse descrizioni di legenda.

6. - CONCLUSIONI

La sperimentazione effettuata nell'ambito della realizzazione del "Progetto verifiche sperimentali di applicabilità della Guida al Rilevamento e alla Rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" (Quaderno SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995), promosso dal Servizio Geologico Nazionale nel 2000 ha permesso di affrontare concretamente numerosi aspetti della rappresentazione cartografica e della acquisizione numerica dei dati di ordine idrogeologico. Nell'ambito della ricerca è stato possibile per la prima volta coinvolgere operatori e tecnici esperti delle varie fasi di attività, dalla acquisizione del dato, alla interpretazione scientifica, alla definizione dei criteri di trasformazione/memorizzazione numerica fino alla rappresentazione cartografica con sistemi automatici.

La sperimentazione ha avuto come riferimento oggettivo la "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995), con modulazioni, variazioni e integrazioni riferite agli specifici contesti territoriali scelti come aree campione.

Le problematiche sviluppate hanno interessato le metodologie per la fornitura dei dati, i criteri operativi di loro memorizzazione, le modalità di acquisizione del dato cartografico e la cartografia sperimentale derivata a partire da dati numerici idrogeologici.

I risultati della ricerca effettuata forniscono un contributo rilevante alla definizione di metodologie e di procedure da utilizzare nella realizzazione della cartografia idrogeologica a scala 1:50.000 o ad altre scale, tuttavia non possono essere adottati in via definitiva per l'allestimento e la realizzazione della cartografia idrogeologica ufficiale.

Si ritiene necessario infatti lo sviluppo di ulteriori sperimentazioni in diversi contesti idrogeologici rappresentativi del territorio nazionale e insieme l'approfondimento delle problematiche emerse nel corso della ricerca, relative alla utilizzazioni di strumenti e metodologie informatiche dall'*input* dei dati alla rappresentazione cartografica dei risultati. In molti casi gli approfondimenti effettuati hanno consentito di individuare e di definire soluzioni accettabili e condivisibili. Per altri sono necessarie ulteriori finalizzazioni e specifici orientamenti in particolare per quanto riguarda la utilizzazione e la gestione numerica di simboli e graficismi.

È in ogni caso necessario evidenziare due

aspetti significativi del processo di sperimentazione descritto.

In primo luogo la validità dei contenuti della "Carta Idrogeologica d'Italia 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione" (AA.VV., 1995) come riferimento per la produzione cartografica ufficiale a scala 1:50.000, pur considerando i limiti di applicabilità evidenziati dalle verifiche sperimentali effettuate, del resto in parte comprensibili, considerato il tempo trascorso dalla pubblicazione e lo sviluppo di metodologie e tecnologie informatiche nel frattempo intervenute.

In secondo luogo la possibilità di gestione numerica del dato idrogeologico come segmento di una banca dati tematica che, si ritiene, debba essere oggetto di uno specifico approfondimento.

È infine il caso di segnalare che il valore aggiunto del "PROGETTO" e della sperimentazione effettuata è rappresentato dalla interazione e dalla collaborazione sviluppata tra tecnici e operatori diversi, coinvolti in tutte le fasi della attività, che hanno fornito specifici contributi agli aspetti connessi alla restituzione del dato attraverso sistemi numerici, definito una prima modalità per la fornitura dei dati e degli elementi informativi e orientato gli approfondimenti finalizzati alla restituzione cartografica e alla costruzione di una banca dati.

Per il futuro si ritiene che le risorse debbano essere orientate alla realizzazione di ulteriori sperimentazioni, all'approfondimento della utilizzazione di strumenti e metodologie informatiche e alla soluzione di specifiche problematiche evidenziate nell'ambito del "PROGETTO".

In un momento successivo, dopo il consolidamento delle linee guida, sarà possibile valutare le integrazioni e/o le modifiche da apportare alla normativa.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1985) - *Norme per la cartografia idrogeologica e del rischio geologico* - Serv. Geol. d'It., Quad. Serie II, 1, IPZS, Roma.
- AA.VV. (1992) (PASQUARÈ G., ABBATE E., BOSI C., CASTIGLIONI G.B., MERENDA L., MUTTI E., OROMBELL G., ORTOLANI F., PARLOTTO M., PIGNONE R., POLINO R., PREMOLI SILVA I., SASSI F.P.) - *Carta Geologica d'Italia 1:50.000. Guida al rilevamento*. C.N.R. Commissione per la cartografia geologica e geomorfologica, IPZS, Roma.
- AA.VV. (1993) (MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D., VENTURA G., ZATTINI N.) - *Carta Idrogeologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio n. 389 Anagni*, IPZS, Roma.
- AA.VV. (1995) (MARI G.M., MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D., ZATTINI N.) - *Carta Idrogeologica d'Italia in scala 1:50.000 - Guida al rilevamento ed alla rappresentazione*. Servizio Geologico Nazionale, Quaderni serie III, 5, IPZS, Roma.

Strumenti e metodologie informatiche per l'idrogeologia: dai dati alla rappresentazione cartografica

*Information tools and methodologies applied to hydrogeology:
from data supply to cartographic representation*

ROMA M. (*), VITALE V. (*)

RIASSUNTO – Il presente lavoro illustra le procedure di standardizzazione dei dati e le scelte cartografiche operate per la realizzazione delle cartografie idrogeologiche, presentate in questo volume, finalizzate alla verifica sperimentale di applicabilità del Quaderno 5 – III Serie, del SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE “Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000”.

Lo studio ha rivelato i limiti di rappresentazione del Quaderno, soprattutto in realtà idrogeologiche complesse, cercando di offrire un contributo migliorativo attraverso la realizzazione di una libreria di simboli, compatibili con il software GIS(1) utilizzato, unitamente alla creazione di simbologia *ad hoc* che consentisse una chiara ed immediata lettura del dato idrogeologico.

PAROLE CHIAVE: Linee guida, Idrogeologia, Cartografia idrogeologica, GIS.

ABSTRACT – The aim of this work is to carry out the hydrogeological maps oriented to verify the consistency of the paper named “Guide to the hydrogeological survey and the cartographic representation of the hydrogeological map of Italy at the 1:50.000 scale” printed by the Geological Survey of Italy, using specific cartographic selections and data standardization.

This research allows us to identify which is the borderline application due to the use of guide to build the cartographic representation, especially in the case of complex hydrogeological structures.

To obtain the maps, two lines of implementations had been carried out: a construction of a symbol library inside the GIS(1) software and new symbol list realized to allow a simple visualization of the hydrogeological data.

KEY WORDS: Guidelines, Hydrogeology, Hydrogeological cartography, GIS.

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

(1) *Geographic Information System*.

1. - INTRODUZIONE

I dati idrogeologici, forniti dagli Autori dei rilevamenti effettuati secondo le specifiche tecniche del Quaderno 5 - Serie III, del SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (MARI *et alii*, 1995), (di seguito indicato sinteticamente come Q5), sono stati utilizzati come elementi di partenza per la realizzazione delle cartografie idrogeologiche che in questo volume vengono illustrate e allegate in tasca di copertina.

Relativamente ai diversi contributi scientifici, i dati idrogeologici forniti hanno mostrato una diversa organizzazione digitale secondo differenti ambienti di lavoro GIS/CAD, non esistendo a riguardo particolari vincoli sulla fornitura, sui formati e sulla metodologia di elaborazione di una prima cartografia prototipale idrogeologica.

Al fine di raggiungere una chiara rappresentazione cartografica dell'informazione idrogeologica, si è resa necessaria una generale rivisitazione dei dati forniti, oltre che uniformare la loro struttura, in modo tale da poterli rendere idonei per una possibile collocazione interna a un *database* di concezione idrogeologica (MARI *et alii*, 2003, 2004; TARRAGONI *et alii*, 2009).

La standardizzazione dei dati forniti è stata necessaria anche per ciò che concerne il riferimento spaziale assegnato all'informazione geografica, il quale è risultato non comune nei diversi contributi idrogeologici; anche sotto questo aspetto, quindi, è stata necessaria una uniformazione del sistema di riferimento geografico.

2. - DATI DI LAVORO

I dati forniti con diversa tipologia di formato vettoriale per i vari contributi idrogeologici (formato *shapefile* (2) o formato CAD (3)) sono stati fatti confluire verso una struttura di dati formato *Geodatabase* (4) (modello dati *object-oriented*) che mette a disposizione utili strumenti di importazione, gestione e controllo del dato.

Le problematiche riscontrate nell'analisi dei dati sono state individuate in primo luogo, nella necessità di standardizzare l'informazione al fine di renderla fruibile ad un unico *software* GIS.

Il passo successivo ha visto il controllo geometrico dei vari oggetti digitali, mediante alcune regole topologiche disponibili nel *software* di gestione del *Geodatabase*, si è proceduto, pertanto, all'eliminazio-

ne di tutte le imprecisioni geometriche di carattere topologico tra i vari oggetti vettoriali, che hanno preso parte nelle forniture, dovute probabilmente ad una non accurata restituzione digitale.

2.1. – FORNITURA DEI DATI

Riguardo la diversa tipologia di dato vettoriale, nel caso del formato *shapefile*, l'informazione è risultata organizzata in alcuni casi con versioni di *software* GIS obsolete non del tutto compatibili con le recenti versioni: la migrazione del progetto ArcView 3.x (.apr) verso un ambiente ArcGIS (.mxd) fa scaturire notevoli difficoltà nella conservazione delle simbologie puntuali, lineari e areali adottate dall'Autore, avendo le due versioni del *software* GIS una gestione completamente diversa del simbolismo.

Per il formato vettoriale CAD è stata operata una conversione dei dati verso un formato gestibile dal *software* GIS; la soluzione adottata ha visto il passaggio per il formato *coverage* (5), per la ricostruzione della geometria poligonale (attraverso la funzione *build*) e rivolgendo particolare attenzione alla conservazione di tutti gli attributi informativi, già associati alle diverse entità geometriche. La conversione di formato non sempre ha consentito il mantenimento della parte informativa, tant'è che è stato necessario, per alcune *feature*, intervenire manualmente sulle tabelle.

Per ciò che concerne la presenza di errori topologici presenti nella fornitura dei dati si è proceduto, attraverso le potenzialità della struttura dati *Geodatabase*, con l'applicazione di regole topologiche che acconsentissero alla validazione del dato e all'individuazione di eventuali difetti nella geometria degli oggetti.

Le imprecisioni geometriche riscontrate sono state essenzialmente del tipo:

- poligoni o parte di essi in sovrapposizione (OVERLAP);
- presenza di vuoti tra poligoni (GAP);
- elementi lineari non perfettamente coincidenti con il contorno dei poligoni;
- poligoni "unghia" (SLIVER POLYGON).

Per i primi tre tipi sono state applicate le regole specifiche per *features* poligonali e lineari che in ambiente ArcGIS sono denominate: "*Must not overlap*", "*Must not have gaps*" e "*Must be covered by boundary of*"; mentre gli *sliver polygon* sono stati individuati fissando un valore soglia areale e successivamente accorpati ai poligoni adiacenti.

(2) Formato vettoriale per GIS sviluppato da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

(3) *Computer-Aided Drafting*.

(4) Formato *database* geografico nativo ESRI.

(5) Formato di dati vettoriale e topologico proprietario ESRI.

2.2. - TOPOGRAFIA

Gli elementi vettoriali plano-altimetrici, linee di collegamento e idrologia di superficie, utilizzati come riferimenti topografici, risultano costituiti da diversi livelli informativi (6):

- altimetria, reticolo fluviale e toponomastica derivata dall'informatizzazione della cartografia IGM scala 1:25.000. L'altimetria è stata rappresentata con curve differenziate in direttrici a tratto più spesso, intermedie con linee meno spesse e ausiliarie con un tratteggio; l'equidistanza di tali curve di livello è rispettivamente di 100, 25 e 5 metri. Per la toponomastica sono stati considerati, tra tutte le tipologie disponibili, solamente gli elementi puntuali con attributo "insediamento grande", "insediamento medio", "insediamento piccolo" e "monte/cima/corno" al fine di non appesantire il campo carta di elementi topografici e lasciare maggior spazio utile all'informazione idrogeologica;

- collegamenti più importanti tra quelli viari e ferroviari, i primi differenziati in autostrade, strade statali, provinciali e secondarie.

3. - SIMBOLOGIA

Al fine di rappresentare in carta tutte le informazioni idrogeologiche fornite dagli Autori dei diversi contributi, è stato necessario generare una libreria di simboli conforme agli strumenti GIS utilizzati e che ricalcasse per quanto possibile la simbologia già proposta in bozza grafica nelle linee guida del Q5. Al contempo, in conseguenza della necessità di ampliare il contenuto informativo della cartografia idrogeologica, parte della libreria di simboli è stata costruita "*ad hoc*" per sopperire alle "vacanze" del Q5 riguardo alcuni aspetti o fenomeni idrogeologici non contemplati nella normativa; si è così ampliato il *set* di oggetti grafici, realizzando nuovi simboli in modo da rappresentare tutti i fenomeni idrogeologici individuati nelle diverse aree di studio.

In questa fase di sperimentazione delle linee guida, inoltre, è sembrato giusto accogliere alcune proposte formulate dagli Autori, soprattutto per evidenziare alcune fenomenologie particolarmente studiate nelle rispettive aree di indagine idrogeologica.

La metodologia adottata per la strutturazione della libreria di simboli impiegata viene qui di seguito puntualizzata:

1. realizzazione del simbolo in formato vettoriale attraverso *software* grafici;
2. costruzione di un *True Type Font* (.TTF) mediante l'utilizzo di un *font-editor*;
3. creazione di uno *style* attraverso lo strumento *Style Manager* di ArcGIS.

3.1. – SIMBOLOGIA PUNTUALE

La parte di simbologia del Q5, relativa ai dati idrogeologici rappresentabili con oggetti grafici di tipo puntuale è quella che ha ricevuto maggiori integrazioni nel corso dell'allestimento cartografico per la rappresentazione completa della fornitura dei dati. Ciò è dovuto sia per l'intercorrere di informazioni idrogeologiche non previste dalle linee guida, sia per l'esigenza di risolvere problemi di tipo strettamente cartografico come, per esempio, il verificarsi di una eccessiva densità di informazioni localizzate in una ristretta area di studio.

I nuovi simboli di tipo puntuale, rispetto al Q5, realizzati e predisposti per una restituzione alla scala 1:50.000 si ritrovano nelle cartografie allegatae f.t. in tasca di copertina e sono riassunti in tabella 1.

3.2. – SIMBOLOGIA LINEARE









La sperimentazione della simbologia proposta nel Q5, dei fenomeni idrogeologici che in cartografia richiamano l'applicazione di una simbologia a sviluppo lineare ha mostrato, in alcuni casi, difficoltà di applicazione imputabile a particolari geometrie del simbolo o al colore assegnato nell'attuale normativa. Come esempio può essere segnalato, nell'ambito dell'idrologia sotterranea, il colore giallo che si ritrova associato nel Q5 ai limiti idrogeologici; oppure il colore rosso associato a particolari elementi grafici del simbolo proposto: è il caso delle frecce di scambio idrico nei tratti di corso d'acqua con perdite od incrementi di portata in alveo.

Gli esempi sopra menzionati riguardano una simbologia alla quale, convenzionalmente nella cartografia e negli studi idrogeologici anche storici, ormai da decenni vengono associati colori afferenti alle tonalità di blu.

Altro problema affrontato nell'applicazione della simbologia lineare del Q5, ha riguardato il conseguimento del giusto rapporto tra numero di elementi grafici, che costituiscono la simbologia lineare, e la lunghezza del fenomeno idrogeologico da rappresentare. Anche in questo ambito di

(6) Fornitura dati disponibile all'interno dell'ex Dipartimento Servizi Tecnici Nazionali.

Tab. 1 - *Nuova simbologia puntuale rispetto al Q5.*
 - New punctual symbology not included in the hydrogeology Guidelines.

Nuovo simbolo puntuale	Descrizione
 L3	Stazione fissa lacustre di monitoraggio con relativo codice.
 I	Stazione idrometrica del Servizio Idrografico.
	Sorgente puntuale; la grandezza del simbolo indica la portata media della sorgente; il riempimento del simbolo (multiplo di 1/8 di cerchio) esprime la portata minima (da BONI <i>et alii</i>).
	Sorgente lineare; la grandezza del simbolo indica la portata media della sorgente; il riempimento del simbolo esprime la portata minima; il simbolo viene collocato lungo la traccia del corso d'acqua laddove si effettuano misure di portata (da BONI <i>et alii</i>).
	Gruppo di sorgenti; i numeri indicano la numerazione delle sorgenti che il simbolo va a rappresentare.
	Sorgenti diffuse. Il simbolo prevede un limite che racchiude un'area dove si manifestano emergenze di piccola entità ma di numero rilevante.
	Gruppo di pozzi con stessa tipologia d'uso o interesse; i numeri costituiscono l'attributo identificativo dei pozzi che il simbolo rappresenta.
	Emanazione gassosa generica; qualora si conoscesse la composizione chimica del gas si potrebbe utilizzare la formula bruta del gas prevalente nell'emanazione.

sperimentazione, i tratti fluviali con variazioni di portata sono stati oggetto di particolare attenzione nel trovare un “*mark/gap line pattern*” appropriato, con l'intento di non appesantire troppo la rappresentazione di elementi grafici e contemporaneamente non “perdere di vista” l'andamento del fenomeno idrogeologico da rappresentare (tab. 2).

3.3. – SIMBOLOGIA AREALE

La simbologia di tipo areale, che è stata impiegata principalmente per identificare i complessi idrogeologici, in questa occasione è stata sottoposta a importante sperimentazione grafica con l'intento di sintetizzare e tradurre in veste cartografica le proprietà idrogeologiche dei complessi.

L'impostazione di lavoro per la rappresentazione dei complessi idrogeologici è stata indirizzata dalla volontà di dare risalto, mediante sfumatura di colore compresa tra il rosso e l'arancio, ai complessi con alta o media permeabilità relativa o caratterizzati da infiltrazione efficace. I restanti complessi, quelli con scarsa permeabilità relativa, o comportamento idrogeologico di “*aquitard*”, sono stati rappresentati con toni di verde, mentre quelli con permeabilità relativa pressoché nulla, o

comportamento idrogeologico di “*aquiclude*”, campiti con toni di grigio.

Contrariamente quindi alla “classica” cartografia geologica, dove il colore di fondo identifica generalmente l'età della formazione geologica (COSCI *et alii*, 1996), in questa occasione il timbro cromatico vuole evidenziare sulle aree maggiormente sensibili, come potenziali “*aree di ricarica*” degli acquiferi.


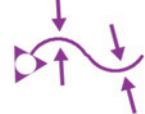
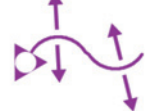




Per quanto riguarda il sovrassegno del simbolo areale, che differenzia per litologia i complessi idrogeologici con infiltrazione efficace o altamente/mediamente permeabili, sono stati ripresi e migliorati i retini proposti nel Q5, insieme a dei nuovi *pattern*, per differenziare e meglio individuare, dal punto di vista litologico, i complessi idrogeologici.

Relativamente ai cromatismi adottati per il colore di fondo (tab. 3) si è proceduto utilizzando i codici colore specificati nel “*Manuale cromatico di riferimento per la stampa delle carte geologiche*” (AA.VV., 2002; TACCHIA, 2007).

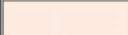




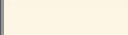
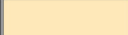



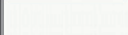
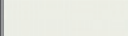
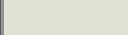
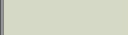

3.4. – SCHEMA DI INQUADRATURA MARGINALE

Lo schema di allestimento grafico, adottato per le cartografie idrogeologiche presentate in questo

Tab. 2 - *Nuova simbologia lineare rispetto al Q5.*
 - New linear symbology not included in the hydrogeology Guidelines.

Nuovo simbolo lineare	Descrizione
	Direzione e verso di deflusso idrico sotterraneo di falde sospese.
	Simbolo già proposto nel Q5, modificato nei colori Tratto di corso d'acqua drenante
	Tratto di corso d'acqua disperdente
	 1 - 20 l/sec  21 - 100 l/sec  101 - 200 l/sec  > 200 l/sec Variazioni di portata nei tratti drenanti o disperdenti

Tab. 3 - *Cromatismi di riferimento adottati per il colore di fondo dei complessi idrogeologici.*
 - Reference background colours for hydrogeologic complexes.

Timbro colore	Codice	Percentuale CMYK	Ambito di utilizzo
	792110	0 - 7,9 - 9,4 - 0	Complessi idrogeologici altamente permeabili (AP) o per classi di infiltrazione efficace.
	792120	0 - 23,7 - 28,2 - 0	
	792130	0 - 39,5 - 47 - 0	
	792140	0 - 55,3 - 65,8 - 0	
	792150	0 - 79 - 94 - 0	
	912110	0 - 2,7 - 10 - 0	Complessi idrogeologici mediamente permeabili (MP).
	912120	0 - 8,1 - 30 - 0	
	912130	0 - 13,5 - 50 - 0	
	912140	0 - 18,9 - 70 - 0	
	912150	0 - 27 - 100 - 0	
	612150	0,6 - 0 - 2 - 2	Complessi idrogeologici scarsamente permeabili (SP) o con comportamento di "aquitard".
	612150	1,8 - 0 - 6 - 6	
	612150	3 - 0 - 10 - 10	
	612150	4,2 - 0 - 14 - 14	
	612150	6 - 0 - 20 - 20	
Colore primario (I) P. COOL GRAY 10		0 - 0 - 0 - 10	Complessi idrogeologici impermeabili (IM) con comportamento di "aquiclude".
		0 - 0 - 0 - 20	
		0 - 0 - 0 - 30	
		0 - 0 - 0 - 40	
		0 - 0 - 0 - 50	

volume, ha generalmente la stessa impostazione di inquadratura marginale. Gli elementi grafici che hanno fatto parte dell'allestimento sono stati disposti secondo lo schema riportato in figura 1.

Seppur con le dimensioni massime variabili del layout di stampa, condizionate da diversi fattori geometrici come l'estensione e sviluppo dell'area di interesse, dagli spazi di legenda, dal numero di profili o sezioni schematiche da rappresentare, da eventuale inquadramento regionale o modelli idrogeologici, si è cercato di mantenere la struttura di allestimento pressoché con la stessa logicità editoriale per tutte le cartografie allegate.

4. - SCELTE ADOTTATE E PROPOSTE CARTOGRAFICHE

Vengono qui di seguito descritte alcune scelte ad indirizzo cartografico che sono state necessarie per fronteggiare le divergenze tra la fornitura dei dati e la normativa del Q5. A tal riguardo si evidenziano gli aspetti idrogeologici ai quali si è dedi-

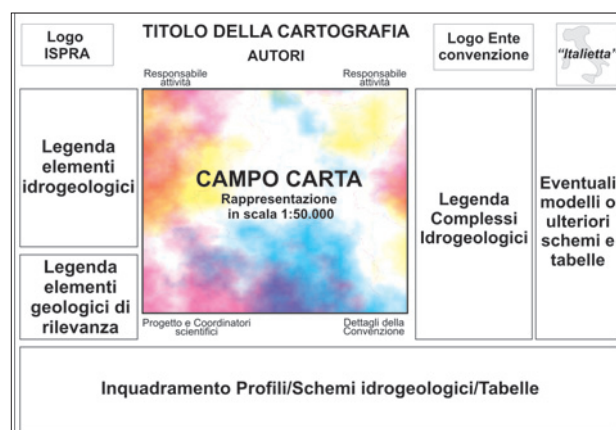


Fig. 1 - Schema di inquadratura marginale delle cartografie allegate al volume.
 - Cartographic development scheme for the attached tables.

cata particolare attenzione per ottenere una risoluzione cartografica ottimale:

- “*Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore sud-orientale dei Monti Cimini*”, CAPELLI *et alii*, (tav. I f.t. in tasca di copertina): informazioni idrogeologiche, rappresentabili con oggetti a geometria lineare e puntuale, localmente concentrate con conseguenti ripercussioni sulla leggibilità cartografica.

- “*Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini*”, BONI *et alii*, (tav. II f.t. in tasca di copertina): classificazione dei complessi idrogeologici permeabili secondo l’infiltrazione efficace e loro rappresentazione nel campo carta (7); dei complessi impermeabili o scarsamente permeabili secondo il comportamento idrogeologico (*aquiclude* o *aquitard*). Inoltre, la risorsa idrica viene qui distinta in base all’acquifero di origine con conseguente differenziazione cartografica.

- “*Cartografia idrogeologica sperimentale delle aree dei Monti del Matese e del Monte Totila*”, CELICO *et alii*, (tav. III f.t. in tasca di copertina): grado di permeabilità relativa espresso con un numero di classi superiore a quelle previste dal Q5 con conseguente suddivisione e sfumature all’interno delle quattro classi di permeabilità.

4.1. – MONTI CIMINI

La rappresentazione cartografica, dei dati idrogeologici forniti e spettanti al settore sud-orientale dei Monti Cimini, ha rivelato una osservante applicazione delle direttive proprie del Q5 per ciò che concerne il grado di permeabilità relativa dei complessi idrogeologici. Questi ultimi, infatti, sono stati coerentemente classificati secondo le quattro classi stabilite dal Q5, Alta Permeabilità (AP) – Media Permeabilità (MP) – Scarsamente Permeabile (SP) – Impermeabile (IM).

L’impianto rappresentativo dei complessi idrogeologici è stato mantenuto infatti secondo la normativa, rappresentando cioè le classi di permeabilità relativa con quattro definiti timbri cromatici supportati da sovrassegni litologici unicamente sui complessi idrogeologici identificati come altamente e mediamente permeabili.

L’informazione idrogeologica che il Q5 rappresenta attraverso simbologie puntuali e lineari è stata sottoposta a particolari attenzioni in quanto, per alcune situazioni, si è trovata difficile applicazione della specifica normativa definita nelle Linee Guida. Ciò è dovuto al gran numero di dati

idrogeologici che hanno fatto parte della fornitura appartenenti a determinate tipologie; in particolare il numero di pozzi, i punti di misura e le informazioni sui deflussi idrici sia superficiali che sotterranei. Tali dati hanno fornito, in una prima elaborazione cartografica alla scala di rappresentazione 1:50.000, una elevata densità di elementi puntuali e lineari, determinando una difficile e poco chiara rappresentazione complessiva dei dati nella specifica scala di restituzione.

La difficile gestione della simbologia attraverso procedure semi-automatiche del *software* GIS, in aree con estrema densità di informazioni idrogeologiche, ha mostrato problematiche di tipo cartografico con molti casi di sovrapposizione grafica degli oggetti ed eccessivo conflitto tra “*labels*” descrittive. Pertanto si è fatto ricorso, nella fase di allestimento cartografico, a strumenti e metodologie grafico-editoriali mediante *software* dedicati (*Adobe Illustrator*) sintetizzabili in due punti:

- formulazione di simboli cartografici che rappresentassero due o più di elementi vicini nella realtà e appartenenti alla stessa categoria di oggetto;

- intervento manuale diretto sui singoli oggetti grafici, che ha riguardato sia la simbologia puntuale che quella lineare, laddove veniva a crearsi interferenza grafica tra i vari oggetti.

Il primo punto ha riguardato i pozzi e le sorgenti (vedi cap. 3, simbologia “*gruppo di pozzi*” e “*gruppo di sorgenti*”) che hanno subito, con un processo di raggruppamento, uno sfoltimento degli elementi da rappresentare, mantenendo però il contenuto informativo, lasciando cioè l’attributo di numerazione come *label* identificativa.

Il secondo punto ha coinvolto la totalità della vestizione cartografica, con l’intervento di tipo grafico, in particolar modo sui simboli di direzione di deflusso sotterraneo, tratti di alveo drenante/disperdente, pozzi, sorgenti e relative *label* identificative. L’azione, prettamente manuale, ha agito sulla posizione dell’oggetto simbolo spostando leggermente il punto di ancoraggio e, dove necessario, cambiando le proprietà di orientazione. In figura 2 è riportato come esempio uno stralcio del campo carta, con solamente la simbologia puntuale e lineare, dove è stato necessario l’intervento grafico direttamente sulla vestizione del dato, proveniente da ambiente GIS. L’elaborazione in ambiente grafico-editoriale ha permesso di dare una lettura più ordinata della simbologia idrogeologica, ovviando agli inconvenienti di eccessiva densità e conseguente interferenza grafica delle informazioni alla scala di lavoro.

(7) Spazio cartografico riservato per la stampa alla scala 1:50.000.

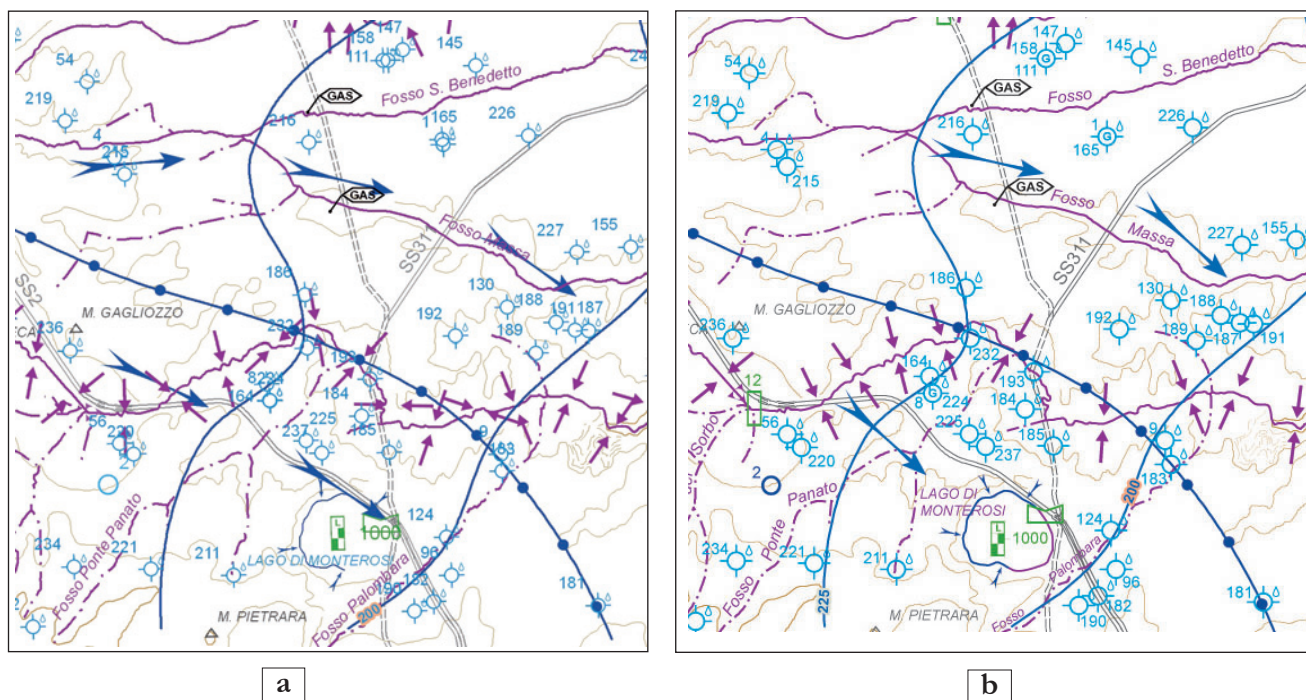


Fig. 2 – Confronto di allestimento cartografico della “Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore sud-orientale dei Monti Cimini”: a) da ambiente di lavoro ArcGIS; b) risultato dopo intervento manuale in ambiente grafico Adobe Illustrator.

- Comparison of cartographic development in the “Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore sud-orientale dei Monti Cimini”: a) in ArcGIS software; b) result after Adobe Illustrator software graphic processing.

4.2. – MONTI SIBILLINI

I dati forniti a seguito del rilevamento idrogeologico, effettuato da BONI *et alii*, nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini, hanno consentito la sperimentazione di un diverso approccio alla lettura dell'informazione idrogeologica, rendendo quanto più possibile lampanti gli aspetti quantitativi oltre che qualitativi della risorsa idrica sotterranea.

Con l'applicazione di una simbologia dedicata, coadiuvata da una nuova strutturazione di legenda, si è cercato di raggiungere una lettura tematica dei dati quanto più esplicita possibile con il risalto degli aspetti idrogeologici particolarmente approfonditi.

I diversi complessi idrogeologici, con significativa permeabilità, sono stati distinti principalmente in funzione del loro parametro di infiltrazione efficace; tale caratterizzazione, contrariamente alle indicazioni del Q5, è stata riportata direttamente nel campo carta(8), rappresentando quindi l'elaborato principale dell'allestimento.

Peculiare è anche la rappresentazione dell'aspetto qualitativo delle emergenze di acque sotterranee. Queste, oltre ad essere classicamente differenziate secondo il regime di portata, sono

state ulteriormente differenziate, su proposta degli Autori, sulla base del complesso idrogeologico da cui scaturiscono.

4.2.1. – Rappresentazione dell'Infiltrazione Efficace

I complessi idrogeologici oltre ad essere cartografati con un proprio retino litologico, vengono rappresentati mediante un diverso timbro cromatico che ravvisa un diverso comportamento idrogeologico.

La variazione di percentuale cromatica nell'ambito del colore rosso, è stata utilizzata per definire classi di infiltrazione efficace.

Quest'ultima grandezza idrogeologica è stata suddivisa secondo cinque classi espresse in mm/anno (Non Determinata, <450, 450-600, 600-750, >750); nelle aree dove l'infiltrazione efficace non è stata direttamente valutata (Non Determinata) il complesso idrogeologico è stato rappresentato con solamente il *pattern* litologico identificativo del complesso, senza colore di fondo.

La legenda dei complessi idrogeologici aventi valori di Infiltrazione Efficace, ha visto qui una nuova e sperimentale organizzazione presentando per ogni complesso idrogeologico la gamma di valori di Infiltrazione Efficace (I_{eff}) riscontrati

(8) Il parametro idrogeologico di infiltrazione efficace è previsto, nel Quaderno n. 5, attraverso una rappresentazione separata (cap. 1.8 del Q5) mediante una tavola complementare (tavola H) allegata alle note illustrative.

nell'area di studio (fig. 3). Il classico tassello di legenda viene così "esploso" secondo cinque tasselli con stesso retino litologico, mentre il colore di fondo, che varia secondo una sfumatura di rosso, riflette le cinque classi di I_{eff} . Il tassello con la sola retinatura denota che il complesso, nella specifica area, manca di dati di carattere quantitativo; mentre l'assenza fisica di un preciso tassello fa esaltare che lo stesso complesso non possiede, nell'area di studio, la relativa classe di I_{eff} .

4.2.2. – Rappresentazione delle sorgenti

Al fine di consentire una lettura più immediata dell'informazione idrogeologica anche la legenda del dato puntuale, nella fattispecie le emergenze di acque sotterranee, in parte ha subito una sperimentale riorganizzazione rispetto all'originale proposta di allestimento (fig. 4).

Per le sorgenti, si è cercato attraverso l'impianto di legenda di formulare una classificazione che tenesse conto delle informazioni di tipo qualitativo, distinguendo i punti sorgivi in base all'acquifero di origine. Alla classica suddivisione delle sorgenti secondo il loro regime di portata si è sovrapposta una ulteriore differenziazione che contempla il complesso idrogeologico da cui le sorgenti scaturiscono; l'espressione rappresentativa e simbolica di quest'ultima differenziazione ha trovato soluzione attraverso un diverso tono di colore blu.

L'aspetto quantitativo delle sorgenti, in particolare quelle di tipo lineare, è stato illustrato secondo una proposta di legenda che riporta tutte le combinazioni, che si verificano nell'area studiata, tra le portate medie e di magra registrate; la legenda, e la conseguente lettura dell'informazio-

ne idrogeologica, diviene così più esplicita su tale aspetto, tenendo conto contemporaneamente delle portate medie e di magra delle sorgenti, sia puntuali che lineari.

La forma fisica del simbolo, sia per le sorgenti puntuali che per quelle lineari, è rimasta simile a quella originariamente proposta dagli Autori, apportando migliorie nelle proprietà grafiche e nella leggibilità cartografica dell'oggetto simbolo. Ad esempio, le porzioni bianche che fanno parte del simbolo, che solitamente rimangono all'interno, sono state rese trasparenti in modo da non coprire spazio carta che in alcuni casi, quando il simbolo assume dimensione relativamente notevole, renderebbe difficile la lettura delle informazioni riportate negli strati informativi (*layers*) di posizione inferiore.

4.3. – MONTI DEL MATESE E DEL MONTE TOTILA

In questa particolare area di studio si riconosce un complesso assetto geologico-strutturale e contemporaneamente l'identificazione di litotipi con permeabilità relativa significativamente diversa; i complessi idrogeologici sono stati segnalati comunque impiegando i quattro colori di base scelti per le quattro classi principali di permeabilità (AP, MP, SP e IM - cfr. par. 3.3).

La significativa differenza di permeabilità relativa fa definire, all'interno delle classi "Altamente" e "Mediamente Permeabile", delle sottoclassi che si ravvisano nel colore di fondo, attraverso sfumature del timbro cromatico della classe di appartenenza. Il sovrassetto litologico accompagna sempre la rappresentazione dei complessi idrogeologici afferenti a queste due classi, e segnala una permeabilità rela-

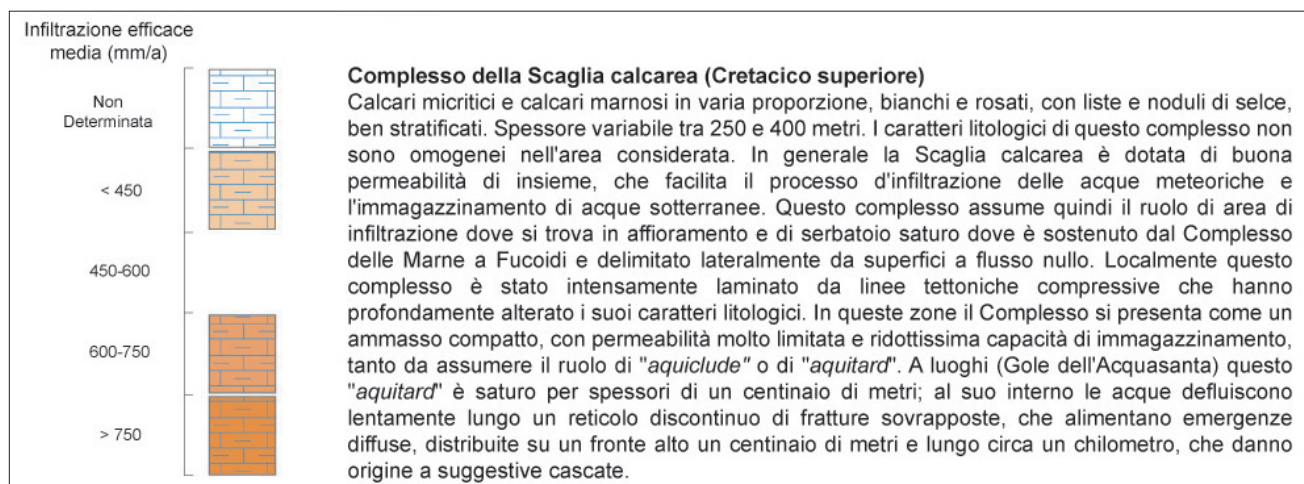


Fig. 3 – Stralcio di legenda dei complessi idrogeologici nella "Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini"; con questo tipo di organizzazione di legenda si evidenziano quali valori di Infiltrazione Efficace presenta il complesso idrogeologico nell'area studiata.
 - Part of "Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini" legend. The Effective Infiltration values of the hydrogeological complex in the study area are highlighted in this legend organization.

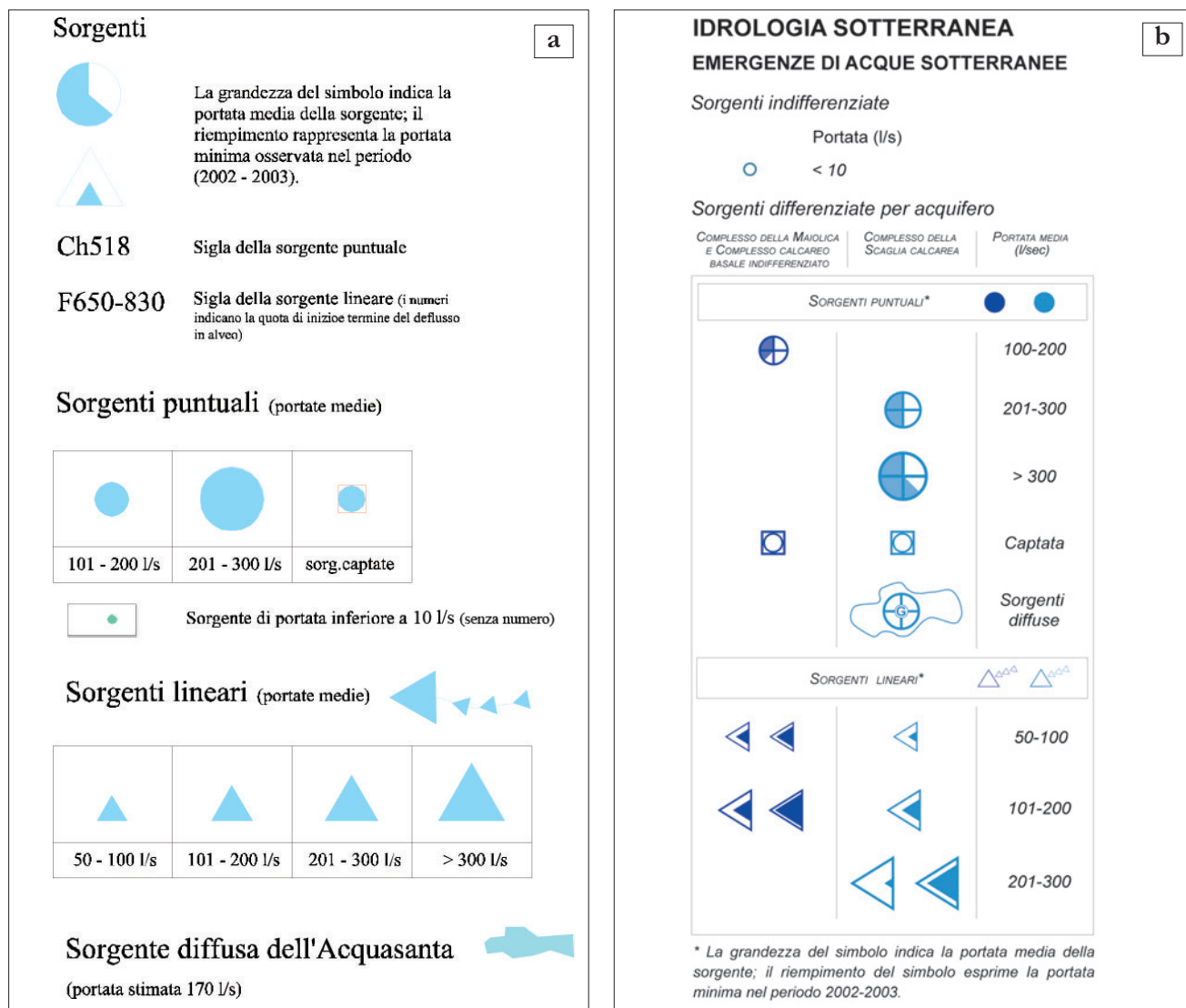


Fig. 4 – Legenda delle sorgenti adottata nella cartografia del settore nord-occidentale dei Monti Sibillini; a) legenda originale proposta degli Autori dello studio idrogeologico; b) nuova legenda proposta.

- Spring legends adopted in the north-western Sibillini Mountains map; a) original legend proposed by the Authors of the hydrogeological study; b) the new proposed legend.

tiva da elevata ad alta e da medio-alta a medio-bassa.

Nella figura 5 sono riportati due stralci di cartografie con relative legende messe a confronto; da una parte la cartografia fornita dall'Autore e dall'altra l'allestimento effettuato direttamente dalla banca dati del Progetto sperimentale attraverso strumenti *software* GIS. Tali stralci si riportano come esempio di revisione e riorganizzazione operata sui dati originali. In particolare si pone in evidenza il nuovo allestimento della legenda che propone un ordinamento dei complessi secondo il grado di permeabilità relativa e non secondo un criterio geocronologico; il raggruppamento delle varie sottoclassi di permeabilità secondo quattro gruppi principali che, unitamente al timbro cromatico e al sovrassegno, permettono una chiara

ed immediata differenziazione dei gradi di permeabilità dei complessi idrogeologici.

Per quanto riguarda la simbologia lineare, particolare attenzione è stata posta nella realizzazione dei simboli lineari variabili in senso longitudinale, operando sulla realizzazione di un simbolo che potesse essere gestito con la banca dati e al tempo stesso essere di immediata interpretazione dell'informazione idrogeologica ad esso associata. L'assemblaggio della simbologia lineare è avvenuto attraverso la ripetizione di simboli puntuali per l'intera lunghezza del vettore, utilizzando come intervallo di ripetizione una distanza opportuna in modo tale da permettere una corretta rappresentazione cartografica indipendentemente dall'estensione della linea.

5 – CONCLUSIONI

L'opportunità di avere dati idrogeologici relativi ad aree del territorio nazionale, di particolare interesse per l'idrogeologia e scelte proprio come aree campione rappresentative in diversi ambiti geologici (CACCIUNI *et alii*, 2004; CAMPOBASSO *et alii*, 2004) è risultata un'occasione piuttosto unica per testare l'applicabilità del Q5 quasi nella sua interezza. Infatti le diverse aree di studio, proprio per le differenze di assetto idrogeologico, si sono prestate a dare risalto a particolari aspetti idrogeologici peculiari di ogni area e che hanno così contribuito a presentare un panorama quasi completo sulla variabilità del dato idrogeologico. Tale variabilità scaturisce non solo dal livello di conoscenze idrogeologiche locali, ma anche per metodologia di studio idrogeologico o formazione accademica degli Autori.

Il tentativo di applicazione della normativa del Q5, sui dati idrogeologici delle diverse aree campione, ha rivelato una oggettiva difficoltà nella rappresentazione dell'informazione idrogeologica. L'esperienza di applicazione della normativa ha fatto emergere, infatti, alcune lacunosità e problematiche applicative di parte della simbologia definita dal Q5. Attraverso la formulazione di nuovi simboli e la modifica di particolarità di alcuni simboli proposti, si è cercato, per quanto possibile nei limiti delle interferenze grafiche, di mantenere il contenuto informativo delle forniture di dati e, parallelamente, ottenere una ottimale gestione del dato nel sistema informativo geografico.

A nostro avviso, l'applicazione rigida del Q5, così come formulato oggi, non avrebbe condotto ad una resa cartografica ottimale e ad una completa e chiara rappresentazione tematica. Utili indicazioni pertanto potrebbero arrivare dai contributi di questo volume, al fine di affinare la normativa per la rappresentazione cartografica alla scala 1:50.000, la fornitura dei dati, la gestione e archiviazione dei dati idrogeologici.

Nell'immediato ci si aspetta quindi un aggiornamento dell'attuale Q5 con integrazioni e precise

specifiche dimensionali della simbologia, indicazioni sull'inquadratura marginale e, in una visione futuristica, la possibilità di costruire un *database* che possa "ospitare" i dati idrogeologici del territorio nazionale.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2002) – *Carta Geologica d'Italia (progetto C.A.R.G.), Manuale cromatico di riferimento per la stampa delle carte geologiche*, Servizio Geologico d'Italia.
- CACCIUNI A., CAMPOBASSO C., MARI G.M., MARTARELLI L., SCALISE A.R. & SILVI A. (2004) – *Cartografia idrogeologica in aree campione del territorio nazionale* - Poster, 32nd International Geological Congress, Firenze 2004.
- CAMPOBASSO C., MARTARELLI L., PARIS F., SCALISE A.R. & SILVI A. (2004) – *Attività Idrogeologiche di campagna del Servizio Geologico, Scienze della Terra e carte tematiche del Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT* - Poster, 32nd International Geological Congress, Firenze 2004.
- COSCI M., FALCETTI S. & TACCHIA D. (1996) – *Carta Geologica d'Italia – 1:50000. Guida alla rappresentazione cartografica*. Quaderni del Servizio Geologico d'Italia, Serie III, **2**, Roma.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute) (2004) – *ArcGIS 9 – Geodatabase Workbook*, Redlands (CA), USA.
- MARI G.M., CECILI A., CINNIRELLA A., LISI A., MARTARELLI L., SCALISE A.R., TACCHIA D. & VENTURA R. (2003) – *Proposta di modello dati GIS per la strutturazione dell'informazione idrogeologica a partire dalla Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000* (Quaderno SGN, Serie III, **5**, IPZS, Roma, 1995) - Poster, FIST Geoitalia 2003, 4° Forum Italiano Scienze della Terra, Bellaria 16-18 settembre 2003.
- MARI G.M., CECILI A., LISI A., SCALISE A.R., TACCHIA D. & VENTURA R. (2004) – *GIS proposal for a structured hydrogeological information* - Poster, 32nd International Geological Congress, Firenze 2004.
- 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*. Quaderni del Servizio Geologico d'Italia, Serie III, **5**, IPZS, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1993) – *Carta Idrogeologica d'Italia in scala 1:50.000- Foglio n. 389 Anagni* e nota illustrativa.
- TACCHIA D. (2007) – *Carta Idrogeologica d'Italia – 1:50.000 Guida all'uso del manuale cromatico di riferimento per la stampa delle Carte Geologiche*. Quaderni del Servizio Geologico d'Italia, Serie III, **11**, IPZS, Roma.
- TARRAGONI C., MARTARELLI L., PIERDOMINICI S., ROMA M. & BONI C.F. (2009) – *A proposal for compiling quantitative hydrogeological maps*. Rend. Società Geologica, in stampa.

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 relazionale 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* ignimbritico 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 oblitterati dalla copertura ignimbritica 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).

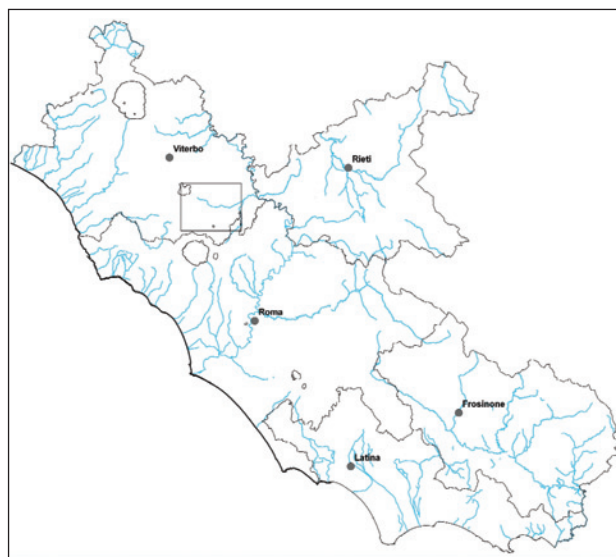


Fig. 1 - Ubicazione dell'area di studio.
- Location of the study area.

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 ("Tufo 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);

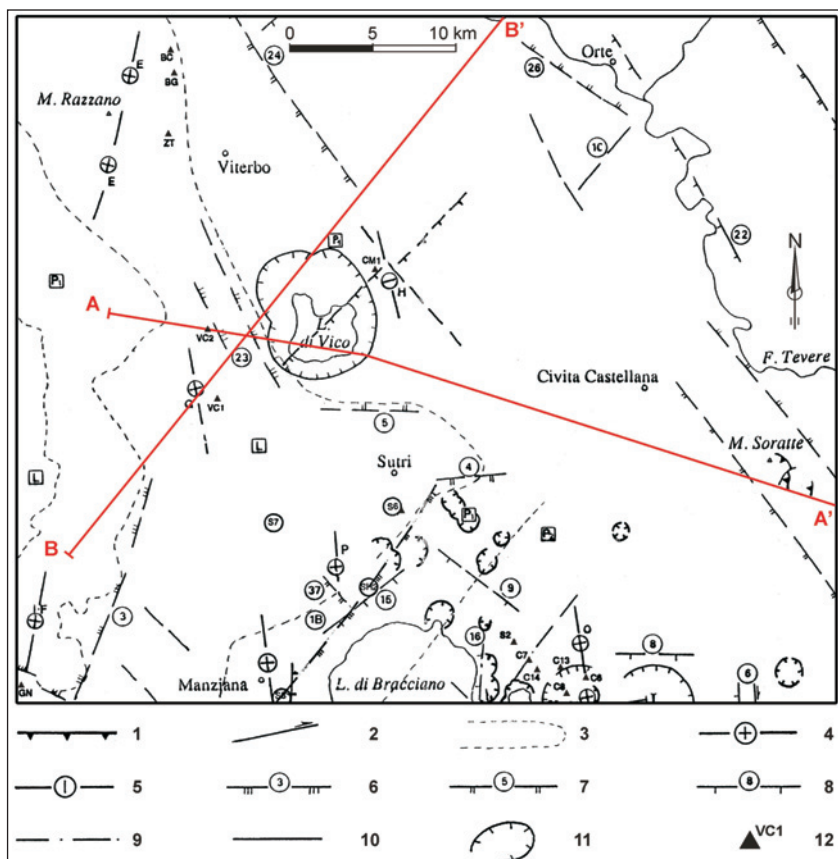


Fig. 2 - Schema strutturale con evidenziate le tracce dei profili geologici A-A' e B-B'. Legenda: 1) Sovrascorrimenti minori all'interno delle singole unità stratigrafico-strutturali; 2) Faglie trascorrenti; 3) Limite di distribuzione dei corpi sedimentari al di sotto della copertura vulcanica: L) "Liguridi 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 delimitando 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).

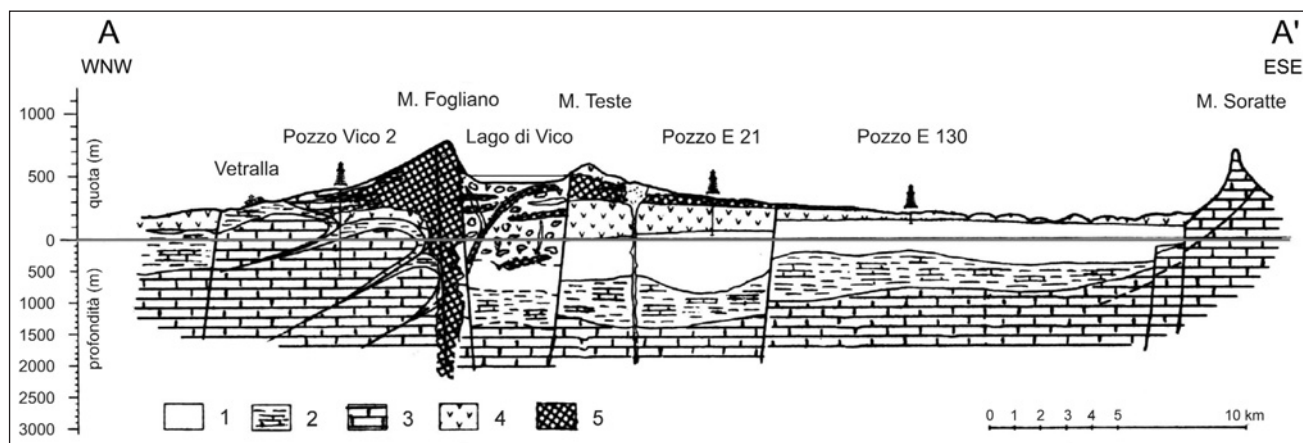


Fig. 3 - Profilo geologico A-A'. Legenda: 1) Formazioni del ciclo neoauctono (Miocene-Pliocene-Quaternario); 2) Formazioni alloctone in facies di flysch (Cretaceo superiore-Oligocene); 3) Basamento carbonatico mesozoico; 4) Tufi prevalenti e lave; 5) Lave prevalenti e tufi (da LA TORRE *et alii*, 1981).
- Geologic section A-A'. Legend: 1) Neoauctonous cycle formations (Miocene-Pliocene-Quaternary); 2) Alloctonous 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 rinvenivano 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

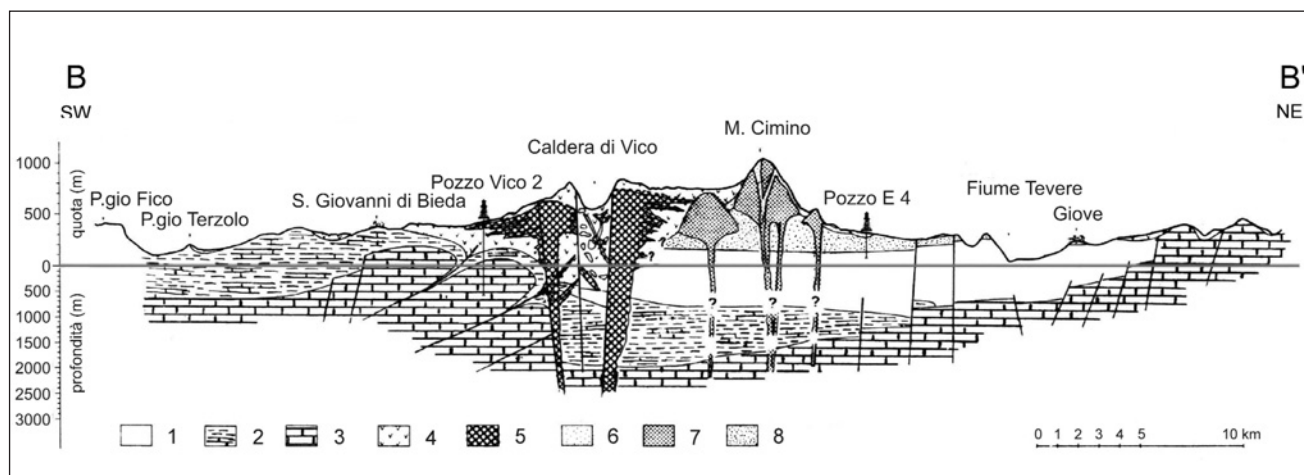


Fig. 4 - Profilo geologico B-B'. Legenda: 1) Formazioni del ciclo neautoctono (Miocene-Pliocene-Quaternario); 2) Formazioni alloctone in facies di flysch (Cretacico superiore-Oligocene); 3) Basamento carbonatico mesozoico; 4) Tufi prevalenti e lave; 5) Lave prevalenti e tufi; 6) Colate di lava; 7) Lave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

- Geologic section B-B'. Legend: 1) Neautochthonous cycle formations (Miocene-Pliocene-Quaternary); 2) Allochthonous 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).

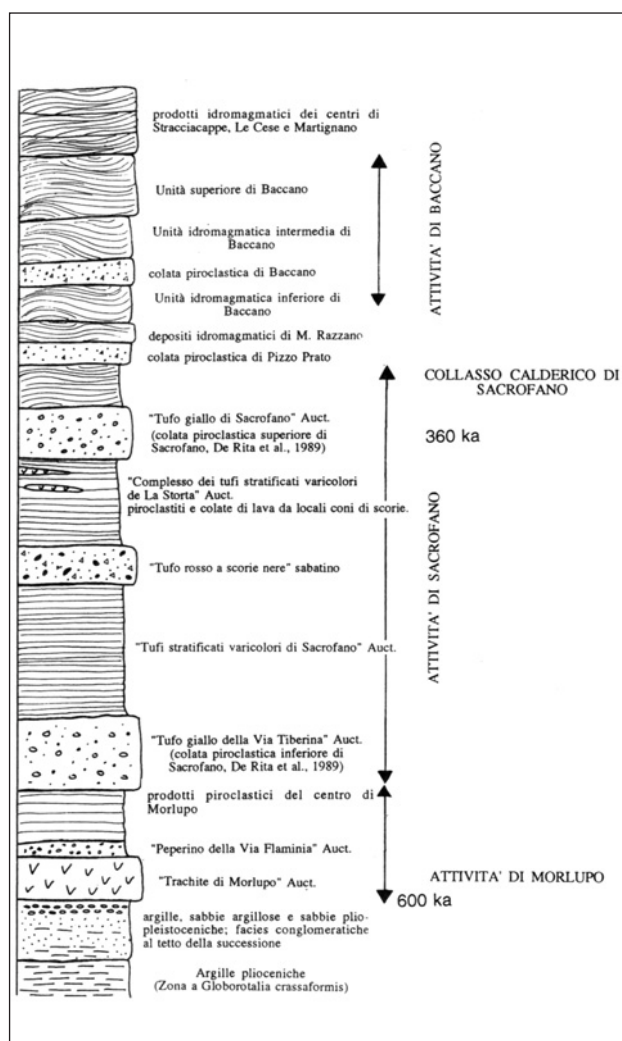


Fig. 5 - Sezione stratigrafica schematica del settore orientale del Distretto Vulcanico Sabatino (MARRA & ROSA, 1995).

- 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 rinvenivano 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 idromagmatiti, 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 tolfaiana 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-

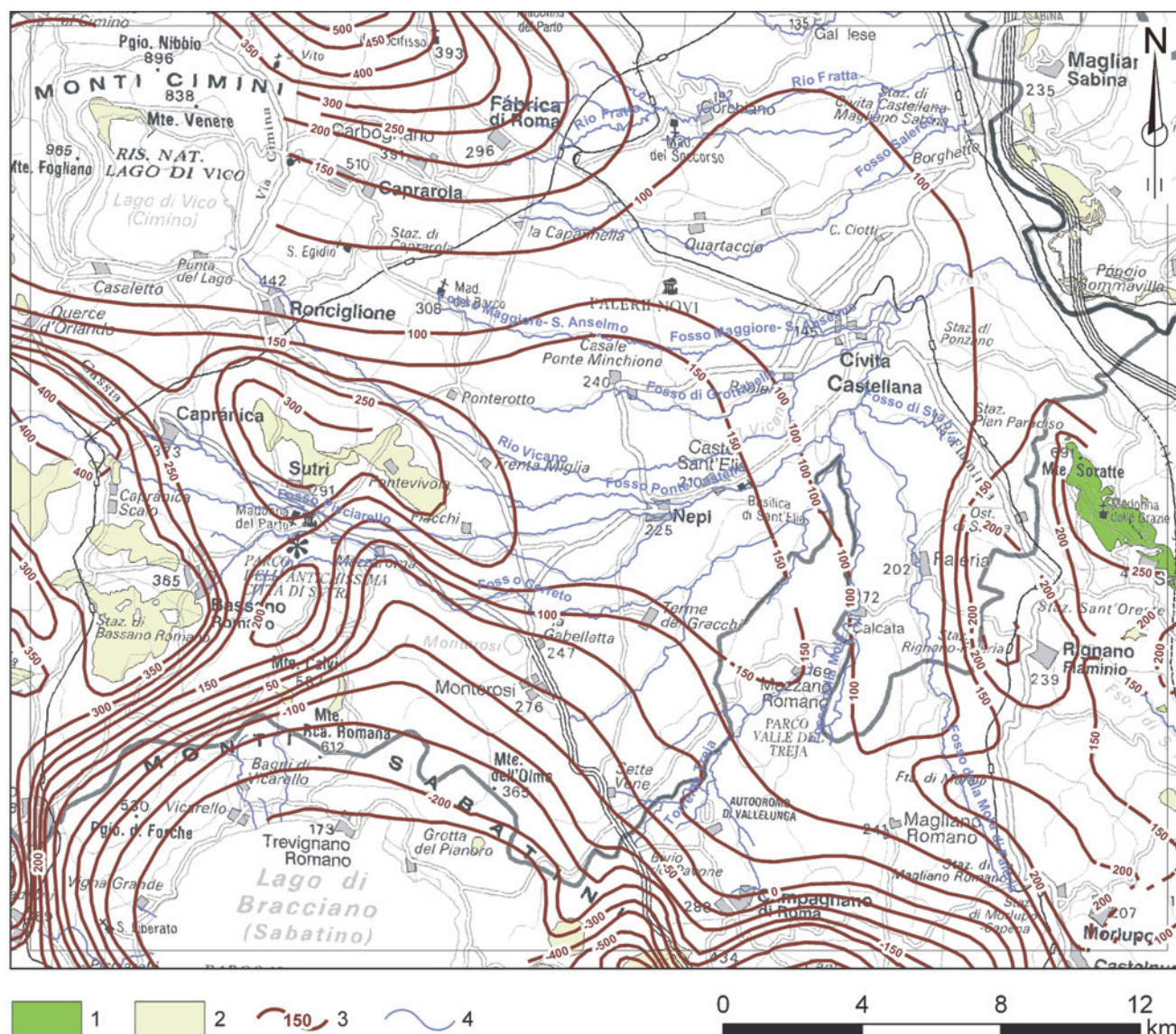


Fig. 6 - Carta delle isobate del tetto delle formazioni prevulcaniche e dei loro affioramenti. Legenda: 1) Complesso dei calcari di transizione; 2) Complesso dei depositi terrigeni prevulcanici; 3) Isobate del tetto delle formazioni prevulcaniche con quota di riferimento; 4) Reticolo idrografico.
 - Isobath map of the top of the prevolcanic formations and their outcrops. Legend: 1) Transitional limestone complex; 2) Prevolcanic 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, calcilutiti 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'*aquiclude* 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-lapillosi 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 coni di scorie (Pleistocene medio - superiore).

Appartengono a questo complesso le lave e i con 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,

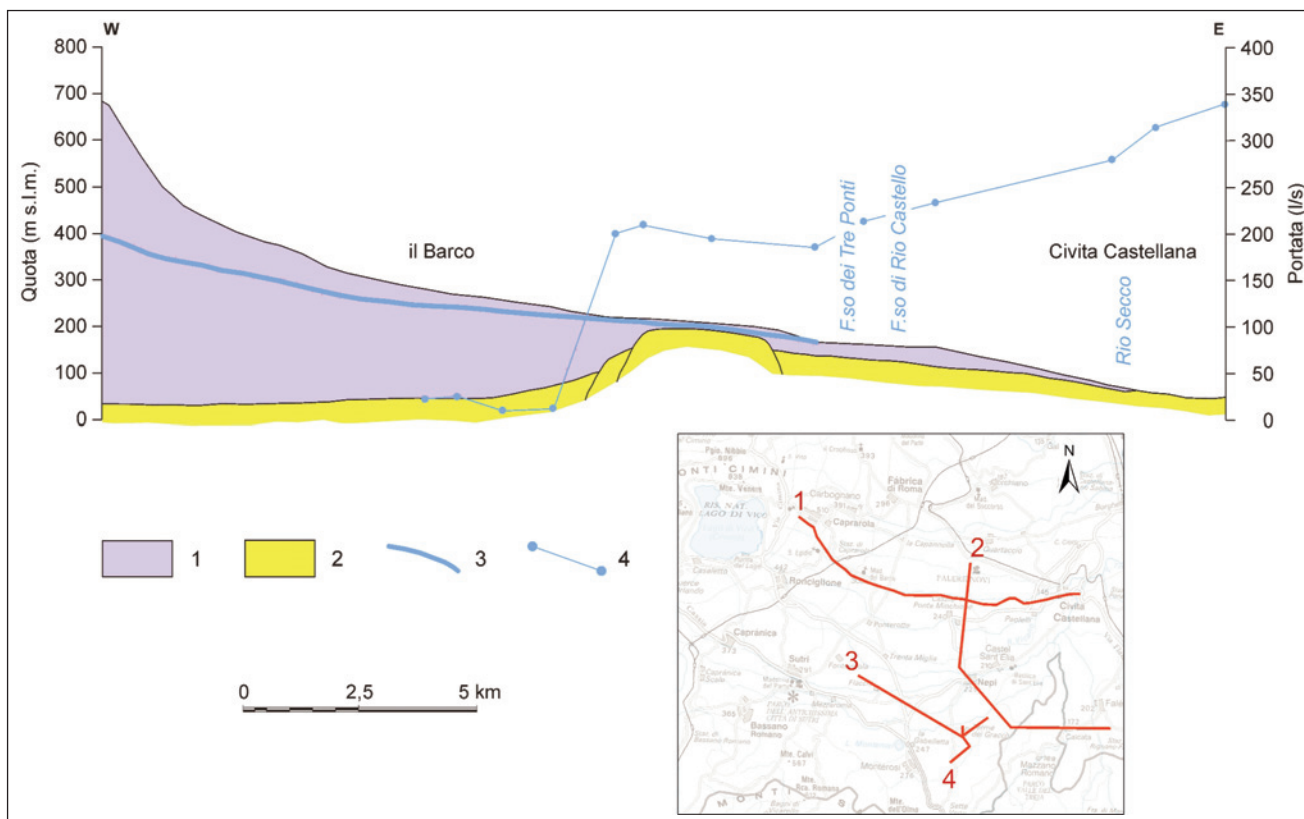


Fig. 7 - Profilo idrogeologico 1 (sezione longitudinale del Rio Maggiore con andamento dei valori di portata rilevati in alveo) con ubicazione anche dei profili idrogeologici 2, 3 e 4. Legenda: 1) Vulcaniti indifferenziate; 2) Substrato sedimentario a bassa permeabilità; 3) Linea piezometrica; 4) Valori 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.

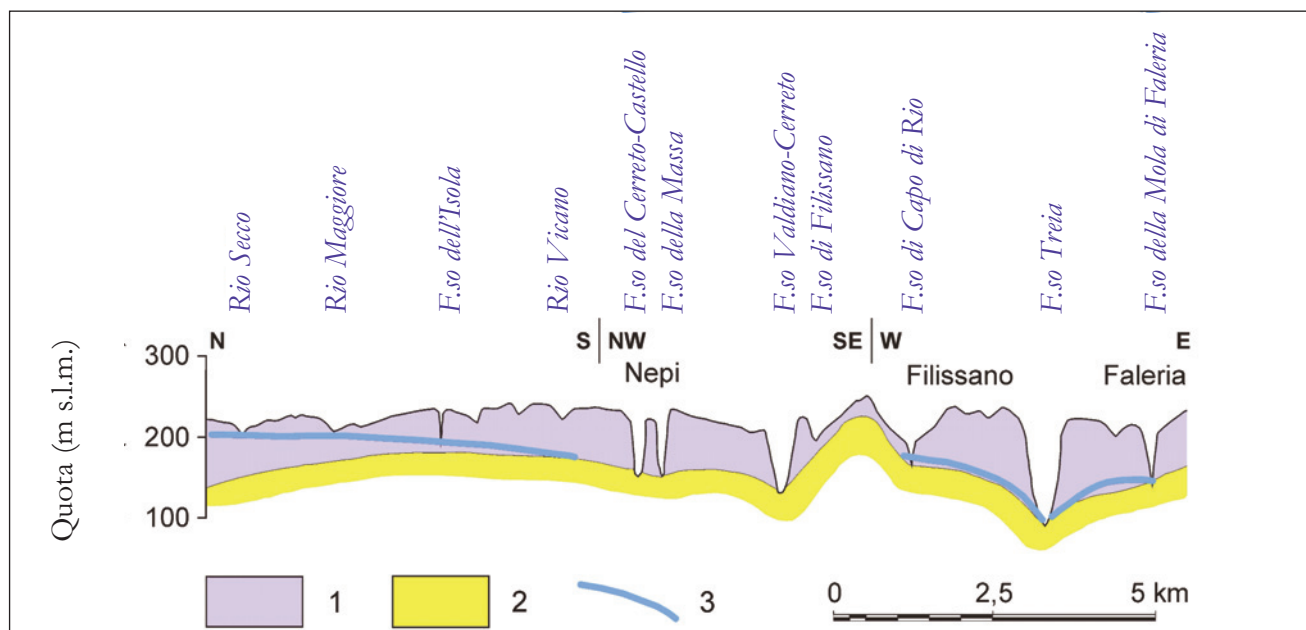


Fig. 8 - Profilo idrogeologico 2. Per l'ubicazione vedi figura 7. Legenda: 1) Vulcaniti indifferenziate; 2) Substrato sedimentario a bassa permeabilità; 3) Linea piezometrica (da BONI *et alii*, 1992).

- 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 trabocchi 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

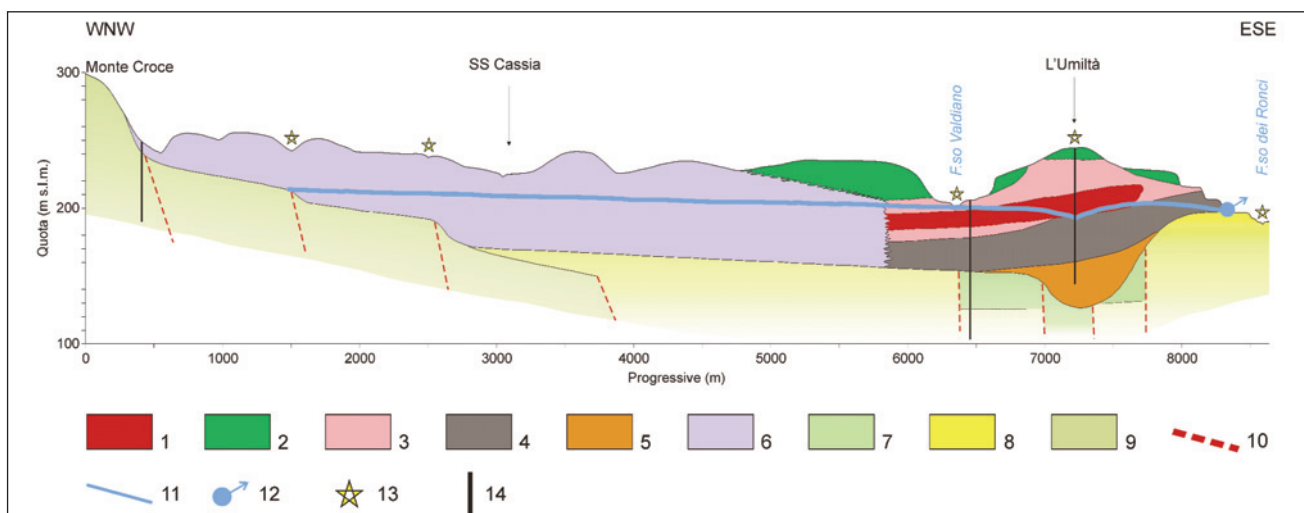


Fig. 9 - Profilo idrogeologico 3. Per l'ubicazione vedi figura 7. Legenda: 1 - Lava leucititica grigio scura; 2 - Terza ignimbrite vicana tefritico-fonolitica a matrice cineritica o micropomicea; 3 - Tufi de "La Storta". Sequenza di depositi stromboliani con piroclastiti intercalate. È presente un livello 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 leucititic lava; 2) Tephritic-phonolitic with cineritic or micropumiceous matrix: Vican 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).

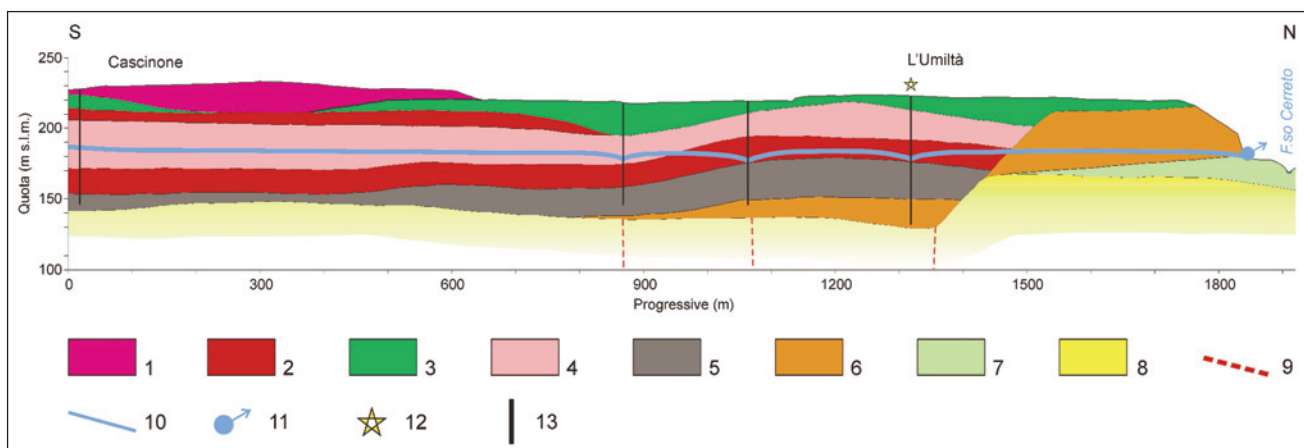


Fig. 10 - Profilo idrogeologico 4. Per l'ubicazione vedi figura 7. Legenda: 1 - Espandimento lavico di Monterosi; 2 - Lava leucititica grigio scura; 3 - Terza ignimbrite vicana tefritico-fonolitica a matrice cineritica o micropomicea; 4 - Tufi de "La Storta". Sequenza di depositi stromboliani con piroclastiti 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 leucititic lava; 3) Tephritic-phonolitic with cineritic or micropumiceous matrix: Vican 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-

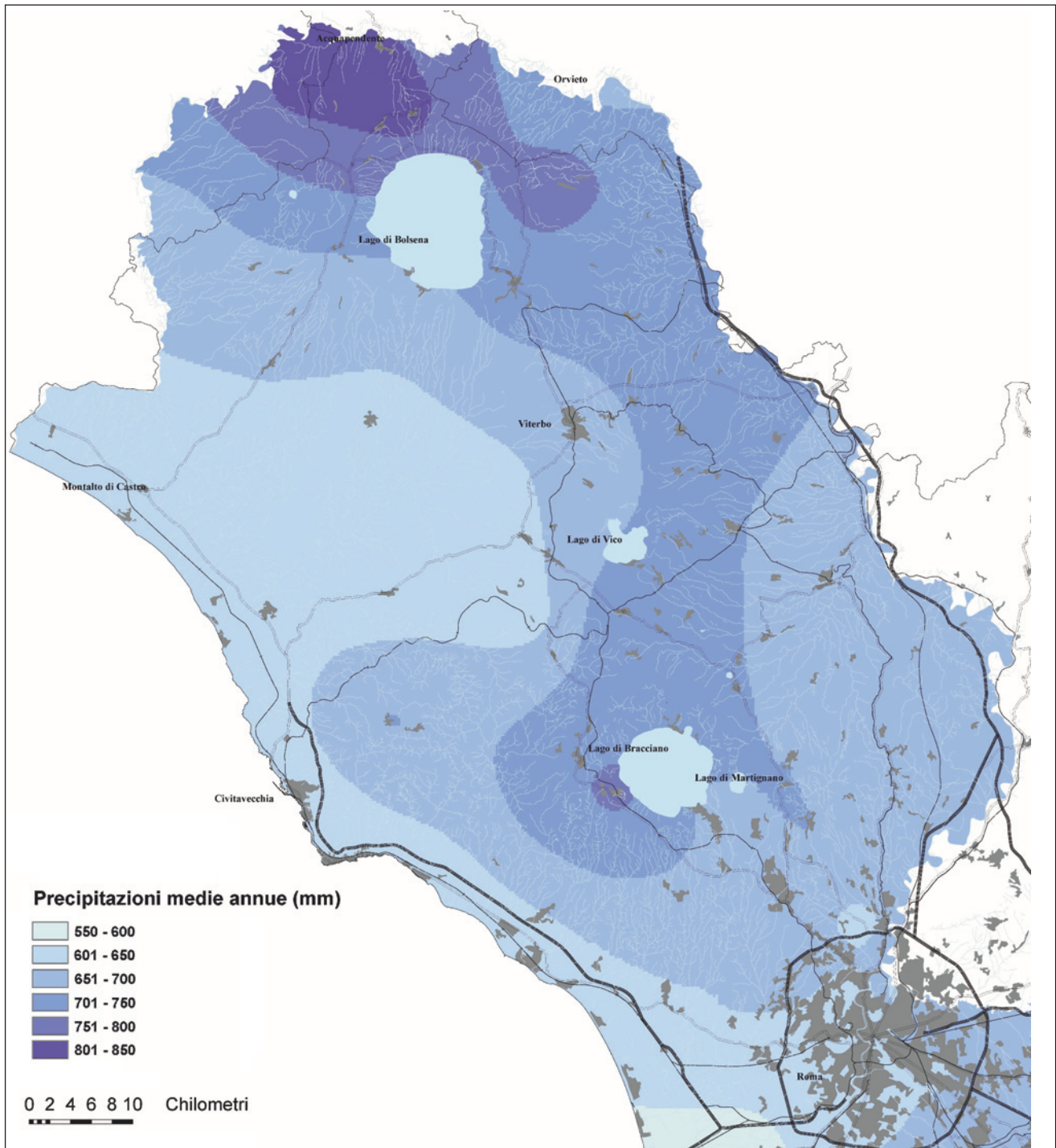


Fig. 11 - Carta della distribuzione dei valori medi delle precipitazioni annue nel periodo 1997-2001 (da CAPELLI *et alii*, 2005b).
 - Mean values of the annual rainfall distribution map during 1997-2001 (from CAPELLI *et alii*, 2005b).

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: $Epi = k \left[1.6 \left(\frac{10T_i}{1} \right)^a \right]$

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;

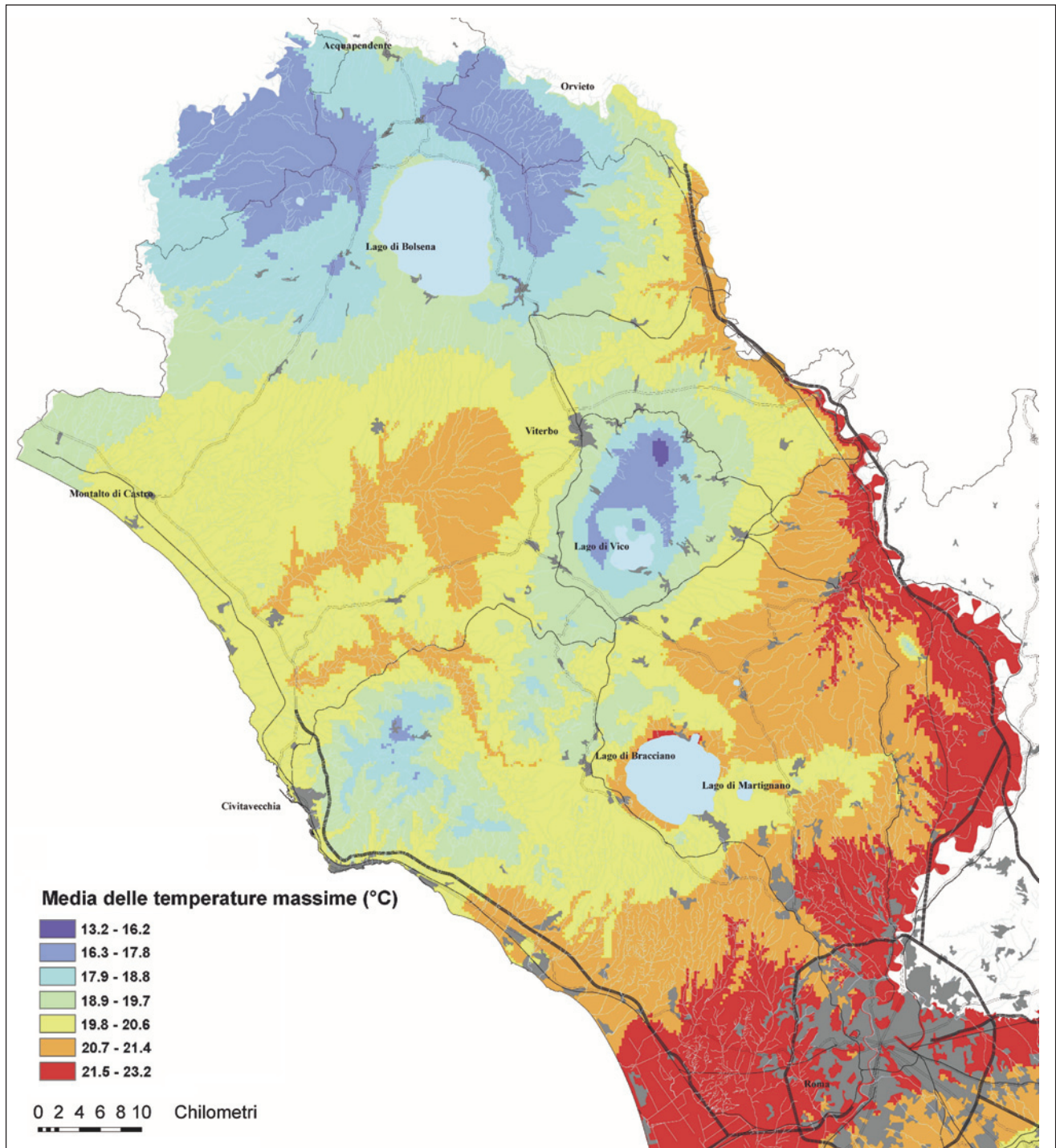


Fig. 12 - Carta della distribuzione dei valori medi annui delle temperature massime nel periodo 1997-2001 (da CAPELLI *et alii*, 2005b).
 - Annual mean values of the atmospheric temperature distribution map during 1997-2001 (from CAPELLI *et alii*, 2005b).

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.

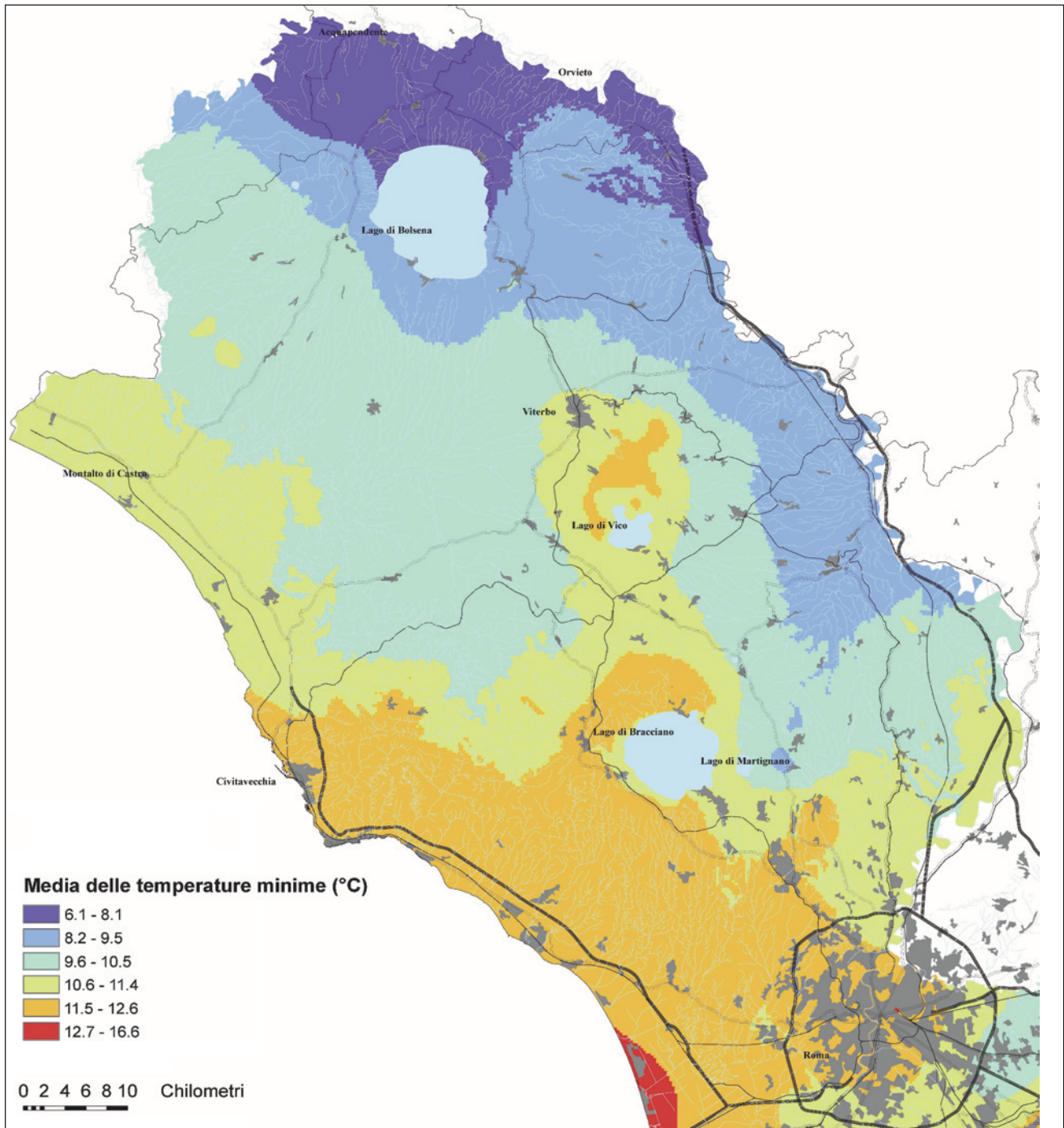


Fig. 13 - Carta della distribuzione dei valori medi annui delle temperature minime nel periodo 1997-2001 (da CAPELLI *et alii*, 2005b).
 - Annual mean values of the minimum atmospheric temperature distribution map during 1997-2001 (from CAPELLI *et alii*, 2005b).

Con tale metodo per l'area di studio è stato definito un clima secco umido, secondo mesoterma 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 invase (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

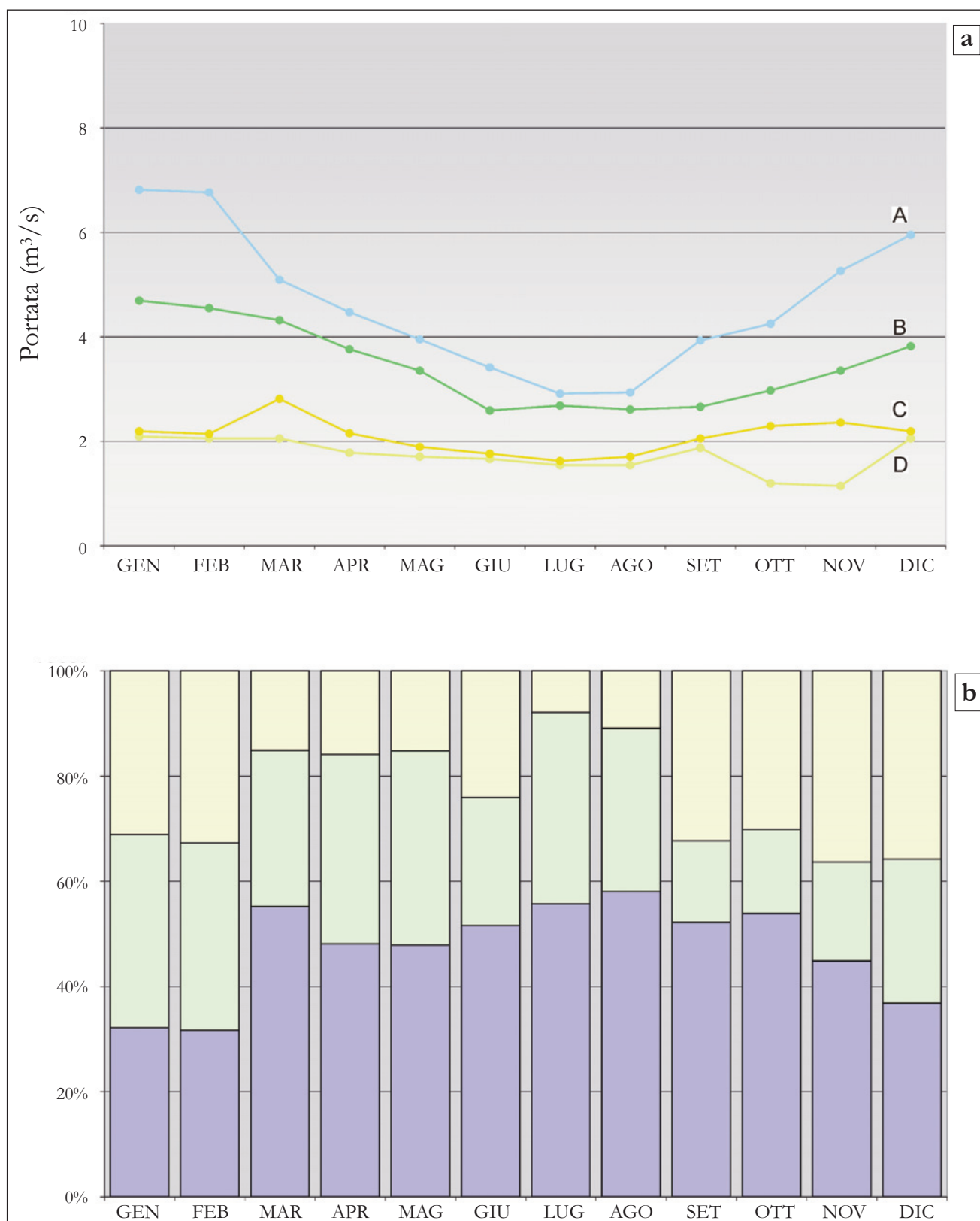


Fig. 15 - Idrogrammi mensili della stazione idrometrica del Fiume Treia a Civita Castellana (periodo 1964-68 e 1970-80). Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate: A - la media delle portate mensili; B - la media delle portate giornaliere minime; in C la minima delle portate mensili; in 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).

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., confluenza 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 Grué), 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 Grué;

- 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 confluiscano 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-

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).

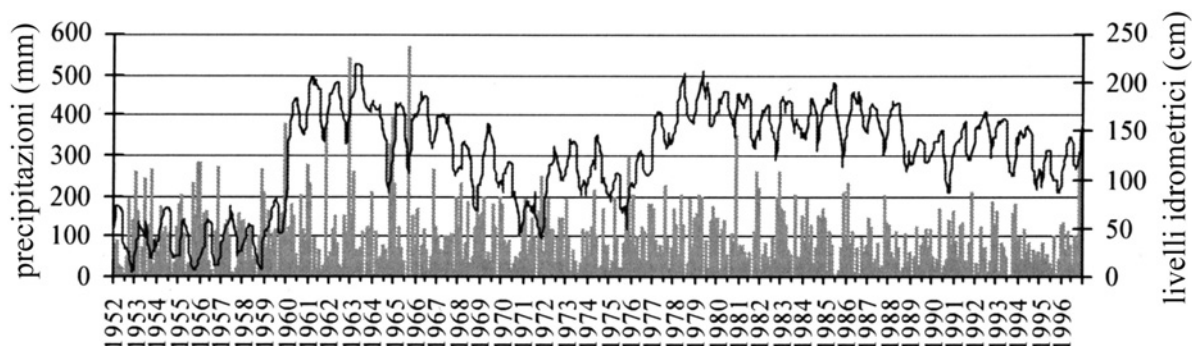


Fig. 19 - Idrogramma del Lago di Vico (da DRAGONI *et alii*, 2002) e tabella delle portate dell'emissario.
- Hydrogram of the Vico Lake (from DRAGONI *et alii*, 2002) and discharge values of its bayou.

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 acquedottistico (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 acquedottistico (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 acquedottistico. - *Withdrawals for waterworks.*

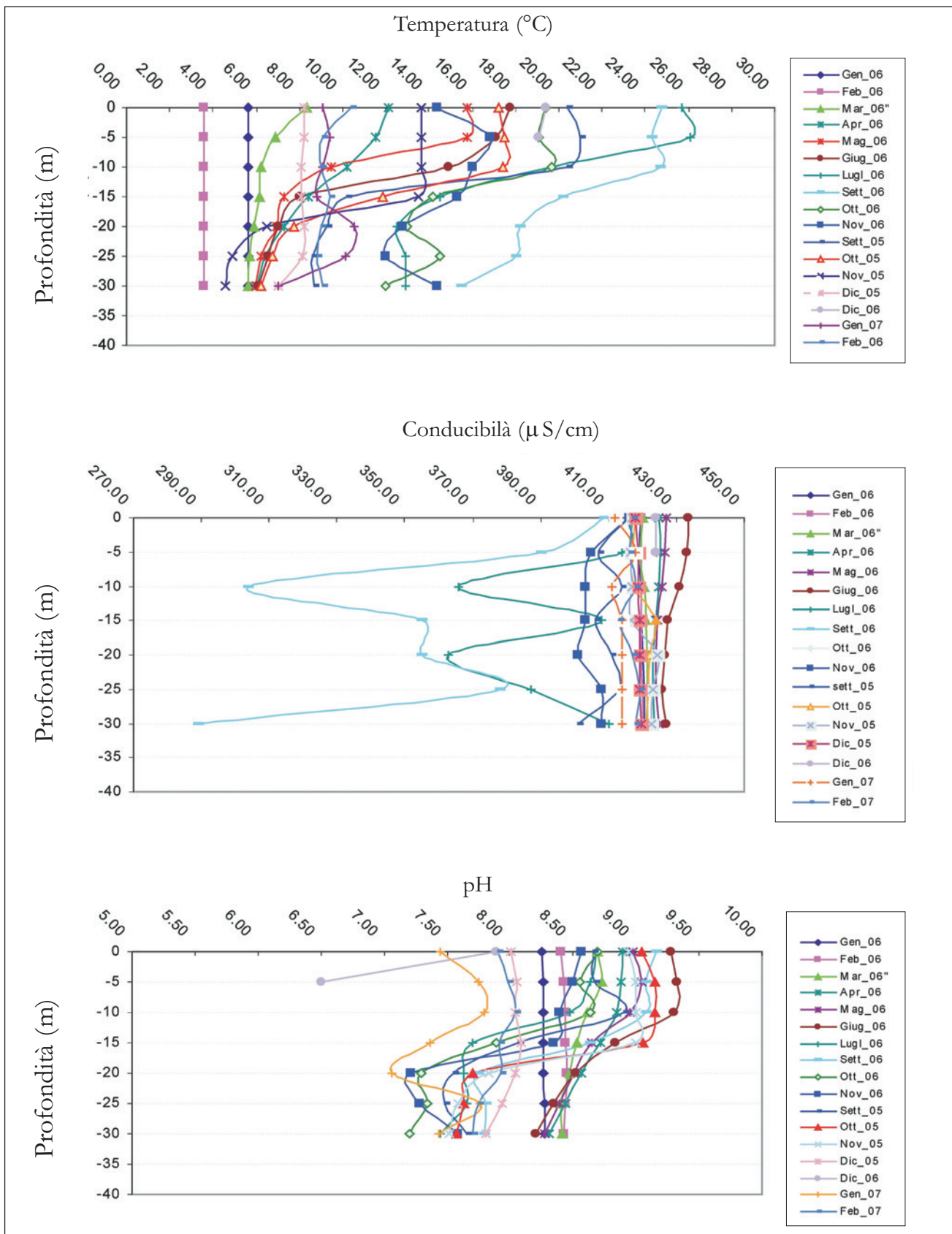


Fig. 21 - Grafici dei valori di temperatura, conducibilità elettrica e pH lungo la verticale della stazione di monitoraggio di centro lago, relativamente al periodo gennaio 2006 - febbraio 2007.
 - Plots of the water temperature, electric conductivity and pH values with respect to the vertical depth 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 conformata 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'allegato 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 batimetria 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 ceriti mountains area (Latium, Central Italy)*. Mem. Desc. 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.

Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini (Marche)

Experimental hydrogeological cartography in the north-western sector of the Monti Sibillini (Marche)

BONI C.F. (*), TARRAGONI C. (*),
MARTARELLI L. (**)

RIASSUNTO - Questo lavoro vuole evidenziare l'importanza del dato sperimentale acquisito con il rilevamento di campagna e fornire valutazioni quantitative che considerano l'acqua come protagonista di un processo dinamico. A tal fine è stato scelto il settore nord-occidentale dei Monti Sibillini, dove affiorano i terreni della successione umbro-marchigiana d'ambiente pelagico, con alternanze di litotipi calcarei, calcareo-marnosi e silicei e con successioni ridotte o condensate, interessati da pieghe e sovrascorrimenti e da una successiva tettonica distensiva. Sono stati considerati i dati pluviometrici e termometrici, è stato individuato il reticolo idrografico perenne su cui è stata impostata una rete di monitoraggio eseguendo una campagna annuale con cadenza mensile di misura della portata in alveo. Dal confronto dei dati idrometrici storici e quelli acquisiti (2002-2003) risulta ovunque una netta diminuzione delle portate in alveo, attribuibile sia a derivazione di acque sorgive sia ad una riduzione delle precipitazioni. Sono stati distinti tre complessi idrogeologici calcarei sovrapposti di estensione regionale (Complesso calcareo basale indifferenziato; Complesso della Maiolica; Complesso della Scaglia calcarea) dotati di attitudine ad assorbire ed immagazzinare le acque meteoriche, nonché di restituirle in superficie in corrispondenza di sorgenti puntuali, diffuse e lineari, che sono state identificate e caratterizzate rispetto alla portata mediamente erogata. L'analisi litostratigrafica e strutturale ha permesso di definire la geometria degli acquiferi.

La Cartografia Idrogeologica sperimentale proposta in questo studio deriva dalla sovrapposizione di diversi livelli informativi, dai quali è stato scelto come documento cartografico di base la "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle

Emergenze naturali", cui si affiancano la "Carta dell'Idrologia di superficie" e il "Modello Idrogeologico Concettuale" dei differenti acquiferi riconosciuti. Questo documento è corredato anche da profili idrogeologici che evidenziano le relazioni tra i diversi campi piezometrici. Nel Modello Idrogeologico Concettuale sono state rappresentate per ciascun acquifero le risorse idriche sotterranee rinnovabili, l'area d'alimentazione, il settore saturo e l'eventuale copertura operata da un complesso idrogeologico con permeabilità trascurabile. Dalla portata media complessivamente erogata dalle sorgenti alimentate da ciascun acquifero rapportata all'area di alimentazione è stato effettuato il calcolo dell'Infiltrazione Efficace. Sono stati distinti acquiferi tra loro indipendenti nel Complesso della Scaglia calcarea, nel Complesso della Maiolica e nel Complesso calcareo basale indifferenziato.

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia quantitativa, Cartografia idrogeologica, Monti Sibillini, Marche.

ABSTRACT - This work is aimed to highlight the significance of the acquisition of field survey information and of the quantitative hydrogeological evaluations, leading the water to be assumed as the focal point of a dynamic hydrogeological process. For this purpose, the north-western sector of the Monti Sibillini the Umbrian-Marchean pelagic succession, characterized by calcareous, calcareous-marly and siliceous, heteropic toward reduced and condensed succession, has been studied. This sequence is involved in a fold and overthrust tectonics, followed by a development of normal faults.

Pluvio-thermometric information has been discussed,

(*) Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze della Terra

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

the perennial hydrographical network has been defined and investigated through an annual monitoring survey with monthly frequency. The runoff values measured in this study (2002-2003) are lower than those referred to past years, since there was occurrence of both spring water derivation and rainfall reduction. Three regionally relevant reciprocally overlaid calcareous hydrogeological complexes have been distinguished (*Calcareo basale indifferenziato* Complex; *Maiolica* Complex; *Scaglia calcarea* Complex); they have a clear attitude to absorb and store meteoric waters and to let groundwater outcropping at punctual, diffuse and linear springs, that have been identified and characterized on the basis of their mean discharge values. The lithostratigraphical and structural study has allowed the defining of aquifer settings.

The experimental hydrogeological cartography proposed by this study consists of different informative layers, from which the "Hydrogeological Complexes and Natural Springs Map" was derived and selected as focal map. The "Surface Hydrology Map" and the "Hydrogeological Conceptual Model" of the different distinguished aquifers accomplish the hydrogeological framework. This framework is also supported by hydrogeological cross sections that show the relationship between the different piezometric fields. The Hydrogeological Conceptual Model shows the renewable groundwater resource, the recharge area and the saturated sector of each aquifer and the possible covering acted by hydrogeological complexes with low permeability. The Effective Infiltration values have been calculated by mean of the average total discharge of the springs fed by each aquifer compared to the corresponding recharge area. Hydraulically independent aquifers have been defined in the *Scaglia calcarea*, in the *Maiolica* and in the *Calcareo basale indifferenziato* hydrogeological complexes.

KEY WORDS: Quantitative hydrogeology, Hydrogeological cartography, Monti Sibillini, Marche

1. - PREMESSA

Le caratteristiche idrogeologiche di un'area sono molteplici pertanto la loro rappresentazione, per quanto simbolica, richiede l'allestimento di diverse carte tematiche, ciascuna dedicata all'illustrazione di particolari aspetti dell'idrogeologia regionale: non è possibile elaborare un unico documento cartografico rappresentante la topografia, i complessi idrogeologici, l'assetto idrostrutturale, le sorgenti, i campi piezometrici, l'idrologia di superficie, le opere idrauliche, gli apporti meteorici, i modelli concettuali degli acquiferi, ecc.

Sulla base di queste considerazioni si propone questo documento cartografico, frutto di approfonditi studi condotti su diversi aspetti dell'idrogeologia e costituito da più elaborati dai quali si è dovuto necessariamente "selezionare" le informazioni disponibili al fine di fornire un documento di facile lettura.

Il documento proposto, fortemente ancorato agli aspetti quantitativi, vuole evidenziare l'importanza del dato sperimentale acquisito con il rilevamento di campagna.

2. - INTRODUZIONE

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

Le innovazioni introdotte hanno lo scopo di integrare i consolidati metodi di cartografia idrogeologica, che forniscono una rappresentazione statica e prevalentemente descrittiva, con valutazioni quantitative che considerano l'acqua come protagonista di un processo dinamico, caratterizzato da variazioni cicliche sia di carattere stagionale, sia di lungo periodo.

A tal fine, è stata allestita una Carta Idrogeologica, alla scala 1:50.000 (tav. II f.t. in tasca di copertina), che mette in chiara evidenza quali sono gli acquiferi più significativi e le rispettive aree di alimentazione, quali sono i limiti idraulici tra acquiferi contigui e quale è l'assetto idrostrutturale del territorio. Per raggiungere quest'obiettivo è indispensabile considerare i fondamentali caratteri litostratigrafici della successione sedimentaria interessata e riconoscere il diverso comportamento dei complessi idrogeologici che la costituiscono.

3. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I primi studi significativi sulla geologia dell'area sono stati condotti dal SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1941), SELLI (1950), MERLA (1951) e da SCARSELLA (1946, 1951a, 1951b) per il rilevamento del foglio geologico ufficiale 132-Norcia alla scala 1:100.000 e per altri lavori specifici nell'area. Questi studi hanno fissato i fondamentali termini della stratigrafia e dell'assetto strutturale. Il settore settentrionale dell'area considerata è stato studiato da SCARSELLA & MORETTI in occasione del rilevamento del foglio 124 - Macerata (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1967).

Un rilevamento di dettaglio alla scala 1:25.000 dei Monti Sibillini nord-orientali (CHIOCCHINI *et alii*, 1976) porta un nuovo sostanziale contributo ad una migliore definizione della stratigrafia caratteristica dell'area e dell'assetto strutturale in corrispondenza del fronte nord-orientale della dorsale carbonatica dei

Monti Sibillini compreso tra il Fiume Ambro ed il Fiume Fiastrone.

Una sintesi delle conoscenze viene data da CENTAMORE *et alii* (1991) con un ulteriore affinamento della stratigrafia, delle linee tettoniche e con note di idrogeologia, in gran parte riprese da studi precedenti; TARRAGONI (2005) propone una sintesi aggiornata delle conoscenze geologiche e geologico-strutturali dell'area.

Numerosi sono i lavori a carattere regionale che interessano l'area indagata, soprattutto intesi ad una sempre più approfondita definizione dell'assetto strutturale (CENTAMORE *et alii*, 1972, 1986; DAMIANI, 1975; LAVECCHIA, 1979, 1981; LAVECCHIA & PIALLI, 1981; CALAMITA & DEIANA, 1986, 1988; CALAMITA *et alii*, 1986, 1990, 1991, 1992; COOPER & BURBI, 1986; COSENTINO, 1986; BARCHI *et alii*, 1996).

Da questi lavori risulta chiaramente che i terreni affioranti, nell'area considerata, sono quelli tipici della successione umbro-marchigiana, costituita da un *multilayer* sedimentario sottilmente stratificato d'ambiente pelagico, in cui si alternano litotipi francamente calcarei a litotipi da calcareo-marnosi a silicei. Detta successione si è impostata su calcari massivi neritici del Liassico inf. (Calcare Massiccio), disarticolati da una fase tettonica distensiva nel Liassico medio. Questa situazione ha dato origine a vistose eteropie verso successioni ridotte, condensate o lacunose, con sensibili variazioni di spessore e con caratteri litologici singolari.

Le sollecitazioni tettoniche generatesi tra il Miocene sup. ed il Pliocene hanno deformato la sequenza sedimentaria, generando una catena a pieghe est-vergenti e sovrascorrimenti generalmente immergenti verso W (LAVECCHIA, 1979, 1981, 1985; DECANDIA, 1982; KOOPMAN, 1983; COOPER & BURBI, 1986; CALAMITA & DEIANA, 1988) le cui direzioni sono circa meridiane; il regime tettonico distensivo impostatosi dal Pliocene sup. (ELTER *et alii*, 1975; LAVECCHIA *et alii*, 1994) ha generato faglie dirette ad andamento NW-SE (CALAMITA *et alii*, 1991, 1994; CALAMITA & PIZZI, 1992, 1994).

3.1. - BREVE SINTESI DEI CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI

I terreni appartenenti alla successione stratigrafica dell'area studiata hanno età compresa fra il Triassico sup. e il Miocene; il Quaternario è rappresentato da depositi alluvionali, detriti di falda, depositi glaciali e travertini.

Calcare Massiccio (*Triassico sup. - Liassico inf.*)

In letteratura sono note due unità di Calcare

Massiccio (C.M.): C.M. del Burano, che si trova sempre alla base delle successioni complete, e il C.M. del Monte Nerone, affiorante alla base delle successioni condensate, lacunose e composte. Delle due unità, in questa sede viene descritto solo il C.M. del M. Nerone, essendo l'unico ad affiorare nella zona in esame.

Nella formazione si distinguono due membri: uno inferiore (A), potente oltre 700 m, costituito da una sequenza ciclotemica ed uno superiore (B), dello spessore di 50-60 m, prevalentemente biodetritico.

Il membro A, di ambiente da subtidale a sopratidale, si presenta in strati molto spessi ai quali si alternano strati di spessore medio; le litofacies sono costituite da biomicriti, calcari biodetritici e oolitici, lamine stromatolitiche, strutture vadose e da disseccamento (PIALLI, 1971).

Il membro B chiude la sedimentazione di piattaforma carbonatica; questa unità fortemente biodetritica, nella quale si possono trovare lamelli-branchi, gasteropodi, alghe, echinodermi ecc., si sarebbe deposta alla sommità degli alti strutturali all'inizio del lento "annegamento" (PIALLI, 1971).

Successivamente alla deposizione del C.M. la subsidenza differenziale, controllata dalla tettonica sinsedimentaria, porta alla formazione di un fondale fortemente articolato, con depressioni rapidamente subsidenti e zone di alto morfologico isolate da scarpate; in questo scenario le condizioni deposizionali, tra il Liassico inf. ed il Titonico inf., sono molto variabili e comportano la sedimentazione di diverse successioni (tab. 1).

Successione completa

Corniola (*Lotharingiano - Toarciano inf.*)

Prevalentemente costituita da calcari micritici biancastri, *beige* o nocciola con locali intercalazioni detritiche, la Corniola è caratterizzata dalla presenza di selce in liste e noduli e di intercalazioni pelitiche soprattutto nella porzione superiore. La stratificazione è netta nelle porzioni più micritiche, mentre si fa spessa e lenticolare nelle facies detritiche. I clasti degli orizzonti detritici provengono dallo smantellamento delle aree morfologicamente più rilevate: l'irregolarità del fondale è testimoniata anche da *slumping* intraformazionali, dall'alta componente bioclastica e dalla variabilità degli spessori (da pochi metri a 150-400 m). Tra i fossili si rinvencono ammoniti, brachiopodi, radiolari, grosse spicole di spugna e ostracodi. Nell'area considerata lo spessore della Corniola è difficilmente misurabile, perché non s'individua in affioramento il passaggio al sottostante Calcare Massiccio.

Calcari e marne del Sentino (*Toarciano*)

La formazione, non sempre presente all'interno della successione, spesso è eteropica con la

Tab. 1 - *Schema delle tipologie di successione stratigrafica nell'area studiata (da CENTAMORE & MICARELLI, 1991).*
 - Stratigraphic succession typology outline in the study area (from CENTAMORE & MICARELLI, 1991).

Successione	Formazioni	Ambiente deposizionale
Completa	Calcari diasprigni umbro-marchigiani Calcareniti di Monte Valvasseto - Calcareniti nocciola della Valnerina Formazione del Bosso Calcari e marne del Sentino Corniola Calcare Massiccio del Burano	Bacino fortemente subsidente
Condensata	Formazione del Bugarone Calcare Massiccio di M. Nerone	Alto strutturale
Composta	Successioni complete sovrapposte a successioni condensate o lacunose	Alto strutturale "annegato"

porzione superiore della Corniola e con quella basale della Formazione del Bosso; più raramente si sostituisce a quest'ultima e alla parte basale del Calcari diasprigni: ciò implica spessori variabili da pochi metri a 50-70 m. Nell'area in esame la potenza è di qualche decina di metri. I Calcari e marne del Sentino sono costituiti da calcari e calcari marnosi con selce in liste e noduli e da marne, marne calcaree e marne argillose variamente alternate tra loro. Si risente ancora dello smantellamento degli alti strutturali dove s'intercalano calcareniti costituite da clasti di natura organica ed inorganica.

Formazione del Bosso (*Toarciano - Bajociano*)

La formazione del Bosso presenta spessori e caratteri litologici omogenei nelle aree di bacino, mentre nelle zone di alto strutturale è composta da due membri:

Rosso Ammonitico: calcari e calcari marnosi si alternano a marne nodulari in strati medio-spessi; localmente si rinvengono intercalazioni detritiche eterometrice. Il colore è variabile tra il rosso e il verde, ma talvolta può essere anche giallo. Ricca è la fauna ad ammoniti. Nella zona di studio il suo spessore è di 25-30 m.

Calcari e marne a Posidonia: calcari marnosi, con passaggi a marne nodulari, sottilmente stratificati alla base che verso l'alto passano a calcari micritici con intervalli detritici e selce policroma. La litofacies è caratterizzata dalla presenza di gusci di lamellibranchi dispersi o concentrati a formare lumachelle. Lo spessore è variabile dai 15 ai 90 m.

La valutazione degli spessori di questi due

membri è difficoltosa poiché il passaggio tra i due è graduale e di difficile definizione sul terreno.

Calcareniti di M. Valvasseto – Calcareniti nocciola della Valnerina (*Aaleniano - Oxfordiano*)

Calcareniti a granulometria variabile, con stratificazione medio-spessa, alternate a calcari micritici e biomicritici con selce in liste e noduli. Lo spessore è variabile da pochi metri fino ad oltre 100 m, come si può osservare a M. Valvasseto (CHIOCCHINI *et alii*, 1976).

Calcari diasprigni (*Calloviano - Titonico inf.*)

Micriti e micriti verdastre silicizzate con intercalazioni calcarenitiche e con selce policroma in liste e noduli; talora sono presenti blocchi di notevoli dimensioni (olistoliti) franati dai limitrofi alti strutturali. La formazione è spessa dagli 80 ai 150 m ed il contenuto fossilifero è rappresentato in prevalenza da radiolari. La variabilità degli spessori dei Calcari Diasprigni è ben esposta nell'area oggetto di questo studio: nell'alta valle del Fiastrone la potenza è di 90-100 m; presso Villa da Piedi è di circa 65 m e a M. Sassotetto si riduce a poche decine di metri.

Successione condensata

Formazione del Bugarone (*Pliensbachiano - Titonico inf.*)

Termine tipico di alto strutturale, con i suoi 60-70 m di spessore indica la successione compresa tra il Calcare massiccio di M. Nerone e la Maiolica. Alcuni autori (CENTAMORE & MICARELLI, 1991) distinguono quattro membri, talvolta non differenziabili: Calcari stratificati grigi, Calcari nodulari con marne verdi, Calcari

nodulari nocciola e Calcari nodulari ad Aptici.

Dal Titonico sup. la successione prosegue verso l'alto nel modo seguente:

Maiolica (*Titonico sup. - Aptiano inf.*)

Calcari micritici biancastri ben stratificati, con selce in liste e noduli e intercalazioni pelitiche che si fanno più frequenti e potenti nella parte alta della formazione. CENTAMORE & MICARELLI (1991) distinguono una Maiolica di *seamount* e una Maiolica di bacino in base alle differenze di spessori e litofacies, soprattutto nella porzione basale. La Maiolica di *seamount* presenta calcari nodulari, talvolta dolomitizzati, in strati massivi e la selce è praticamente assente; la Maiolica di bacino, invece, è costituita da calcari micritici in strati medi e sottili con intercalazioni calcareo-detritiche e selce; la prima è spessa da pochi metri a 100 m, mentre la seconda ha spessori di diverse centinaia di metri. Nell'area studiata si è valutato uno spessore della Maiolica generalmente inferiore a 200 m, ma localmente anche differente.

Marne a Fucoidi (*Aptiano inf. - Cenomaniano inf.*)

Questa formazione può essere divisa in due membri: il membro inferiore (40-50 m) è costituito da marne e marne argillose policrome sottilmente stratificate, con sporadiche marne bituminose; nel membro superiore si alternano calcari e calcari marnosi a marne e marne calcaree, separati da sottili livelli argillosi che tendono ad essere sostituiti, verso l'alto, dalla selce (CENTAMORE & MICARELLI, 1991). Lo spessore complessivo della formazione varia tra i 50-120 m, ma frequentemente si aggira intorno a 80-100 m (CHIOCCHINI *et alii*, 1976). Nell'area in studio lo spessore delle Marne a Fucoidi è stato valutato in circa 50 m.

Scaglia Bianca (*Cenomaniano medio - Turoniano inf.*)

Calcari micritici biancastri ben stratificati con selce nera in liste e noduli e intercalazioni marnoso-argillose; nella porzione più alta, poco prima del passaggio alla Scaglia rossa, si trova il *Livello Bonarelli*; noto orizzonte bituminoso-ittiolitico (spesso 1-1,5 m). Lo spessore della Scaglia Bianca è di circa 40 m.

Scaglia Rossa (*Turoniano inf. - Eocene sup.*)

Calcari micritici rosati e rossi con intercalazioni selcifere e marnose. Alcuni autori (CENTAMORE & MICARELLI, 1991) distinguono diversi membri in relazione alla presenza di calcari marnosi; PARISI (1994) distingue, invece, quattro membri in relazione al contenuto in selce. Lo spessore della formazione è assai variabile (200-450 m), anche in funzione del fatto che alcuni autori (CENTAMORE *et alii*, 1971) vi associano la formazione della Scaglia Variegata.

Scaglia Cinerea (*Eocene sup. - Oligocene*)

Calcari marnosi, marne calcaree e marne argil-

lose con livelli calcarenitici e subordinatamente micritici; la formazione, con spessore dai 100 ai 250 m, ha una colorazione grigio-cinerea. Secondo DECANDIA (1982) sarebbe associata alla Scaglia Variegata.

La progressiva migrazione verso E del sistema catena-avanfossa-avampaese influenza la morfologia del fondo marino che, nel Miocene, diviene piuttosto articolato. Gli affioramenti miocenici e post-miocenici presenti all'interno dell'area indagata appartengono al Bacino marchigiano interno (CENTAMORE & MICARELLI, 1991), mentre la fascia ad E che borda la dorsale dei Monti Sibillini è costituita da depositi appartenenti al Bacino marchigiano esterno.

Le successioni stratigrafiche mioceniche e post-mioceniche, ad eccezione delle porzioni basali (Formazione del Bisciario), presentano caratteristiche profondamente diverse da zona a zona.

In questo contesto si hanno tre successioni distinte:

Bacino di Camerino: Scaglia Cinerea, Bisciario, Schlier, Arenarie di Camerino, Formazione gesso-solfifera e Argille a Colombacci.

Bacino della Laga a N della linea Fiastrone-Fiastrella (più avanti: linea FF): Scaglia Cinerea, Bisciario, Schlier e Formazione della Laga.

Bacino della Laga a S della linea FF: Scaglia Cinerea, Bisciario, Marne con Cerroigna, Marne a Pteropodi e Formazione della Laga.

Di seguito vengono descritte le sole formazioni affioranti nell'area del presente lavoro.

Bisciario (*Aquitano - Burdigaliano*)

Calcari marnosi e calcari, generalmente di colore scuro con selce nera in liste e noduli; marne calcaree e marne argillose grigie, livelli vulcanoclastici riodacitici e intercalazioni calcarenitiche.

Schlier (*Burdigaliano-Tortoniano medio/Messiniano p.p.*)

Marne, marne argillose e più limitatamente marne calcaree e calcari marnosi, con stratificazione sottile e ben definita. L'età del tetto varia nei diversi bacini minori: nel bacino di Camerino il tetto dello Schlier è attribuito al Tortoniano medio (CENTAMORE & MICARELLI, 1991).

Arenarie di Camerino (*Tortoniano medio p.p. - Messiniano inf.*)

Formazione costituita da diverse associazioni di facies, alternate tra loro in vario modo:

Associazione arenaceo-conglomeratica in strati spessi e massicci;

Facies caotica a geometria lenticolare;

Associazione arenacea in strati da spessi a massivi;

Associazione arenaceo-pelitica con stratificazione da media a spessa;

Associazione pelitico-arenacea sottilmente stratificata;

Associazione pelitica in strati sottili.

La variabilità degli spessori delle Arenarie di Camerino è molto ampia: dai 1500–1700 m nel settore centrale ed orientale (dove si trovava il depocentro del bacino), ai 300–500 m nelle porzioni settentrionali ed occidentali.

Depositi quaternari

Depositi alluvionali: sono depositi fluvio-lacustri costituiti da materiale clastico eterometrico, prevalentemente calcareo, e legati da una matrice limoso-sabbiosa. Bordano generalmente i principali corsi d'acqua e si presentano localmente terrazzati.

Detriti di falda: materiali incoerenti ed eterometrici a spigoli vivi distribuiti, quasi ovunque, ai piedi dei rilievi carbonatici. Talvolta organizzati in letti regolarmente alternati, i clasti derivano prevalentemente dalla formazione della Maiolica e/o dalla Scaglia bianca e rossa per degradazione meteorica e per l'azione del gelo e disgelo.

Depositi glaciali: si tratta di modesti accumuli di materiale morenico. FARABOLLINI *et alii* (1990) segnalano dei sedimenti eolici di tipo *loess* vicino Bologna.

Travertini: si tratta di depositi affioranti, per circa 350–400 m, nell'alta valle del Fiastrone; sono generati da emergenze idriche diffuse a quote variabili lungo il basso versante sinistro della valle, in prossimità della confluenza col fosso dell'Acquasanta. Si presentano come incrostazioni di qualche metro di spessore per altezze variabili tra pochi metri e una decina di metri.

3.2. - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA D'INDAGINE

L'esame delle situazioni stratigrafiche riscontrate nella valle del Chienti di Pieve Torina ed in riva destra e sinistra del Fiume Fiastrone ha messo in evidenza che in tutto il territorio considerato affiorano esclusivamente successioni ridotte e condensate che mostrano spessori nettamente inferiori a quelli mediamente attribuiti alla successione completa. In particolare (fig. 1) nella valle del Chienti (località Val di Tazza) si osservano modestissimi affioramenti dei termini liassici, la presenza della Formazione del Bugarone e ridotti spessori della Formazione della Maiolica.

In riva destra del F. Fiastrone (Monte Sassotetto; fig. 1) si riscontra una situazione stratigrafica simile a quella precedentemente descritta, ma con spessori della Maiolica sensibilmente superiori.

In riva sinistra del Fiastrone (località Villa da Piedi; fig. 1), invece, sono presenti significativi affioramenti di termini liassici cui fanno seguito depositi prevalentemente calcareo-silico-marnosi, di età giurassica, riferibili alle "Marne del Sentino", alla "Formazione del Bosso", alle "Calcareni di Monte Valvaseto" e ai "Calcarei Diasprigni".

Questi sedimenti, nel loro complesso, presentano spessori molto variabili da luogo a luogo, difficilmente valutabili per la difficoltà di accesso dei luoghi e per l'estesa copertura detritica che li maschera.

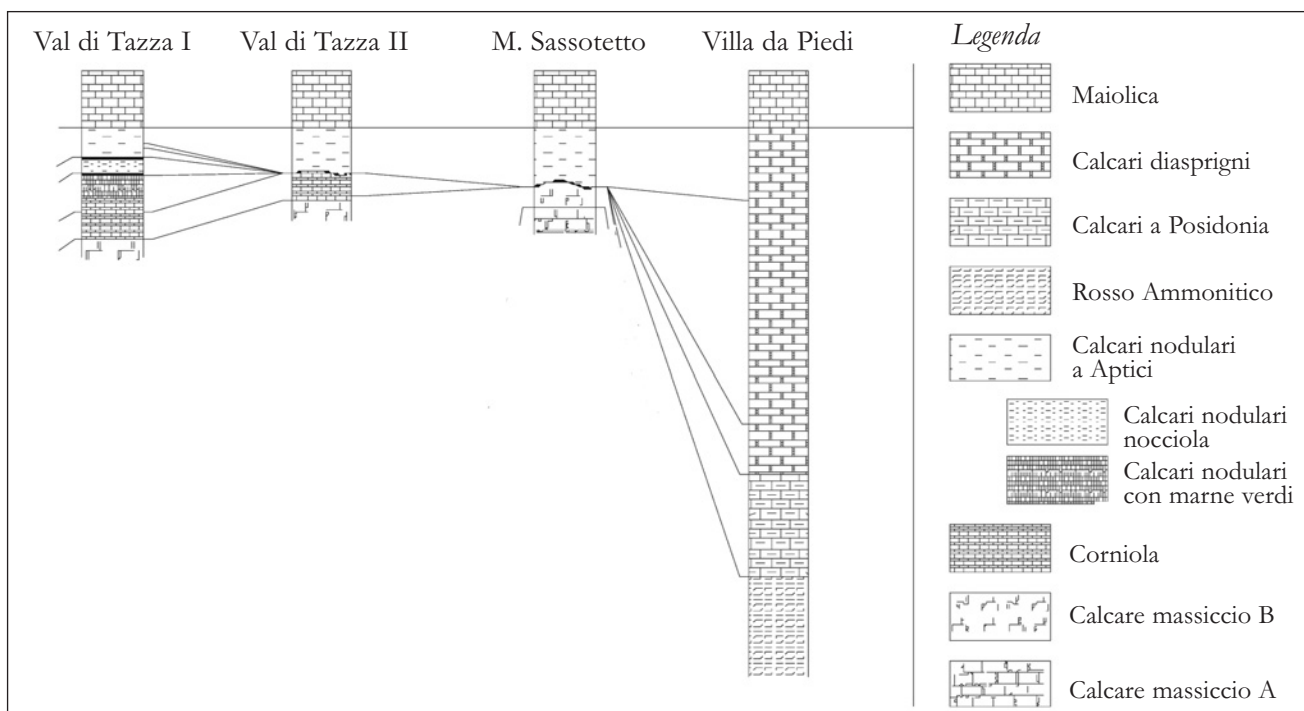


Fig. 1 - Rapporti stratigrafici tra successioni condensate, lacunose e complete (CENTAMORE *et alii*, 1971, modificato).
- Stratigraphic correlations among condensed, discontinuous and continuous successions (modified from CENTAMORE *et alii*, 1971).

4. - CLIMATOLOGIA

Sono stati elaborati i dati pluviometrici e termometrici di 22 stazioni distribuite in un'area assai più vasta di quella oggetto di studio. Per le stazioni prive di dati termometrici sono stati utilizzati quelli desunti dalla retta di correlazione quota-temperatura, costruita con i dati disponibili (fig. 2).

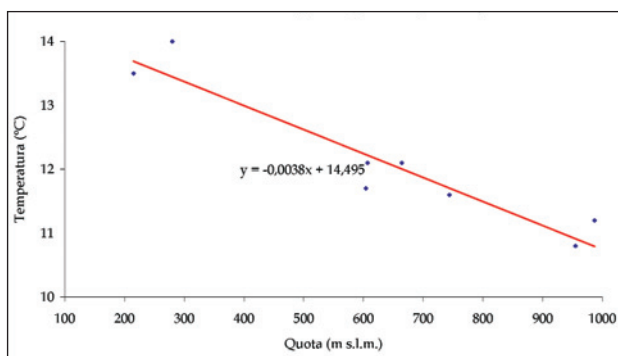


Fig. 2 - Retta di correlazione regionale quota-temperatura su base annua.
- Elevation vs. temperature annual correlation line at regional scale.

I dati pluviometrici delle tre stazioni più significative (Pievebovigliana, Bolognola ed Appennino) sono stati elaborati per evidenziare la variabilità nel tempo delle precipitazioni che interessano l'area considerata. Si riportano come figure, a titolo di esempio, le elaborazioni statistiche della sola stazione di Bolognola.

La stazione di Pievebovigliana è posta a quota 451 m s.l.m. ed ha funzionato per 62 anni nel periodo compreso tra il 1924 ed il 1989 (ultimo dato disponibile). I dati di precipitazione dei singoli anni sono riportati in tabella 2; su questi vengono eseguite alcune elaborazioni statistiche elementari.

Le precipitazioni possono subire variazioni positive dell'ordine del 45% e negative del 25% rispetto alla media calcolata sull'intero periodo (1039 mm/a). Tra il 1960 ed il 1990 si osserva una decisa caduta dei valori della media mobile a 5 anni da 1300 a 1000 mm/a. È stata eseguita un'elaborazione polinomiale di ordine 6 che ha evidenziato l'esistenza di variazioni cicliche attorno a valori medi di circa 1000 mm/a.

Tab. 2 - Valori di precipitazione annua della Stazione pluviometrica di Pievebovigliana con indicazione del valore di precipitazione medio riferito all'intero periodo di funzionamento della stazione.

- Annual rainfall values in the pluviometric station of Pievebovigliana and its mean value calculated on the total available measurements.

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI PIEVEBOVIGLIANA (451 m s.l.m.)							
(62 anni di funzionamento)							
Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)
1924	1002	1941	969	1958	1393	1975	791
1925	949	1942	1043	1959	1416	1976	1428
1926	1045	1943	760	1960	1327	1977	836
1927	944	1944		1961	990	1978	948
1928	1073	1945		1962	1034	1979	1021
1929	989	1946	1082	1963	1252	1980	1115
1930	993	1947	807	1964	1128	1981	855
1931	1061	1948	811	1965	1177	1982	987
1932	950	1949	1046	1966	935	1983	915
1933	1247	1950	868	1967	861	1984	1022
1934	1135	1951	1068	1968	1230	1985	764
1935		1952	1014	1969	1172	1986	1103
1936		1953	964	1970	752	1987	1077
1937	1271	1954	1053	1971	851	1988	857
1938		1955	1308	1972	1142	1989	751
1939	1313	1956	1032	1973	964		
1940	1126	1957	1483	1974	887	Media	1039 mm

La stazione di Bolognola è posta a quota 1070 m s.l.m. ed ha funzionato per 61 anni nel periodo compreso tra il 1922 ed il 1984 (ultimo dato disponibile). I dati di precipitazione dei singoli anni sono riportati in tabella 3; anche su questi sono state eseguite elaborazioni statistiche elementari.

La figura 3, in cui è riportata anche la media mobile con periodo di 5 anni, mette in evidenza come le precipitazioni possano subire variazioni positive e negative dell'ordine approssimativo di circa 40%, rispetto al valore della precipitazione media di lungo periodo (1200 mm/a). Anche in questo caso si notano variazioni cicliche con periodo approssimativamente ventennale. L'elaborazione polinomiale (fig. 3b) conferma sostanzialmente quanto deducibile dal grafico in cui è riportata la media mobile.

La stazione di Appennino è posta a quota 798 m s.l.m. ed ha funzionato per 32 anni nel periodo compreso tra il 1921 ed il 1955 (ultimo dato disponibile, tab. 4). È stata selezionata questa stazione perché è ubicata nella porzione centrale del territorio investigato ad una quota prossima agli 800 m. Anche per questa stazione nel periodo consi-

derato si sono registrate forti variazioni di precipitazione, positive e negative, di circa 55% rispetto ad una media di 1159 mm/a.

Si può infine osservare (tab. 5) che le stazioni considerate sono distribuite tra le quote 1453 m (Castelluccio) e 314 m (Calderola). Non è stata riscontrata alcuna significativa correlazione tra la quota delle stazioni e la relativa precipitazione media annua. Poiché mancano informazioni dirette sulle precipitazioni che interessano i rilievi posti a quote comprese tra 1500 m e 2000 m circa, in questa fascia di altitudine non sono noti i valori di precipitazione. Non si conosce di conseguenza l'entità dell'afflusso meteorico in buona parte delle aree d'alimentazione dei principali acquiferi individuati. I valori di precipitazione e di precipitazione efficace media annua calcolata desunti dai dati disponibili devono essere considerati, pertanto, come valori indicativi e sottostimati in tutti i settori dove il territorio si eleva a quote superiori ai 1500 m. Questi valori non possono essere utilizzati per significativi calcoli di bilancio, ma sono certamente da considerarsi come utili dati di confronto.

Tab. 3 - *Valori di precipitazione annua della Stazione pluviometrica di Bolognola con indicazione del valore di precipitazione medio riferito all'intero periodo di funzionamento della stazione.*

- Annual rainfall values in the pluviometric station of Bolognola and its mean value calculated on the total available measurements.

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI BOLOGNOLA (1070 m s.l.m.)							
(61 anni di funzionamento)							
Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)
1922	1204	1939	1717	1956	1087	1973	1058
1923	1316	1940	1403	1957	1216	1974	1068
1924	888	1941	1280	1958	1267	1975	785
1925	913	1942	1181	1959	1428	1976	1828
1926	1125	1943	1006	1960	1381	1977	900
1927	1053	1944	1609	1961	1320	1978	1282
1928	1357	1945	778	1962	1258	1979	
1929	1248	1946	1151	1963	1605	1980	1308
1930	1322	1947	1151	1964	1206	1981	937
1931	1350	1948	1033	1965	1260	1982	
1932	1124	1949	1283	1966	1059	1983	1135
1933	1718	1950	1096	1967	1148	1984	1314
1934	1613	1951	1485	1968	1191		
1935	1151	1952	1192	1969	1372		
1936	1256	1953	1165	1970	979		
1937	1775	1954	1284	1971	1011		
1938	1157	1955	1584	1972	1274	Media	1240 mm

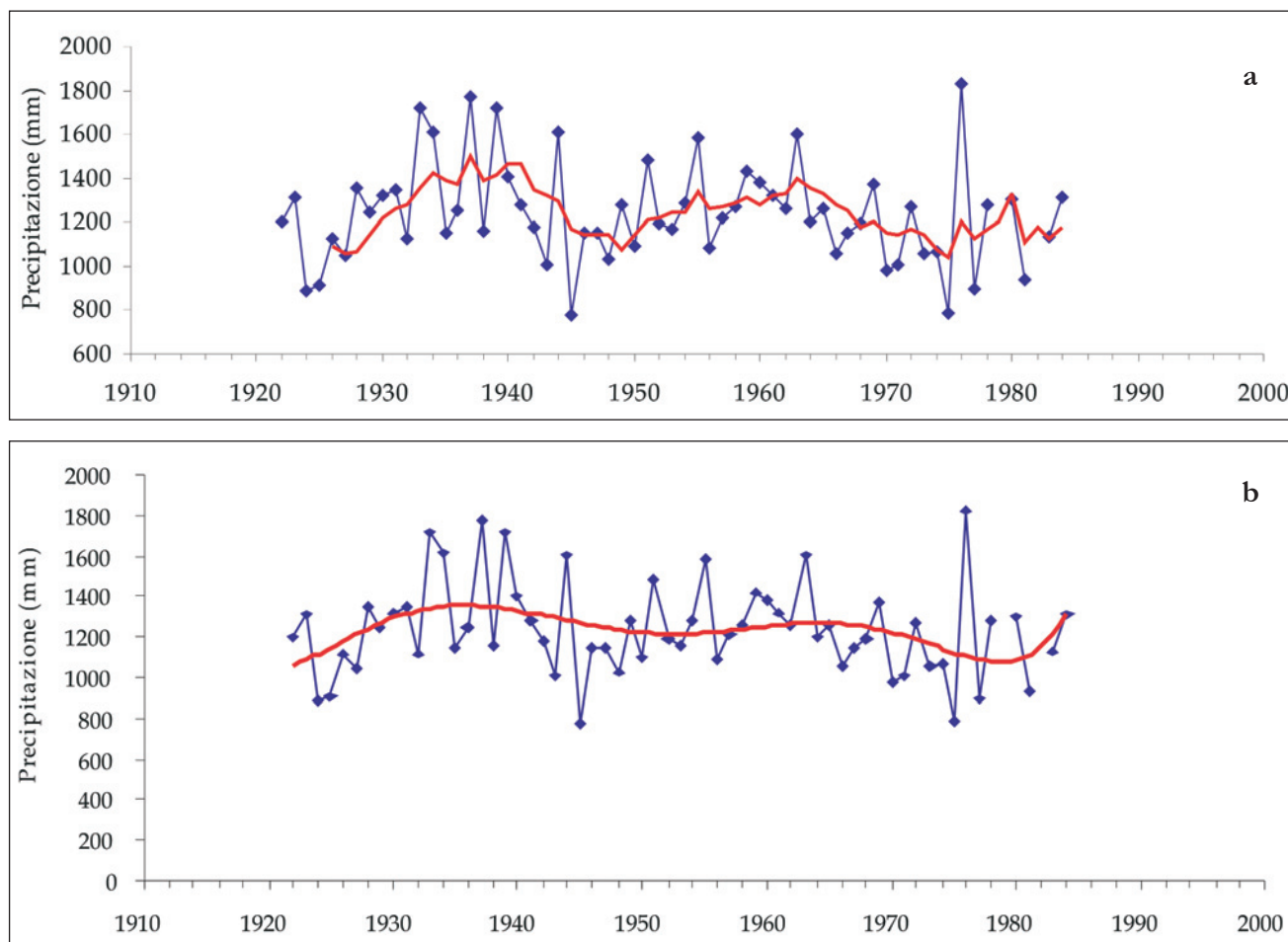


Fig. 3 - a) Rappresentazione grafica dei valori di precipitazione annui della Stazione pluviometrica di Bolognola con indicazione della media mobile a 5 anni; b) rappresentazione grafica dei valori di precipitazione annui della Stazione pluviometrica di Bolognola con indicazione della linea di tendenza polinomiale di ordine 6.
 - a) Plot of annual rainfall values at the pluviometric station of Bolognola and its related curve built according to a mobile mean within a period of 5 years; b) plot of annual rainfall values at the pluviometric station of Pievebovigliana and its related 6th-order polynomial trend curve.

5. - IDROLOGIA

L'elaborazione dei dati idrologici prevede un confronto tra dati idrologici desunti dalla bibliografia e da studi precedenti ed i dati acquisiti durante questa ricerca.

I primi dati disponibili sono quelli forniti dal PERRONE (1910) che ha condotto un'accurata campagna di misura sia della portata delle principali sorgenti che della portata di magra ordinaria dei corsi d'acqua. Dopo il PERRONE, il Servizio Idrografico di Stato, in vista della costruzione dei grandi invasi artificiali di Fiastra e di Polverina, ha installato nell'area tre stazioni idrometriche che, sebbene abbiano funzionato solo per brevi periodi negli anni '30 e negli anni '40, hanno fornito dati significativi. Il lavoro di idrogeologia di maggiore dettaglio è senz'altro quello di DRAMIS & DEIANA (1972). Questo lavoro ha il grande pregio di segnalare tutte le sorgenti esistenti sul territorio, anche le più modeste, ma ha il limite di non con-

siderare le portate di magra ordinaria dei corsi d'acqua principali. BONI *et alii* (1986) segnalano le sorgenti puntuali e lineari più significative e ne indicano i valori della portata media desunta da dati precedenti e da apposite misure eseguite sporadicamente. NANNI (1991) riporta su una carta geologica a scala 1:100.000 le principali emergenze sia puntuali che lineari, in gran parte riprese da lavori pubblicati in precedenza, descrive i più significativi aspetti dell'idrogeologia della regione marchigiana e cura particolarmente gli aspetti geochimici delle acque sorgive e le condizioni idrogeologiche delle pianure costiere. Inoltre, le informazioni di studi precedenti sono state aggiornate da alcune Tesi di Laurea inedite (AGOSTINI, 1994; NAPPI, 1994; TARRAGONI, 2001; ZOLLET, 2001) condotte secondo i più recenti metodi di idrogeologia quantitativa.

Poiché tutti gli studi precedenti sono stati eseguiti con l'intento di fornire un quadro regionale di ampio respiro, non forniscono significativi ele-

Tab. 4 - *Valori di precipitazione annua della Stazione pluviometrica di Appennino con indicazione del valore di precipitazione medio riferito all'intero periodo di funzionamento della stazione.*

- Annual rainfall values in the pluviometric station of Appennino and its mean value calculated on the total available measurements.

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI APPENNINO (798 m s.l.m.)							
(32 anni di funzionamento)							
Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)
1921	974	1930	1057	1939	1799	1948	1403
1922	867	1931	1142	1940	1590	1949	1380
1923	883	1932	1127	1941	1648	1950	1342
1924	513	1933	1213	1942	1082	1951	1488
1925	653	1934	1065	1943	989	1952	1348
1926	813	1935	1114	1944		1953	974
1927	621	1936	1470	1945		1954	1058
1928	777	1937	1847	1946	1043	1955	1497
1929	989	1938		1947	1346	Media	1159 mm

Tab. 5 - *Elenco delle stazioni pluviometriche considerate per il calcolo della precipitazione media annua del settore nord-occidentale dei Monti Sibillini.*

- List of the pluviometric stations taken into account for the calculation of the annual mean rainfall in the north-western sector of the Monti Sibillini.

Stazione	Quota (m s.l.m.)	P media mm/a	Stazione	Quota (m s.l.m.)	P media mm/a	Stazione	Quota (m s.l.m.)	P media mm/a
Serravalle	647	951	Sarnano	539	1083	Fiume di Fiastra	618	1225
Camerino	664	1120	Piè di Sasso	653	1321	Castelluccio	1453	968
S. Marota	555	1116	Appennino	798	1377	Pievebovigliana	451	1040
Calderola	314	1034	Bolognola	1070	1574	Arquata del Tronto	720	1270
S. Ginesio	687	1133	Amandola	550	954	Capo d'Acqua	817	1059
Ussita	744	960	Montefortino	639	1024	S. Maria di Pieca	467	1069
Campi	761	798	Visso	607	1020			
Foce	951	1467	Preci	907	946			

menti di dettaglio riguardo agli acquiferi presenti nella regione. Non è pertanto un confronto tra i dati cartografici presentati in questo lavoro e quelli di studi precedentemente acquisiti. È parso invece opportuno mettere a confronto, in particolare, le portate misurate a più riprese nel corso dell'ultimo secolo con quelle acquisite nel corso di questa ricerca.

5.1. - CAMPAGNA DI MISURE

Le campagne di misura della portata in alveo sono state eseguite in 21 sezioni opportunamente distribuite nel territorio, con cadenza mensile da aprile 2002 ad aprile 2003. L'ubicazione delle sezioni e la sigla relativa figurano nella "Carta dell'idrologia di superficie" (inserita come elemento

a margine nel documento cartografico allegato). L'elenco delle sezioni di misura (il cui nome è composto da una sigla rappresentativa del nome del corso d'acqua e della quota della specifica sezione), il numero di misure eseguite, il periodo di riferimento, il valore della portata media calcolata ed il valore della portata minima misurata sono riportati nella tabella 6.

5.2. - CONFRONTO CON I DATI IDROMETRICI DISPONIBILI

Dal confronto dei dati idrometrici storici e quelli acquisiti nel corso del 2002-2003 risulta ovunque una netta diminuzione delle portate in alveo. La diminuzione è attribuibile a due cause concorrenti: derivazione fuori dall'area considerata di acque sorgive per uso potabile e per altri usi; variazioni climatiche che hanno determinato la riduzione delle precipitazioni.

Sono stati confrontati i dati acquisiti dal PERRONE (1910) con quelli disponibili da studi inediti relativi al 1992-93 (AGOSTINI, 1994; NAPPI, 1994), 2000-2001 (TARRAGONI, 2001; ZOLLET, 2001) e con quelli acquisiti durante questo studio (tab. 7, fig. 4).

Fiume Chienti di Pievetorina

Il PERRONE ha eseguito una sola misura di portata, alla confluenza con il F. Chienti di Gelagna, nel maggio 1908. La portata di 1642 l/s non è molto dissimile dai valori acquisiti nel maggio 1992 da NAPPI (1293 l/s) e nell'aprile del 2001 da ZOLLET (1624 l/s). Dati inediti acquisiti nel 1992

(NAPPI, 1994) indicano valori di portata crescente, da monte verso valle, variabili tra 294 e 1293 l/s. Nel mese di agosto del 1906 il PERRONE ha eseguito una serie di misure che vanno da valori di 130 a valori di 792 l/s. Nel luglio 1993 le portate misurate lungo il corso del Chienti (NAPPI, 1994) variano da 55 a 515 l/s; nell'agosto del 2000 (ZOLLET, 2001) si sono registrati valori variabili tra 50 e 467 l/s; nell'agosto 2002, dati di questo studio, si sono misurati valori variabili tra 34 e 212 l/s. Il Perrone stimava portate di magra ordinaria tra 80 e 650 l/s e valori di forte magra variabili tra 50 e 500 l/s (tab. 7, fig. 4).

Dai dati acquisiti risulta che l'unica captazione significativa viene operata alla sorgente Salette presso Capodacqua, da dove vengono derivate portate variabili tra 40 e 80 l/s. Presso la sorgente è stato costruito di recente un campo pozzi del quale non sono stati ancora acquisiti i relativi dati. Questi prelievi non giustificano certamente il progressivo calo delle portate e la forte diminuzione di portata riscontrata nel 2002.

Torrente di Bocca Fornace a Pievebovigliana

Il T. di Bocca Fornace è alimentato da due sorgenti, una detta di Boccafornace, attualmente captata da un vaso artificiale, e l'altra detta Capodacqua, ubicata lungo l'alveo del T. Fornace a valle di quota 460 m; da quest'ultima viene derivata una portata di 20 l/s per uso potabile.

PERRONE (1910) non fornisce valori di misura di portata del T. Fornace nei mesi di aprile e maggio. Le misure eseguite nel maggio 1992 da NAPPI danno un valore di portata di 2152 l/s e nell'apri-

Tab. 6 - *Elenco delle sezioni di misura delle portate in alveo con numero delle misure eseguite, periodo in cui sono state eseguite le misure, portata media calcolata e valore della portata minima misurata.*

- List of the stream gauging stations showing the total measurements, their period and the mean and minimum measured discharge values.

Sezione	N mis.	Periodo	Q media calc.	Q min. mis.	Sezione	N mis.	Periodo	Q media calc.	Q min. mis.
Ch583	11	2002-2003	205	30	F1221	5	2002-2003	50	0
Ch565	11	2002-2003	285	55	Fc1055	9	2002-2003	120	40
Ch527	11	2002-2003	390	50	F1000	11	2002-2003	50	5
Ch520	11	2002-2003	405	35	F893	11	2002-2003	170	100
Ch518	11	2002-2003	150	50	As805	11	2002-2003	125	55
Ch488	11	2002-2003	730	210	F800	11	2002-2003	245	150
Ca540	3	1993-1994	50	15	RS840	8	2002-2003	100	60
					RS715	11	2002-2003	250	90
Fo440	11	2002-2003	385	170	F720	11	2002-2003	415	315
Fo435	11	2002-2003	1010	390	RCE720	8	2002-2003	305	0
					F650	11	2002-2003	1165	540
					RB645	3	2002-2003	40	23

le 2001 da ZOLLET di 1864 l/s. Nell'aprile 2002 è stata misurata una portata di 724 l/s, nettamente inferiore a quella relativa ai dati precedenti. La portata complessiva erogata da queste due sorgenti nell'agosto del 1906 era di 865 l/s, nel luglio del 1992 di 645 l/s, nell'agosto 2000 di 573 l/s e nell'agosto 2002 di 467 l/s (tab. 7, fig. 4).

È evidente un calo sensibile che sembra avere un andamento progressivo. Come si è detto a proposito del F. Chienti di Pievetorina, le derivazioni note non giustificano una variazione di tale entità.

Fiume Fiastrone

I dati storici disponibili del PERRONE (1910) non forniscono valori di portata nei mesi di aprile-maggio. Le misure eseguite nell'aprile del 1993 (AGOSTINI, 1994), dopo la confluenza con il T. Rio Sacro e più a valle prima dello sbocco nel lago artificiale di Fiastra, hanno rilevato rispettivamente portate di 1740 e 2920 l/s. Nell'aprile 2001 (TARRAGONI, 2001) il Fiastrone versava nel lago di Fiastra 1866 l/s. Nell'aprile del 2002, dopo la confluenza con il Rio Sacro, si è misurata una portata di 670 l/s, mentre poco a monte del lago di

Fiastra risultava una portata di 1063 l/s. Per il mese di agosto, i dati del PERRONE relativi al 1906, danno valori di portata di 832 l/s dopo il Rio Sacro e di 1128 l/s a Fiastra. Nell'agosto del 1992 (AGOSTINI, 1994) venivano misurati rispettivamente 737 e 801 l/s. Nell'agosto del 2000 (TARRAGONI, 2001) la portata era di 482 e di 594 l/s. Le misure eseguite nel 2002 si riducono a valori di 316 e 516 l/s, nettamente inferiori a quelle di inizio secolo (tab. 7, fig. 4).

Nella valle del Fiastrone vengono operate modeste derivazioni dell'ordine di qualche decina di litri al secondo dalle sorgenti di alta quota, ed una più consistente derivazione dalla galleria drenante recentemente costruita presso le cascate dell'Acquasanta, che capta circa 60 l/s.

5.3. - VARIAZIONI STAGIONALI RISCONTRATE NEL CORSO DEL 2002-2003

La qualità dei dati ed il dettaglio dell'informazione acquisiti per mezzo delle campagne di misurazione in alveo eseguite con cadenza mensile sono

Tab. 7 - *Valori di portata sperimentalmente misurata nelle diverse sezioni presenti sul fiume Chienti, sul torrente Fornace e sul fiume Fiastrone.*

- Discharge values obtained by field surveys in the stream gauging stations along the Chienti River, the Fornace Creek and the Fiastrone River.

Sezione	Quota m s.l.m.	Perrone		Dati inediti						
		1910		1993-1994		2000-2001		2002-2003		
		maggio 1908	agosto 1906	maggio 1992	luglio 1993	aprile 2001	agosto 2000	aprile 2002	agosto 2002	aprile 2003
F. CHIEN TI										
Dopo le sorgenti	575	/	130	294	55	/	50	132	43	327
Presso Madonna di Caspreano	520	/	158	517	69	/	68	165	33	580
Dopo le sorgenti di Madonna di Caspreano	500	/	674	/	/	1568	294	108	63	334
Roti	480	1642	792	1293	515	1624	467	412	210	1101
T. FORNACE										
Dopo le sorgenti di Boccafornace e Capodacqua	400	/	865	2152	645	1864	573	724	467	
F. FIASTRONE										
Dopo il torrente Rio Sacro	700	/	832	1740	737	/	482	670	316	
Presso Fiastra	650	/	1128	2920	801	1866	594	1063	516	

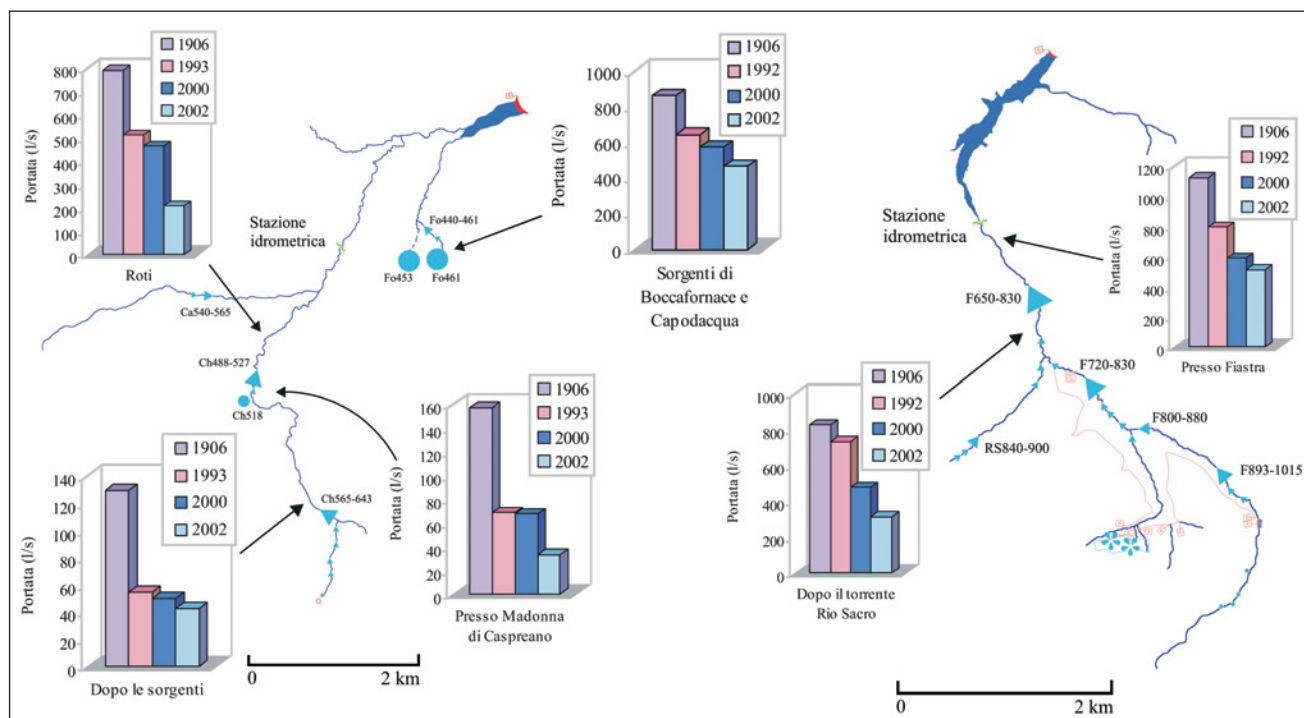


Fig. 4 - Rappresentazione schematica del reticolo idrografico perenne dei Fiumi Chienti di Pievetorina, Fornace e Fiastrone con ubicazione delle sezioni in cui si è operato un confronto tra i dati idrometrici storici e quelli acquisiti nel corso del 2002-2003, riferiti al periodo estivo. I dati riportati nei grafici sono quelli che meno risentono degli effetti delle precipitazioni e ciò permette di vedere meglio l'andamento del flusso di base. È ben evidente in ciascuna delle sezioni che dal 1906 si assiste ad una progressiva diminuzione delle portate delle acque sorgive. Per la simbologia si rimanda alla legenda della carta.

- Sketch map of the perennial hydrographic network of the Chienti di Pievetorina, Fornace and Fiastrone Rivers. The stream gauging stations used for the comparison among the literature and the 2002-2003 discharge data are shown; these data are referred to summer time (low rainfall) and thus evidence the base flow trend. It is evident a progressive decreasing of the stream discharge in all stations starting from 1906. The symbology is represented in the Hydrogeological Complexes and Natural Springs Map legend.

stati messi a confronto con quelle che sarebbero state ottenute in seguito a misure eseguite con periodicità stagionale (aprile ed agosto 2002, gennaio ed aprile 2003; fig. 5).

Questo tipo di rappresentazione costituisce un elemento di valutazione dell'attendibilità delle portate misurate, che devono essere coerenti nello spazio e nel tempo. Come è ovvio aspettarsi, i dati acquisiti con cadenza mensile definiscono con maggior dettaglio l'andamento delle portate rispetto a quelli acquisiti con cadenza stagionale.

Nei grafici relativi alle misure eseguite con periodicità stagionale (fig. 5 in alto) sono mostrate variazioni di portata, in positivo ed in negativo, con andamento costante e riferite a periodi differenti rispetto alla realtà, meglio rappresentata nei grafici con cadenza mensile. Ne consegue un'errata valutazione delle portate estreme in termini di valori assoluti e di tempi di occorrenza. Sia nel caso del Chienti, che del Fornace e del Fiastrone le portate minime misurate sono quelle del mese di novembre. Disponendo dei soli dati stagionali la portata minima risulterebbe essere quella di agosto; quindi, volendo estrapolare la portata di novembre, questa risulterebbe notevolmente superiore a quella effettivamente presente in alveo.

I grafici in basso di figura 5, relativi alle misure con periodicità mensile, permettono di individuare con più chiarezza gli apporti delle acque di superficie rispetto a quelli sorgivi che alimentano il fiume, inoltre mostrano che il sensibile aumento delle portate non inizia ad agosto ma a novembre ed evidenziano un *trend* negativo da aprile a novembre con un piccolo incremento in corrispondenza del mese di ottobre.

Dal confronto dei grafici relativi alle misure con periodicità stagionale, i tre corsi d'acqua sembrano avere lo stesso andamento delle portate, mentre dal confronto dei grafici con cadenza mensile si nota che nei mesi relativi al 2003 le portate del fiume Fiastrone hanno un andamento lievemente differente rispetto agli altri corsi d'acqua.

Fiume Chienti

Nella figura 5 (prima colonna) è riportato il grafico relativo alle misure con periodicità stagionale e quello relativo alle misure eseguite con periodicità mensile.

In entrambi i casi si vede che la portata del Chienti cresce progressivamente dalla sezione Ch583 verso la sezione Ch488. Il maggiore contributo viene evidentemente dall'apporto della sorgente Peschiera e dalla sorgente lineare Ch488-527

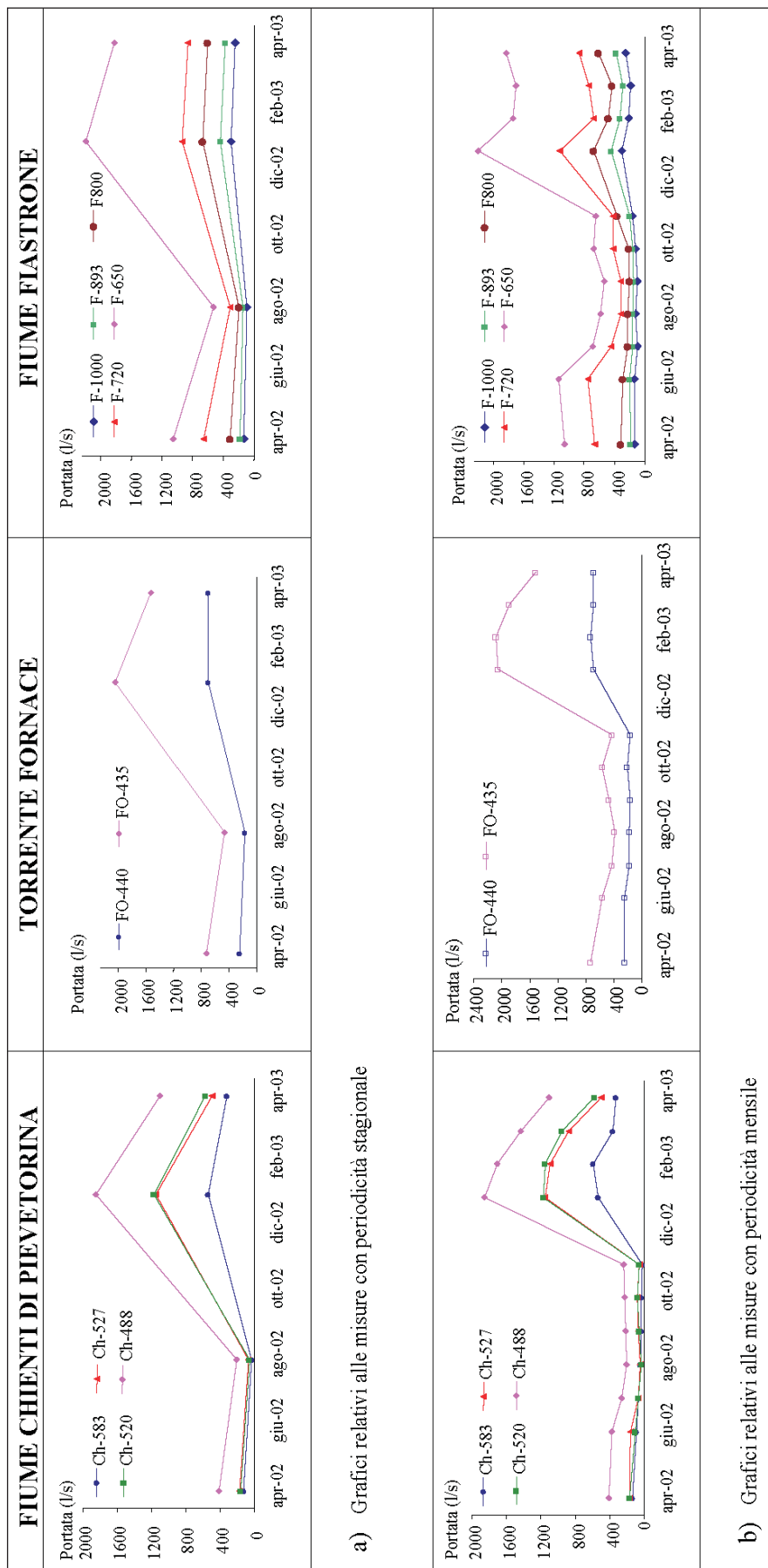


Fig. 5 - I grafici relativi alle misure con periodicità stagionale (a) mostrano un decremento della portata tra aprile ed agosto 2002, un aumento della portata tra agosto 2002 e gennaio 2003 ed un decremento tra gennaio ed aprile 2003. Le variazioni di portata, positive e negative, figurano con andamento costante. I grafici in basso, relativi alle misure con periodicità mensile (b), mostrano dettagliatamente l'andamento della portata con un aumento che inizia solo a novembre 2002.

- The seasonal discharge measurement plots (a) show decreasing values in the period April-August 2002, increasing values in August 2002-January 2003 and decreasing values again in January-April 2003. The stream discharge variations seem, with both a positive and a negative trend, quite regular. The monthly discharge measurement plots (b) show an accurate stream discharge trend and the increasing trend starting in November 2002.

che si estende tra la sorgente di Peschiera e l'abitato di Pieve Torina. Le variazioni di portata si osservano in tutti i mesi, anche se in misura differente: nel grafico relativo alle misure con periodicità stagionale si osserva una caduta apparentemente continua tra i mesi di aprile ed agosto 2002 e tra dicembre 2002 ed aprile 2003, mentre tra agosto e dicembre sembra esserci un incremento continuo.

Nel grafico relativo alle misure eseguite con periodicità mensile si osserva che la diminuzione non si arresta ad agosto, ma prosegue fino a novembre, quindi aumenta fino a gennaio per poi diminuire progressivamente fino ad aprile.

Nel periodo da aprile ad ottobre, ma con maggiore evidenza tra giugno e luglio, vengono operate apprezzabili derivazioni artificiali dagli alvei, dal momento che le portate misurate a monte sono leggermente superiori di quelle misurate a valle.

Torrente Fornace

Sempre in figura 5 (colonna centrale) sono mostrate le variazioni di portata lungo l'alveo misurate con cadenza stagionale e mensile. Confrontando le stazioni di misura riportate nella "Carta dell'idrologia di superficie" (inserita a margine della cartografia idrogeologica allegata) si osserva che il corso del T. Fornace è sostenuto dalle sorgenti di Capodacqua e di Boccafornace.

Nel mese di aprile la portata complessiva è risultata di 700 l/s, mentre nel mese di agosto scende a 500 l/s. Le sorgenti di Capodacqua, che hanno portate variabili tra 250 e 200 l/s, mostrano maggiore stabilità. L'incremento di portata fra le due sezioni è riconoscibile in tutti i mesi anche se in diversa misura. Il grafico in cui sono indicate le variazioni di portata misurate con periodicità mensile, fornisce ovviamente un maggiore dettaglio; analogamente a quanto visto per il Fiume Chienti la portata minima misurata con periodicità stagionale non coincide con quella misurata mensilmente: anche in questo caso la portata minima misurata nel mese di agosto è un minimo relativo, mentre quella misurata a novembre è più prossima al minimo assoluto del periodo di osservazione.

Fiume Fiastrone

I grafici della colonna di sinistra nella figura 5 illustrano le misure eseguite in sezioni successive lungo il corso del F. Fiastrone con cadenza sia stagionale che mensile. Si osserva un progressivo aumento di portata da 100 l/s a circa 1100 l/s nel mese di aprile; si possono identificare chiaramente le entità degli apporti che il Fiastrone riceve lungo il suo corso. Nel mese di agosto le portate si riducono sensibilmente ad un valore complessivo di circa 600 l/s, mentre a gennaio si registra la portata massima.

Un maggiore dettaglio della situazione è evidenziato nel grafico in basso dove le misure utilizzate sono state eseguite con periodicità mensile.

6. - IDROGEOLOGIA

Oltre alle già citate fonti bibliografiche, sono consultabili gli ANNALI IDROLOGICI (1921-1992), che forniscono i dati essenziali per la valutazione degli afflussi meteorici e per il calcolo dell'evapotraspirazione. Di particolare interesse è l'individuazione di due stazioni idrometriche che per alcuni anni hanno misurato la portata del Chienti (a Pieve Torina) e del Fiastrone (a Fiastra). Sebbene il loro funzionamento sia molto limitato nel tempo e si riferisca ad un passato lontano, l'elaborazione di questi dati è estremamente utile per una migliore definizione della locale situazione idrogeologica e conseguentemente sono stati considerati nel modello concettuale.

Sono chiaramente distinguibili tre complessi calcarei di estensione regionale sovrapposti, prevalentemente costituiti da calcari dotati di particolare attitudine ad assorbire, immagazzinare e restituire in superficie le acque meteoriche in corrispondenza di sorgenti puntuali, lineari o diffuse: a) Complesso calcareo basale indifferenziato; b) Complesso della Maiolica; c) Complesso della Scaglia calcarea. Tali complessi costituiscono, in affioramento, vaste aree di infiltrazione e, nel sottosuolo, estesi acquiferi in corrispondenza dei settori saturati da una falda. Questi complessi sono tra loro separati da complessi dotati di minore permeabilità che hanno la funzione di *aquiclude* o di *aquitard*, in relazione alla loro capacità di costituire dei limiti a flusso nullo o di consentire uno scambio idrico significativo tra acquiferi differenti. Infatti, TARRAGONI (2005) ha identificato l'esistenza sia di acquiferi indipendenti, tra loro sovrapposti e con diversi potenziali ed emergenze, che di fenomeni di scambio per *drainance* tra acquiferi sovrapposti attraverso complessi che assumono la funzione di *aquitard*. Le condizioni di isolamento tra acquiferi sovrapposti o l'esistenza di fenomeni di *drainance* sono in gran parte funzione del locale assetto strutturale, che ha determinato i reciproci rapporti giaciturali tra masse litoidi con caratteri differenti e ne ha sovente alterato le originarie proprietà litologiche.

Sono state, inoltre, definite le principali proprietà dei complessi più caratteristici. Restano da definire meglio i loro limiti e le loro caratteristiche, possibilmente con criteri di valutazione oggettiva, basati sulle proprietà fisiche, quali la resistività elettrica e la velocità di propagazione delle onde sismiche.

Sono state identificate tutte le principali sorgenti e ne è stata definita la portata mediamente erogata. È stato individuato il reticolo idrografico perenne, costantemente alimentato da acque sorgive anche nei mesi più aridi; questi dati consentono di impostare correttamente la rete di monitoraggio delle portate.

L'analisi litostratigrafica e strutturale ha permesso di definire la geometria degli acquiferi.

7. - CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA

Secondo le indicazioni della "Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" (MARI *et alii*, 1995), i complessi idrogeologici dovrebbero essere distinti in funzione delle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti, che riflettono la presunta permeabilità relativa, e dovrebbero essere rappresentati con i colori codificati per ciascuna età geologica desunti dalla Carta Geologica Ufficiale d'Italia.

La sperimentazione condotta secondo i criteri della suddetta "Guida" non ha portato ad un risultato soddisfacente, pertanto i Complessi carbonatici individuati, dotati presumibilmente di elevata permeabilità, non sono stati suddivisi in diversi gradi di permeabilità relativa, perché non si è riconosciuto alcun attendibile elemento che potesse consentire tale distinzione senza incorrere in proposte soggettive e non giustificabili. È risultato conseguentemente inapplicabile anche l'uso di simboli per indicare presunte variazioni di permeabilità all'interno dei Complessi identificati.

Pertanto, la Cartografia Idrogeologica sperimentale proposta in questo studio è stata preparata come la sovrapposizione di diversi livelli informativi che non sono rappresentabili in un unico documento cartografico. Sono stati allestiti diversi documenti ciascuno dei quali mostra particolari aspetti dei caratteri idrogeologici locali. Il primo tipo di documento è la "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali", il secondo è la "Carta dell'Idrologia di superficie", il terzo è il "Modello Idrogeologico Concettuale" dei differenti acquiferi riconosciuti e il quarto sono i profili idrogeologici.

I vari documenti prodotti sono stati raccolti in un unico documento cartografico allegato, in cui alla "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali" si affiancano come elementi a margine gli altri elaborati, in modo da poter avere un quadro d'insieme ottimale. I profili idrogeologici che mettono in evidenza i rapporti di giacitura tra complessi idrogeologici diversi, la distribuzione dei principali acquiferi riconosciuti, le differenze di potenzia-

le tra i vari acquiferi, l'influenza esercitata dalle barriere idrauliche ed i settori saturi degli acquiferi riconosciuti.

La permeabilità dei complessi idrogeologici identificati non è stata attribuita in modo sommario ed arbitrario (bassa, media, alta ecc.), ma seguendo un criterio oggettivo, secondo cui un complesso è considerato permeabile quando permette un'infiltrazione delle acque meteoriche valutabile tramite calcoli di bilancio: il grado di permeabilità è stato pertanto stimato in base ai valori dell'infiltrazione efficace media calcolata.

7.1. - CARTA DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI E DELLE EMERGENZE NATURALI

La Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali è stata compilata secondo il criterio dell'identificazione dei Complessi in funzione del ruolo idrogeologico svolto, desunto dalle osservazioni di campo ed il criterio dell'analisi dell'idrologia di superficie, basato sulla misura sistematica delle portate erogate dalle sorgenti puntuali e lineari e sulla misura del flusso di base, lungo l'intero reticolo idrografico perenne. Sono stati, pertanto, distinti Complessi con permeabilità trascurabile, perché sostengono o limitano gli acquiferi riconosciuti e perché sono privi di significative emergenze. Questi Complessi sono rappresentati con un colore pieno nei toni del grigio o, qualora sussistano fenomeni di *drainance*, nei toni del verde.

Sono stati riconosciuti anche diversi Complessi, costituiti da sedimenti prevalentemente calcarei e interessati da un evidente processo d'infiltrazione, che ospitano un acquifero chiaramente identificabile, alimentano sorgenti puntuali, lineari o diffuse riconoscibili, ed erogano portate misurabili con un'accorta campagna di apposite misure.

Questi Complessi sono stati rappresentati con una duplice simbologia: un retino indicativo del complesso dominante ed un colore, nei toni del rosso, rappresentativo dell'entità dell'Infiltrazione Efficace, valutata da calcoli di bilancio idrogeologico eseguiti su ciascun acquifero individuato e riportati nei Modelli Idrogeologici Concettuali. Lo stesso Complesso, che affiora in punti differenti, può avere diversi valori di Infiltrazione Efficace, in funzione dello stato di alterazione prodotto dalla tettonica e dell'entità dei locali afflussi meteorici. Talvolta l'alterazione di questi Complessi è talmente spinta da obliterarne completamente le caratteristiche idrogeologiche originali; in questi casi la rappresentazione si avvale di un ulteriore simbolo, un sovrassegno che indica l'intensa laminazione.

Altri complessi (Complesso dei depositi alluvionali e Complesso dei depositi detritici di versante), riferibili tutti a depositi di copertura recente, rivestono un ruolo secondario nell'economia idrogeologica regionale e sono rappresentati con un retino indicativo della tipologia del complesso ed un fondo in colore chiaro e tenue.

Viene qui di seguito riportata la descrizione dei singoli Complessi identificati che mette in evidenza le loro particolari caratteristiche idrogeologiche.

Complesso dei depositi alluvionali (*Pleistocene - Olocene*)

Sono costituiti da ghiaie calcaree sciolte o debolmente cementate da una matrice marnosa con orizzonti e lenti di sabbie e limi in varia proporzione. Questo complesso quasi ovunque ha spessori di pochi metri ed estensione limitata ad alcune centinaia di metri lungo i principali corsi d'acqua. Fa eccezione il deposito alluvionale che borda il tratto terminale del Chienti di Pieve Torina, a monte della confluenza con il Chienti di Gelagna, dove i depositi alluvionali sono più potenti ed estesi.

Questi depositi, lungo gli alvei dei corsi d'acqua effimeri o temporanei, non ospitano falde significative. Lungo i corsi d'acqua perenni, invece, il Complesso dei depositi alluvionali assume il ruolo di acquifero caratterizzato da attivi scambi idrici con il corso d'acqua che lo solca. A causa della loro limitata estensione questi acquiferi assumono un ruolo secondario nell'economia idrogeologica regionale.

Complesso dei depositi detritici di versante (*Pleistocene - Olocene*)

Sono detriti di falda e conoidi detritiche prevalentemente costituite da ghiaie calcaree localmente legate da una matrice argilloso-marnosa. Laddove poggiano su un substrato marnoso-argilloso, questi depositi sono interessati da fenomeni di instabilità anche vistosi (Frana di Bolognola).

Questo complesso, molto permeabile, è caratterizzato da un'elevata capacità di assorbimento delle acque meteoriche. Dove poggia su un substrato permeabile, trasmette le acque assorbite al complesso permeabile sottostante. Dove poggia su un complesso poco permeabile, ospita acquiferi che alimentano i corsi d'acqua perenni o modeste sorgenti. Gli acquiferi dei depositi detritici di versante possono avere rilevanza locale, ma assumono un ruolo idrogeologico secondario nell'economia idrogeologica regionale.

Complesso dei depositi terrigeni marnoso-arenacei (*Miocene inf. - Pliocene inf.*)

Questo complesso è costituito da una regolare alternanza di arenarie e marne, con locali intercalazioni argillose e calcarenitiche. Gli spessori pos-

sono variare da pochi metri a poche centinaia di metri. Affiora al nucleo di una sinclinale con asse submeridiano, lungo l'allineamento (Appennino-Pieve Torina).

Questo complesso è dotato di permeabilità molto scarsa ed è quindi privo di acquiferi significativi. Dove le arenarie sono intensamente fratturate, possono costituire aree di infiltrazione, contenere modesti acquiferi epidermici ed alimentare piccole sorgenti o corsi d'acqua a regime temporaneo. Il ruolo idrogeologico di questo complesso è molto limitato e di esclusivo interesse locale.

Complesso dei depositi marnosi e calcareo-marnosi (*Langhiano - Tortonian*)

Questo complesso è costituito da una potente successione di marne con selce in liste e noduli, livelli argillosi con intercalazioni di calcari marnosi. Comprende il Bisciario, lo Schlier e le Marne con Cerroghia degli Autori.

A causa dell'elevata componente marnoso-argillosa e dello spessore, questo complesso è idrogeologicamente impermeabile ed assume un ruolo di limite idraulico nei confronti dei complessi a maggiore permeabilità con cui viene a contatto.

Nelle aree in cui il complesso è caratterizzato da un'elevata componente calcarea abbinata ad un alto stato di fratturazione, questo può ospitare modesti acquiferi che alimentano piccole sorgenti o il flusso di base di corsi d'acqua stagionali.

Complesso della Scaglia marnosa (*Eocene - Langhiano*)

Questo complesso è costituito da una potente successione di marne prevalenti, intercalate a calcari marnosi e con livelli argillosi. Comprende la Scaglia Variegata e la Scaglia Cinerea.

Lo spessore, molto variabile, è compreso tra le diverse decine e il centinaio di metri. Per l'elevata componente marnoso-argillosa e per il notevole spessore, questo complesso si comporta come una massa impermeabile, che assume un ruolo di limite idraulico nei confronti dei complessi calcarei con cui viene a contatto.

Nelle zone più fratturate e dove è più abbondante la componente calcarea, questo complesso può ospitare modesti acquiferi che alimentano piccole sorgenti o il flusso di base di corsi d'acqua temporanei.

Complesso della Scaglia calcarea (*Cretacico sup.*)

Calcari micritici e calcari marnosi in varia proporzione, bianchi e rosati, con liste e noduli di selce, ben stratificati della Formazione della Scaglia Rossa e della Scaglia Bianca. Spessore variabile tra 250 e 400 metri. I caratteri litologici di questo complesso non sono omogenei nell'area considerata, perché dipendono dalla locale abbon-

danza della componente marnosa e dello stato di laminazione prodotto da motivi tettonici compressivi.

In generale, la Scaglia calcarea è dotata di buona permeabilità d'insieme, che facilita il processo d'infiltrazione delle acque meteoriche e l'immagazzinamento di acque sotterranee. Questo complesso assume quindi il ruolo di area di infiltrazione dove si trova in affioramento e di serbatoio saturo dove è sostenuto dal Complesso delle Marne a Fucoidi e delimitato lateralmente da superfici a flusso nullo. Dove l'assetto strutturale è favorevole, il Complesso della Scaglia calcarea dà origine ad estesi acquiferi che alimentano sorgenti puntuali e lineari con portate medie di alcune centinaia di l/s. Il regime delle sorgenti è sufficientemente regolare, con portate di magra pari a circa il 50% delle portate medie.

Localmente questo complesso è stato intensamente laminato da linee tettoniche compressive che hanno profondamente alterato i suoi caratteri litologici. In queste zone il Complesso della Scaglia calcarea si presenta come un ammasso compatto, con permeabilità molto limitata e ridottissima capacità d'immagazzinamento, tanto da assumere il ruolo di *aquiclude* o di *aquitard*. A luoghi (Gole dell'Acquasanta) questo *aquitard* è saturo per spessori di un centinaio di metri; al suo interno le acque defluiscono lentamente lungo un reticolo discontinuo di fratture sovrapposte, che alimentano emergenze diffuse, distribuite su un fronte alto un centinaio di metri e lungo circa un chilometro. Queste sorgenti diffuse danno origine a suggestive cascate. L'infiltrazione efficace risulta variabile, compresa tra 650 e 1100 mm/a.

Complesso delle Marne a Fucoidi (*Aptiano* - *Albiano*)

Questo complesso, di colore variabile dal rosso al verde è costituito da marne calcaree, marne argillose e calcari marnosi con liste di selce. Lo spessore può variare tra 50 e 100 metri.

Laddove si conservano inalterati i loro caratteri litologici e l'originaria continuità, le Marne a Fucoidi costituiscono un orizzonte caratterizzato da permeabilità molto ridotta che può sostenere l'acquifero della Scaglia calcarea e delimitare il sottostante acquifero della Maiolica.

Dove è stato interessato da linee tettoniche con rigetto superiore al suo spessore, o dove è stato intensamente laminato, assume la funzione di *aquitard* che consente lo scambio idraulico fra gli acquiferi che, normalmente, tiene separati.

Complesso della Maiolica (*Cretacico inf.*)

È costituito dai calcari micritici bianchi della Formazione della Maiolica, ben stratificati, con sottilissimi orizzonti marnosi lungo i giunti di stratificazione e liste e noduli di selce. Spessore

molto variabile da poche decine a qualche centinaia di metri.

Il complesso della Maiolica è stato cartografato con simbologia specifica solo dove poggia sul sottostante Complesso calcareo-silico-marnoso e dove esistono, quindi, le condizioni necessarie per dare origine ad un acquifero indipendente e distinto dal sottostante acquifero basale. Dove i calcari della Maiolica poggiano direttamente sulla Formazione del Bugarone sono stati cartografati con il simbolo del Complesso calcareo basale indifferenziato. Questo complesso, nella media Valle del Fiastrone, ospita acquiferi che alimentano sorgenti puntuali e lineari con portate medie comprese tra 150 e 250 l/s. L'infiltrazione efficace è stata valutata tra 500 e 750 mm/a.

Complesso calcareo-silico-marnoso (*Giurassico medio*)

È costituito da marne e calcari marnosi, marne argillose, diaspri in varia proporzione. Questo complesso indifferenziato, raggruppa tutti i termini della successione completa Umbro-Marchigiana compresi tra la Formazione della Corniola e la Formazione della Maiolica (Marne del Sentino, Formazione del Bosso, Calcareniti di Monte Valvaseto, Calcari diasprigni, Marne ad Aptici) per spessori variabili da 100 a 250 metri.

Esso generalmente assume il ruolo di *aquiclude* che sostiene o limita lateralmente l'acquifero della Maiolica e chiude al tetto il Complesso calcareo basale, quando la successione stratigrafica è "completa". Localmente, il Complesso calcareo-silico-marnoso assume il ruolo di *aquitard* attraverso cui si sviluppano apprezzabili apporti per *drainance*. Tali condizioni si verificano nella media Valle del Fiastrone dove il flusso proveniente dall'acquifero del Complesso calcareo basale si sviluppa dal basso verso l'alto e dà origine ad una sorgente lineare. Sul versante sinistro della stessa valle, il fenomeno di *drainance* si sviluppa invece dall'alto verso il basso, dall'acquifero della Maiolica, dando origine a sorgenti diffuse su un fronte di circa 300 m e su un'altezza di 50 m. L'area sorgiva è caratterizzata dalla presenza di estesi depositi di travertino.

Complesso calcareo basale indifferenziato (*Lias inf.* - *Cretacico inf.*)

Consiste di calcari micritici bioclastici in grandi banchi, calcari nodulari, calcari micritici stratificati con orizzonti pelitici. Questo complesso comprende le formazioni del Calcare Massiccio, della Corniola, del Bugarone e della Maiolica indifferenziate; dove sussiste la successione stratigrafica "completa" il Complesso calcareo basale (*Lias inf.* - *Toarciano inf.*) comprende solo le formazioni del Calcare Massiccio e della Corniola. Il

Complesso calcareo basale indifferenziato ha spessori molto variabili, sempre superiori a diverse centinaia di metri ed affiora ampiamente in riva destra della media Valle del Fiastrone e al nucleo di una modesta anticlinale nella Val di Tazza.

In questo complesso ha sede l'acquifero basale, che satura i terreni più antichi affioranti nella regione, e che alimenta importanti sorgenti lineari. L'Infiltrazione Efficace è stata valutata approssimativamente in 750 mm/a.

Da notare che nella "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali" alcuni Complessi sono stati riportati senza attribuirvi il colore rappresentativo dell'entità dell'Infiltrazione Efficace. La rappresentazione di questi Complessi si è resa necessaria per meglio definire l'assetto geologico-strutturale ed idrogeologico dell'area, ma poiché la loro estensione va oltre i limiti dell'area indagata e le sorgenti che drenano gli acquiferi in essi contenuti non sono state riconosciute e/o studiate, non è stato possibile allestirne un Modello Idrogeologico Concettuale e calcolarne il bilancio idrogeologico.

Per quanto concerne la rappresentazione delle emergenze, questa è stata eseguita, per quanto possibile, nei modi previsti dalla "Guida" (MARI *et alii*, 1995), con alcune variazioni che si sono ritenute opportune. Ad esempio, sono state indicate con apposito simbolo le sorgenti definite "lineari", che non figurano come tali nella citata "Guida" (MARI *et alii*, 1995). La simbologia adottata consente di valutare non solo la portata media dell'emergenza, ma anche la sua variabilità stagionale con l'indicazione dei minimi riconosciuti.

7.2. - CARTA DELL'IDROLOGIA DI SUPERFICIE

Sulla Carta dell'Idrologia di superficie sono indicate le sezioni di misura controllate nell'arco di un anno (corredate dalla sintesi dei dati acquisiti), le stazioni idrometriche (da tempo dismesse), le sorgenti puntuali, lineari e diffuse (indicate da una sigla) e le derivazioni municipali e idroelettriche riconosciute.

I risultati delle campagne di misura di portata in alveo sono stati elaborati negli appositi grafici (fig. 5) precedentemente discussi, riguardo ai quali si richiama l'evidente opportunità di eseguire misure con periodicità mensile e non stagionale.

Da questi elaborati risulta anche il rapporto tra le misure eseguite nel periodo aprile 2002-aprile 2003 e quelle eseguite in periodi precedenti (tab. 7; fig. 4): si nota che le portate delle sorgenti che alimentano il flusso di base dei corsi d'acqua misurati subiscono variazioni cicliche, ma risultano in ogni modo tra loro confrontabili. È altret-

tanto evidente che il forte innalzamento di portata registrato negli alvei naturali, tra il novembre del 2002 ed il gennaio del 2003 (fig. 5), è presumibilmente influenzato anche da processi di ruscellamento che, in periodi particolarmente umidi, non sono distinguibili dal flusso di base alimentato dalle acque sotterranee. Nel calcolo delle portate medie delle sorgenti lineari si è tenuto conto di questa osservazione. Come sintesi delle informazioni acquisite in merito alle sorgenti puntuali e lineari riconosciute viene fornita la portata media e la portata di magra che è parsa più significativa (tab. 8).

Tab. 8 - Portata media e minima delle principali sorgenti identificate. Con lo sfondo giallo sono indicate le sorgenti che appartengono ad acquiferi nel Complesso della Maiolica e/o del Complesso calcareo basale indifferenziato; con lo sfondo verde chiaro sono indicate le sorgenti che appartengono ad acquiferi nel Complesso della Scaglia calcarea. *valori di portata desunti da studi inediti del 1992-1993 (AGOSTINI, 1994; NAPPI, 1994); ** valori di portata desunti da studi inediti, ZOLLET (2001).

- Mean and minimum discharges of the main springs of the study area. The springs within "Maiolica" and "Calcareo basale indifferenziato" complexes and those within the "Scaglia Calcareo" complex are distinguished with a yellow and a green background, respectively. *from AGOSTINI (1994) and NAPPI (1994); ** from ZOLLET (2001).

Sorgenti lineari (l/s)		
	Q media	Q minima
F893-1000	170	100
F800-880	75	50
F720-830	170	165
F650-830	220	165
RS840-900	100	60
Fo440-461	120	60
Ch565-643	285	55
Ch488-527	190	110
Ca540-565*	50	15
Sorgenti puntuali (l/s)		
	Q media	Q minima
Fo453**	310	205
Fo461**	270	140
Ch518	150	50

Si ribadisce che nella “Guida” (MARI *et alii*, 1995) non è prevista la rappresentazione delle sorgenti lineari; mentre queste costituiscono il principale apporto di acque sotterranee al reticolo idrografico perenne nell’area considerata.

Delle stazioni idrometriche che hanno funzionato in passato viene fornita una scomposizione dell’idrogramma secondo il Metodo delle Portate Mensili Caratteristiche (BONI *et alii*, 1993), che consente di scomporre il deflusso totale in diverse componenti:

- il ruscellamento;
- il massimo flusso di base alimentato dalle sorgenti;
- il minimo flusso di base alimentato dalle sorgenti;
- i minimi assoluti registrati nel periodo di osservazione.

La scomposizione dell’idrogramma del Fiume Fiastrone (fig. 6, a sinistra) identifica valori minimi assoluti prossimi ai $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ nella tarda estate e valori massimi di portata del flusso di base nei mesi di aprile-maggio, variabili tra un massimo di $2 \text{ m}^3/\text{s}$ e $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. La portata media del flusso di base si può stimare di poco inferiore a $1 \text{ m}^3/\text{s}$. È significativo osservare che il valore medio registrato in questa campagna è risultato prossimo a $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il dato trova giustificazione, nonostante quanto asserito nel paragrafo 4.2, nel contributo al valore medio dei valori del flusso di base invernale e primaverile.

L’idrogramma relativo alle sorgenti del T. Fornace di Pievebovigliana si riferisce a soli due anni di osservazione, e quindi non consente attendibili valutazioni statistiche. Risulta, inoltre, incer-

ta anche la posizione della stazione e quindi il settore del reticolo idrografico sotteso. La stazione ha registrato valori minimi delle portate mensili sufficientemente regolari, variabili tra $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$, con sporadici picchi di piena nei mesi invernali e primaverili variabili tra 2 e $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

L’idrogramma relativo al Fiume Chienti a Pieve Torina (fig. 6, a destra) è particolarmente significativo perché desunto da 26 anni di funzionamento. Dall’esame dell’idrogramma è evidente una variabilità delle portate medie compresa tra massimi di $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ nei mesi invernali-primaverili e minimi di $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ nella tarda estate. Dalla scomposizione dell’idrogramma è anche evidente una marcata variabilità delle portate del flusso di base in periodo invernale e primaverile, con minimi di $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e massimi superiori a $2 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre le portate estive variano tra $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$. I valori registrati a Roti, nell’apposita campagna 2002-2003, hanno fornito valori medi di $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ e minimi di $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, sensibilmente inferiori ai corrispondenti valori di lungo periodo.

7.3. - MODELLI IDROGEOLOGICI CONCETTUALI

I Modelli Idrogeologici Concettuali dei singoli acquiferi individuati contengono le informazioni più significative sull’idrogeologia dell’area esaminata e consentono di valutare con buona approssimazione l’entità delle risorse sotterranee rinnovabili mediamente disponibili nei diversi settori del territorio.

Di ciascun acquifero è stata riconosciuta l’area d’alimentazione, il settore saturo, l’eventuale copertura operata da un Complesso idrogeologico carat-

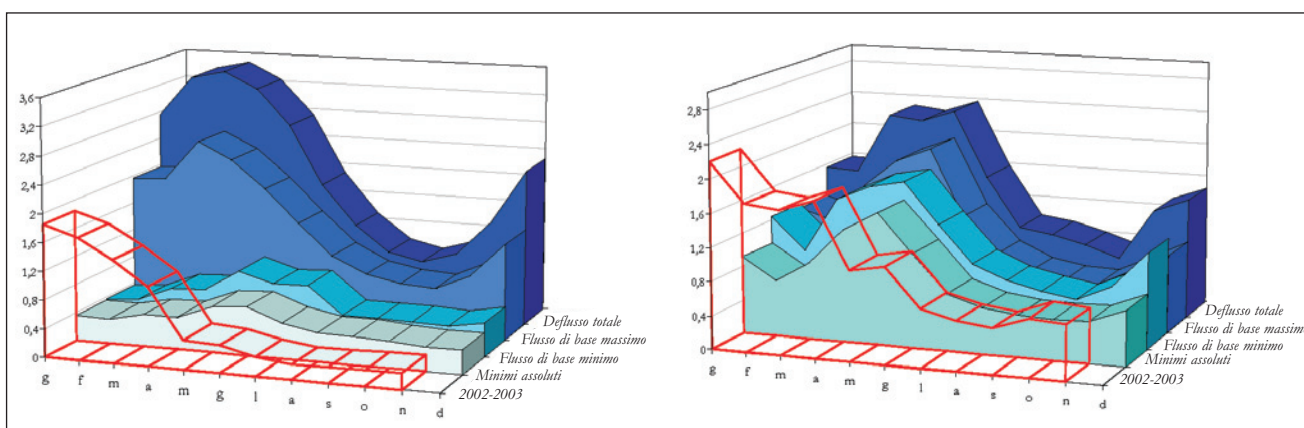


Fig. 6 - Grafico di scomposizione dell’idrogramma dei Fiumi Chienti e Fiastrone (sull’asse verticale è indicata la portata in m^3/s). Sui grafici dei Fiumi Chienti di Pieve Torina e Fiastrone è stato riportato anche il valore della portata misurata sperimentalmente (2002-2003): si noti come i valori delle portate misurate nel periodo di magra siano prossimi, o addirittura inferiori (F. Chienti), ai minimi assoluti registrati dalle stazioni idrometriche. Per la localizzazione delle stazioni idrometriche vedere figura 4.

- Hydrogram break-up charts of Chienti di Pieve Torina and Fiastrone Rivers (discharge in m^3/s in the vertical axis). The discharges measured during field survey (2002-2003) along the Chienti and Fiastrone rivers are also shown: note that the low regime values are close or even lower (Chienti) than the smallest values obtained during the hydrometric station measurements. Hydrometric stations location are showed in figure 4.

terizzato da permeabilità trascurabile. Di ciascun acquifero è stata, inoltre, definita l'estensione dell'area d'alimentazione, l'estensione dell'area satura, il campo piezometrico medio, la portata media complessivamente erogata dalle sorgenti che alimenta ed effettuato il calcolo dell'Infiltrazione Efficace con il metodo diretto (valore medio annuo erogato dalle sorgenti rapportato all'area di alimentazione; BONI *et alii*, 1986).

I limiti idraulici (tettonici e/o stratigrafici) sono indicati in toni di grigio o in verde quando permettono la *drainance*. La copertura è rappresentata da un retino grigio, mentre l'area di alimentazione è raffigurata da un retino rosso; la porzione satura è indicata con due diversi toni di azzurro: scuro dove non sussiste copertura e chiaro dove l'acquifero è coperto.

Sono stati riconosciuti 6 acquiferi tra loro indipendenti, 3 nel Complesso della Maiolica e del Complesso calcareo basale indifferenziato e 3 nel Complesso della Scaglia calcarea.

Nella Maiolica e nel Complesso calcareo basale indifferenziato sono stati identificati:

Acquifero del Chienti

La situazione idrogeologica relativa all'acquifero del Chienti è relativamente complessa, perché è stato riconosciuto un evidente apporto per *drainance* attraverso il Complesso delle Marne a Fuoidi da parte del contiguo Complesso della Scaglia calcarea. La portata media erogata dalla sorgente Peschiera è stata valutata 150 l/s, l'area d'alimentazione che si estende nel Complesso della Maiolica risulta di soli 4,3 km²; ne risulterebbe un valore d'Infiltrazione Efficace prossima ai 1100 mm/a, che appare decisamente eccessiva considerato il basso valore della Precipitazione Efficace (circa 500 mm/a, ZOLLET, 2001) in corrispondenza dell'area d'alimentazione. Si è pertanto ipotizzato un apporto per *drainance* di circa 50 l/s proveniente dal Complesso della Scaglia calcarea.

Da questo calcolo risulta una Infiltrazione Efficace calcolata pari a 730 mm/a. Questo acquifero si estende presumibilmente in profondità, in una vasta area circostante l'area d'alimentazione.

Acquifero del Rio Sacro

È stata valutata una portata media di 100 l/s proveniente da un'area d'alimentazione di circa 6,1 km², dove è stata calcolata un'Infiltrazione Efficace di 520 mm/a. Questo valore d'infiltrazione è relativamente basso, se confrontato con quello calcolato per l'acquifero contiguo del Fiastrone. Questa valutazione può avere due giustificazioni:

- può risultare sottostimata la portata media della sorgente lineare;

- può dipendere dal considerevole stato di laminazione che interessa i calcari affioranti nell'area d'alimentazione.

Acquifero del Fiastrone

L'acquifero del Fiastrone, alimentato in parte dalla Maiolica ed in parte dal Calcare Massiccio, eroga una portata media valutata in 415 l/s, proveniente da un'area d'alimentazione di circa 21,2 km², per cui è stata calcolata un'Infiltrazione Efficace di 620 mm/a. Il campo piezometrico dovrebbe variare da 1250 a 700 m di quota con un forte gradiente idraulico. Questo valore anormale del gradiente idraulico troverebbe giustificazione nel particolare assetto idrogeologico proprio dell'alta valle del Fiastrone, dove coesistono una successione condensata ed una completa, pertanto nella porzione più meridionale, dove il Complesso calcareo-silico-marnoso sostiene le acque che s'infiltrano nel Complesso della Maiolica, si hanno delle emergenze proprio al contatto tra i due complessi (sorgente F893-1000; tab. 8). Procedendo verso N, verso la successione condensata, il Complesso calcareo-silico-marnoso si assottiglia e ne aumenta la componente carbonatica (Calcareni di Monte Valvaseto), tanto da dare luogo a delle emergenze lungo l'asta del Fiastrone (sorgente F800-880). In corrispondenza della successione condensata è il Complesso calcareo basale a drenare le acque di infiltrazione del Complesso della Maiolica, a partire dall'ultimo tratto del Fosso dell'Acqua Santa e proseguendo lungo l'asta del Fiastrone (sorgente F720-830). Si tratterebbe, quindi, di una sorta di gradiente idraulico imposto condizionato dalla giacitura del Complesso calcareo-silico-marnoso. Sulla base di questo Modello Idrogeologico Concettuale è stato allestito un Modello di Simulazione Numerica delle condizioni di flusso (TARRAGONI, 2001) che sembrerebbe validare le ipotesi di circolazione idrica formulate. Tuttavia TARRAGONI (2005) ipotizza un Modello Idrogeologico Concettuale il cui acquifero ha un'area di alimentazione ben più estesa (che si allunga verso sud fino a Monte Vettore) ed è drenato anche da altre sorgenti lungo gli alvei dei fiumi Ambro ed Aso.

Nella Scaglia calcarea sono stati identificati:

Acquifero del Chienti-Fornace

Eroga una portata media di 1205 l/s proveniente da un'area d'alimentazione di 60,3 km², dove si sviluppa un'Infiltrazione Efficace calcolata di 630 mm/a; tenendo conto dei 50 l/s persi per *drainance* nell'Acquifero del Chienti (Complesso della Maiolica), si avrebbero 1255 l/s e un'Infiltrazione Efficace calcolata di 655 mm/a. Il campo piezometrico riconosciuto varia

da una quota di 650 m ad una quota di poco inferiore ai 500 m, dove si trovano le principali sorgenti. Un vasto settore dell'acquifero è imprigionato sotto la coltre impermeabile del Complesso dei depositi terrigeni marnoso-arenacei, del Complesso dei depositi marnosi e calcareo-marnosi e del Complesso della Scaglia marnosa. Le principali sorgenti di Boccafornace e di Capodacqua si trovano dove il Complesso della Scaglia calcarea affiora dalla coltre impermeabile che lo copre, ma in porzioni così poco estese da rendere impossibile la loro indicazione cartografica alla scala di rappresentazione 1:50.000.

Acquifero del Fiastrone

L'acquifero del Fiastrone ha una portata media di 220 l/s e un'area d'alimentazione di 17,3 km². È stata valutata un'Infiltrazione Efficace di 400 mm/a. Il campo piezometrico è variabile da quota 850 a 650 m circa. Nel suo settore più settentrionale l'acquifero risulta sostanzialmente coperto dal Complesso della Scaglia marnosa.

Acquifero dell'Acquasanta

L'acquifero dell'Acquasanta è posto in alta quota presso i limiti dell'area studiata. I limiti della sua area d'alimentazione, nel settore più meridionale, non sono stati identificati con certezza ed il relativo calcolo dell'Infiltrazione Efficace risulta quindi impreciso. La portata media erogata nelle Gole dell'Acquasanta è stata stimata 170 l/s tenendo conto dei dati di portata disponibili. L'area d'alimentazione è stata approssimativamente valutata 4,7 km². È stata, quindi, calcolata un'Infiltrazione Efficace di 1140 mm/a, presumibilmente sovrastimata.

I valori d'Infiltrazione Efficace calcolati per i vari acquiferi sono simili o superiori a quelli valutati dalla maggior parte degli studi idrogeologici condotti sulla dorsale umbro-marchigiana, variabili tra 400–500 mm/a. Il calcolo dell'Infiltrazione Efficace nel Complesso della Scaglia calcarea (acquifero del Chienti-Fornace e dell'Acquasanta) ha fornito valori notevolmente superiori al valore medio calcolato sulla dorsale umbro-marchigiana; tali valori sarebbero sovrastimati a causa del particolare assetto idrogeologico dei due acquiferi. Per l'acquifero del Chienti-Fornace tale valore potrebbe essere imputabile:

- ad una sovrastima della portata media come conseguenza di misure di portata "contaminate" da ruscellamento; in quanto le sezioni di misura, pur essendo prossime alle sorgenti, sottendono un bacino piuttosto esteso caratterizzato dall'affioramento di complessi a permeabilità trascurabile, soprattutto per quanto riguarda le sezioni sul Fornace;
- ad una sottostima dell'area d'alimentazione; occorrerebbe estendere lo studio idrogeologico

nella porzione di territorio a nord-ovest del corso del Fiume Chienti, per verificare la presenza di altre sorgenti e la relativa quota nel Complesso della Scaglia calcarea.

Per l'acquifero dell'Acquasanta l'elevato valore dell'Infiltrazione Efficace (superiore a 1000 mm/a) è sicuramente attribuibile all'imprecisione con cui è stata definita l'area di alimentazione, i cui limiti non sono stati completamente definiti; TARRAGONI (2005) fornisce un valore dell'Infiltrazione Efficace di 750 mm/a (riferibile ad un'area di alimentazione che si estende verso sud per un totale di 7 km²), anch'esso piuttosto elevato ma ragionevole, se si considera che l'area d'alimentazione si estende a quote superiori ai 1200 m.

Il calcolo dell'Infiltrazione Efficace nel Complesso della Maiolica ha fornito un valore particolarmente elevato per l'acquifero del Chienti pari a 1100 mm/a, riducibile a 750 mm/a, ipotizzando una *drainance* di 50 l/s da parte dell'acquifero della Scaglia calcarea, e a circa 600 mm/a, secondo il Modello Idrogeologico Concettuale proposto da TARRAGONI (2005).

7.4. - VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE RINNOVABILI

Nell'area considerata è stata valutata una portata media complessiva erogata dalle sorgenti pari a 2110 l/s, che si riduce in periodo di magra a circa 1175 l/s. Le risorse idriche sotterranee rinnovabili misurate risiedono nella porzione più superficiale degli acquiferi, sopra la quota delle sorgenti naturali, mentre al di sotto di tale quota sono immagazzinate cospicue riserve permanenti la cui entità è ben visibile nei profili idrogeologici riportati nella cartografia allegata.

8. - SINTESI DELLE CONSIDERAZIONI SULL'APPLICABILITÀ DELLA GUIDA E PROPOSTE OPERATIVE

Per quanto concerne la rappresentazione delle emergenze, questa è stata eseguita, per quanto possibile, nei modi previsti dalla "Guida" (MARI *et alii*, 1995), con alcune variazioni che si sono ritenute opportune. Ad esempio, sono state indicate con apposito simbolo le sorgenti definite "lineari", che non figurano come tali nella citata "Guida". La simbologia adottata consente di valutare non solo la portata media (dimensione del simbolo esterno) dell'emergenza, ma anche la sua variabilità stagionale con l'indicazione dei

minimi riconosciuti (simbolo in colore pieno al centro del precedente) e dell'acquifero cui essa appartiene (diverso tono di colore blu). Di rilievo è che le sorgenti lineari sono state evidenziate con uno specifico simbolo che indica con chiarezza anche la lunghezza del tratto drenante. Sempre riguardo alle sorgenti lineari, si noti anche che questa fondamentale tipologia non è prevista come voce nel riquadro "Tipo di emergenza" della Scheda sorgente proposta in appendice al Quaderno, e, pertanto, se ne auspica l'inserimento.

In seguito ad un tentativo d'elaborazione della Carta Idrogeologica secondo le indicazioni della "Guida" (in cui i complessi idrogeologici devono essere distinti in funzione delle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti, che riflettono la presunta permeabilità relativa, ed essere rappresentati con i colori dell'età geologiche desunti dalla Carta Geologica Ufficiale d'Italia), è evidente che i Complessi carbonatici individuati, dotati presumibilmente di elevata permeabilità, non presentano alcun attendibile elemento che possa consentire tale distinzione senza incorrere in proposte soggettive e non giustificabili. È risultato conseguentemente inapplicabile anche l'uso di simboli per indicare presunte variazioni di permeabilità all'interno dei Complessi identificati.

Alla luce dei risultati di questo studio, nonché di altre analoghe esperienze di campo si sottolinea che, poiché i caratteri idrogeologici di un'area sono molteplici, la loro rappresentazione, per quanto simbolica, richiede l'allestimento di diverse carte tematiche, ciascuna dedicata all'illustrazione di particolari aspetti dell'idrogeologia regionale: non si ritiene possibile elaborare un unico documento cartografico rappresentante la topografia, i complessi idrogeologici, l'assetto idrostrutturale, le sorgenti, i campi piezometrici, l'idrologia di superficie, le opere idrauliche, gli apporti meteorici, i modelli concettuali degli acquiferi, ecc. Sulla base di queste considerazioni si propone l'adozione di un documento cartografico, frutto di approfonditi studi condotti su diversi aspetti dell'idrogeologia e costituito da più elaborati dai quali si sono dovute necessariamente selezionare le informazioni disponibili, al fine di fornire un documento di facile lettura. Il documento proposto, fortemente ancorato agli aspetti quantitativi, vuole evidenziare l'importanza del dato sperimentale acquisito con il rilevamento di campagna. Pertanto, la Cartografia Idrogeologica sperimentale proposta in questo studio è stata preparata come sovrapposizione di diversi livelli informativi, da cui sono quindi derivati documen-

ti distinti, ciascuno dei quali mostra particolari aspetti delle caratteristiche idrogeologiche locali. Il documento fondamentale è la "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali", cui si affiancano, come elementi a margine, la riproduzione a scala ridotta della "Carta dell'Idrologia di superficie" e del "Modello Idrogeologico Concettuale" dei differenti acquiferi riconosciuti, in modo da poter avere un quadro d'insieme ottimale. Nel documento proposto figurano anche alcuni profili idrogeologici che evidenziano la distribuzione dei principali acquiferi riconosciuti, le differenze di potenziale tra i vari acquiferi e l'influenza esercitata dalle barriere idrauliche.

Con particolare riguardo alla legenda dei complessi idrogeologici riportati nell'allegato cartografico, sono stati rappresentati:

- con una duplice simbologia i complessi carbonatici sede preferenziale del processo di infiltrazione (un retino indicativo del complesso ed un colore nei toni del rosso che mostra l'entità dell'Infiltrazione Efficace calcolata). È evidente che uno stesso complesso può essere rappresentato da diversi toni di rosso relativi a differenti valori dell'Infiltrazione Efficace, in funzione dello stato di alterazione prodotto dalla tettonica e dell'entità dei locali afflussi meteorici;

- con un colore pieno i complessi che non sono sede del processo di infiltrazione e sostengono o limitano gli acquiferi riconosciuti (nei toni del grigio o del verde se sussiste *drainance*);

- con un retino rosso i complessi che rivestono un ruolo secondario nell'economia idrogeologica regionale (es. coperture recenti);

- senza colore specifico ma solo con il relativo retino i complessi che definiscono l'assetto geologico strutturale ed idrogeologico dell'area, ma che non sono stati oggetto di uno studio quantitativo e per i quali non è stato possibile allestire il Modello Idrogeologico Concettuale dato che si sviluppano in parte oltre i limiti dell'area di studio.

Inoltre, un cenno merita anche l'inserimento di un sovrassetto indicante le zone soggette ad intensa laminazione, per l'effetto che questo processo comporta rispetto all'alterazione delle caratteristiche idrogeologiche originali delle rocce che ne sono interessate.

Infine, è stato sottolineato come sia necessario il dettaglio dell'informazione acquisita per mezzo di campagne di misura in alveo con cadenza mensile, rispetto a quello ottenibile da campagne con periodicità stagionale, per poter identificare con un'adeguata definizione gli apporti di acque di superficie e di acque sotterranee che alimentano il fiume. La raccolta di misure di campo mensili

facilita, inoltre, la valutazione dell'attendibilità delle portate misurate (loro coerenza nello spazio e nel tempo) e permette di meglio definire l'andamento delle portate e di individuare con maggiore precisione il momento di massima magra e quello di piena.

Ringraziamenti

Si ringraziano la Dott.ssa S. PIERDOMINICI ed il Dott. N. DANIELE per la collaborazione al rilevamento idrogeologico svolto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza". Si ringrazia inoltre il Dott. M. ROMA per la revisione tecnico-scientifica dell'allestimento cartografico e dell'informatizzazione dei dati idrogeologici.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINI A. (1994) - *Contributo all'idrogeologia del bacino del Fiume Fiastrone*. Tesi di Laurea. Università di Roma "La Sapienza".
- AMBROSETTI P., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1981) - *Schema di evoluzione neotettonica dell'area Umbro-Marchigiana tra il Tronto e il Metauro*. Rend. Soc. Geol. It., **4**, 471-475.
- ANNALI IDROLOGICI (1921 - 1992) - *Parte prima e parte seconda (sezioni di Bologna e Roma)*. Servizio Idrografico Ministero dei Lavori Pubblici, anni 1921-1992, Roma.
- BARCHI M., MINELLI G. & PIALI G. (1996) - *Tettonica dell'Appennino settentrionale alla luce dei risultati del CROP 03*. Abstract Convegno: "Presentazione dei risultati del profilo sismico CROP 03". Roma, novembre 1996, 11-12.
- BONI C.F., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) - *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio*. CNR.
- BONI C.F., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 991-1012.
- CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & MICARELLI A. (1986) - *Evoluzione tettonico-sedimentaria dell'area umbro-marchigiana dal Trias al Pleistocene*. Da: "La Geologia delle Marche", Studi Geol. Camerti, numero speciale in occasione del 73° Congresso della Società Geologica Italiana, Roma 30 settembre-4 ottobre 1986, 89-90.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 311-316.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Evoluzione strutturale neogenico-quadernaria dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale: "La Geologia delle Marche", 91-98.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1988) - *The arcuate shape of the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Tectonophysics, **146**, 139-147.
- CALAMITA F., PIZZI A. & TOSTI A. (1990) - *Blind-thrust: esempi nell'appennino Umbro-Marchigiano*. Carta allegata "Le associazioni strutturali di Monte Patino e di Monte Fema". Studi Geol. Camerti Vol. speciale 1990, 57-67.
- CALAMITA F., DEIANA G., INVERNIZZI C. & PIZZI A. (1991) - *Tettonica*. Da: "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato Urbanistico, (Ed.) S.EL.CA. (FI), 67-80.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (1992) - *Tettonica quadernaria nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale 1992/I, 17-25.
- CALAMITA F., PIZZI A. & ROSCIONI M. (1992) - *I fasci di faglie recenti ed attive di M. Vettore - M. Bove e di M. Castello - M. Cardosa (Appennino umbro-marchigiano)*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale 1992/I, 81-95.
- CALAMITA F., COLTORTI M., FARABOLLINI P. & PIZZI A. (1994) - *Le faglie normali quadernarie nella dorsale appenninica umbro-marchigiana: proposta di un modello di tettonica di inversione*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale, CROP 18, 211-226.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (1994) - *Recent and active extensional tectonics in the southern Umbro-Marchean Apennines (Central Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 541-548.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A. & PIERUCCINI U. (1971) - *Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, **1**, 7-90.
- CENTAMORE E., JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1972) - *Modello strutturale umbro-marchigiano. Correlazione con le regioni adiacenti*. Boll. Serv. Geol. d'It., **93**, 155-188.
- CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - *Il Trias-Paleogene delle Marche*. Da: "La Geologia delle Marche", Studi Geol. Camerti, numero speciale in occasione del 73° Congresso della Società Geologica Italiana, Roma 30 settembre-4 ottobre 1986, 9-27.
- CENTAMORE E. & MICARELLI A. (1991) - *Stratigrafia*. Da: "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato Urbanistico (Ed.), 1-66, S.EL.CA. Firenze.
- CENTAMORE E., PAMBIANCHI G., DEIANA G., CALAMITA F., CELLO G., DRAMIS F., GENTILI B. & NANNI T. (1991) - *Foglio 2, scala 1:100.000*. Da: "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato Urbanistico (Ed.), S.EL.CA., Firenze.
- CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A., MORETTI A. & PIERUCCINI U. (1976) - *Geologia dei Monti Sibillini nord-orientali*. Studi Geol. Camerti, **2**, 7-44.
- COOPER J.C. & BURBI L. (1986) - *The geology of the central Sibillini Mountains*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 323-347.
- COSENTINO D. (1986) - *Alti strutturali mesozoici e loro implicazioni geodinamiche durante la tettonogenesi dell'Appennino centrale: un esempio nei M.ti Sibillini meridionali*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 349-356.
- DAMIANI A.V. (1975) - *Aspetti geomorfologici e possibile schema evolutivo dei Monti Sibillini (Appennino umbro-marchigiano)*. Boll. Serv. Geol. It., **46**, 231-314.
- DECANDIA F.A. (1982) - *Geologia dei Monti di Spoleto (provincia di Perugia)*. Boll. Soc. Geol. It., **101**, 291-315.
- DRAMIS F. & DEIANA G. (1972) - *Le sorgenti della provincia di Macerata*. Cam. Comm. Ind. Artig. e Agr. di Macerata, vol. **1-2**, Macerata.
- ELTER P., GIGLIA C., TONGIORGI M. & TREVISAN L. (1975) - *Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the Northern Apennines*. Boll. Geofis. Teor. Appl., **17**, 3-19.
- FARABOLLINI P., PAMBIANCHI G. & PARIS E. (1990) - *Segnalazione di sedimenti eolici nei pressi di Bolognola (Monti Sibillini, Appennino Umbro-Marchigiano)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **13-1**, 83-85.
- KOOPMAN A. (1983) - *Detachment tectonics in the Central Apennines, Italy*. Geol. Ultraiectina, **30**, 1-155.
- LAVECCHIA G. (1979) - *Analisi cinematica del sovrascorrimento del F. Fiastrone (Sibillini nord-orientali)*. Boll. Soc. Geol. It., **98**, 457-468.
- LAVECCHIA G. (1981) - *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano. 3 - Lo stile deformativo*. Boll. Soc. Geol. d'It., **100**, 271-278.
- LAVECCHIA G. (1985) - *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It., **104**, 161-194.

- LAVECCHIA G., BARCHI M. & BROZZETTI F. (1994) – *Recent tectonics and active stress field in the Umbria – Marche Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 535-537.
- LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1981) – *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano. 1 – Il basamento*. Geologica Romana, **20**, 183-195.
- 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*. Quad. SGN Serie III, **5**, IPZS, Roma.
- MERLA G. (1951) – *Ricerche tettoniche nell'Appennino settentrionale*. Boll. Soc. Geol. d'It., **70**, 95-382.
- MIGLIORINI C.I. (1948) – *I cunei composti nell'orogenesi*. Boll. Soc. Geol. d'It., **67**, 29-142.
- NANNI T. (1991) – *Idrogeologia*. Da: "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato Urbanistico (Ed.), 115-209, S.EL.CA. Firenze.
- NAPPI F. (1994) – *Contributo all'idrogeologia dell'alto bacino del Fiume Chienti*. Tesi di Laurea. Università di Roma "La Sapienza".
- PARISI G. (1994) – *Le successioni pelagiche del dominio umbro-marchigiano*. In: Guide Geologiche Regionali (Soc. Geol. It.) **N.7**, Ed. BE-MA, 31-36.
- PERRONE E. (1910) – *Reno, Lamone, Fiumi Uniti, Savio, Marecchia, Foglia, Metauro, Esino, Potenza, Chienti, Tenna, Aso ed altri minori. Pozzi artesiani della pianura emiliana, dal Panaro alla Marecchia e del litorale Adriatico, da Porto Corsini a Pesaro*. Min. Agr. Ind. e Comm., Mem. Illustrative della Carta idrografica d'It., **35**, Roma.
- PIALLI G. (1971) – *Facies di piana cotidale nel Calcere Massiccio dell'Appennino umbro-marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., **90**, 481-507.
- SCARSELLA F. (1946) – *Di un motivo tettonico dell'Appennino centrale Umbro-Marchigiano*. Boll. Soc. Geol. d'It., **65**, 21-23.
- SCARSELLA F. (1951a) – *Un aggruppamento di pieghe dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Boll. Serv. Geol. d'It., **73**, 307-320.
- SCARSELLA F. (1951b) – *Sulla zona d'incontro dell'Umbria e dell'Abruzzo*. Boll. Serv. Geol. d'It., **71**, 155-166.
- SELLI R. (1950) – *I caratteri geologici della regione marchigiana*. Giornale di Geologia, serie 2, **21**, 99-125.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – *Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 - Foglio geologico n. 124 Macerata (1967)*, IPZS, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – *Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000-Foglio geologico n.132 Norcia (1941)*, IPZS, Roma.
- TARRAGONI C. (2001) – *Modello Concettuale e simulazione numerica delle condizioni di flusso degli acquiferi dell'alto bacino del Fiastrone (Sibillini nord-orientali)*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- TARRAGONI C. (2005) – *Definizione dell'assetto idrogeologico dei Monti Sibillini e sua verifica col contributo della simulazione numerica delle condizioni di flusso e dell'idrologia isotopica*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- ZOLLET D. (2001) – *Modello Idrogeologico Concettuale delle pendici nord-occidentali dei Monti Sibillini*. Tesi di Laurea, Università di Roma "La Sapienza".

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. - PREMESSA

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

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

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

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

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. - MONTI DEL MATESE

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

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

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

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

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

2.2. - MONTE TOTILA

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

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

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

3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

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

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

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

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

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

L'idrostruttura carbonatica dei Monti del Matese (CIVITA, 1969; CHIOCCHINI, 1972; CELICO, 1978, 1983a, 1983b; CORNIELLO *et alii*, 1988; CASALE & CELICO, 1995; CELICO & MUSILLI, 2005; CELICO *et alii*, 200; PETRELLA *et alii*, 2007; PETRELLA *et alii*, 2008; PETRELLA *et alii*, 2009; PETRELLA & CELICO, 2009) mostra anch'essa la coesistenza di numerose scaturigini, tra le quali quelle ad alta quota mostrano una notevole potenzialità, a differenza di quanto constatato nell'area campione di Monte Totila. Inoltre, la loro distribuzione spaziale, vista alla luce dell'assetto geologico-strutturale, consentirebbe, allo stato attuale, di ipotizzare l'esistenza, in alcuni casi, di ampi corpi idrici sotterranei d'alta quota, caratterizzati da una configurazione a "serbatoi in serie".

Tuttavia, soprattutto in virtù dei relativamente brevi tempi di residenza delle acque sotterranee all'interno dell'acquifero, tali scaturigini si mostrano altamente vulnerabili all'inquinamento, con particolare riferimento a quello microbiologico (CELICO *et alii*, 2004a; CELICO *et alii*, 2004b; CELICO & NACLARIO, 2005; CELICO *et alii*, 2007a; CELICO *et alii*, 2007b; CELICO *et alii*, 2008; NACLARIO *et alii*, 2008; NACLARIO & CELICO, 2009; NACLARIO *et alii*, 2009a; NACLARIO *et alii*, 2009b).

4. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. - IDRODINAMICA SOTTERRANEA NELLE AREE DI STUDIO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.1. - MONTI DEL MATESE E PIANA DI BOIANO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.1.2. - Piana di Boiano

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

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

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

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

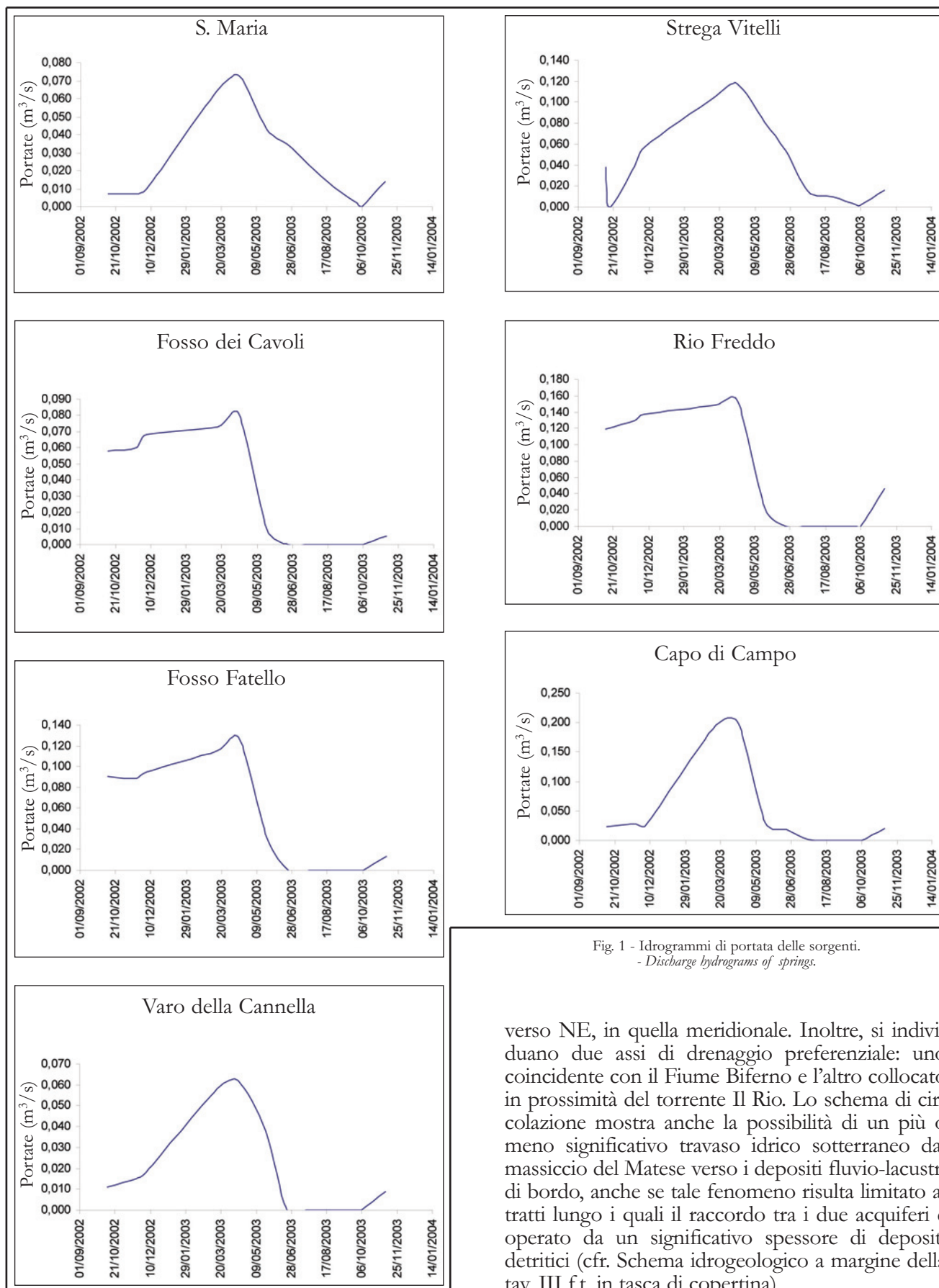


Fig. 1 - Idrogrammi di portata delle sorgenti.
- Discharge hydrograms of springs.

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

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

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

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

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

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

5.1.3. - *Torrente Lorda*

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

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

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

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

Tab. 5 - *Misure di portata del Torrente Lorda (sez. 1 e 2) e degli affluenti (sez. 3 e 4).*

- Discharge value of Torrente Lorda (gauge stations N. 1 and N. 2) and of its tributaries (gauge stations N. 3 and N. 4).

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

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

5.2. - MONTE TOTILA E PIANA DEL FIUME SORDO

5.2.1. - Sorgenti dell'idrostruttura carbonatica di Monte Totila

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

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

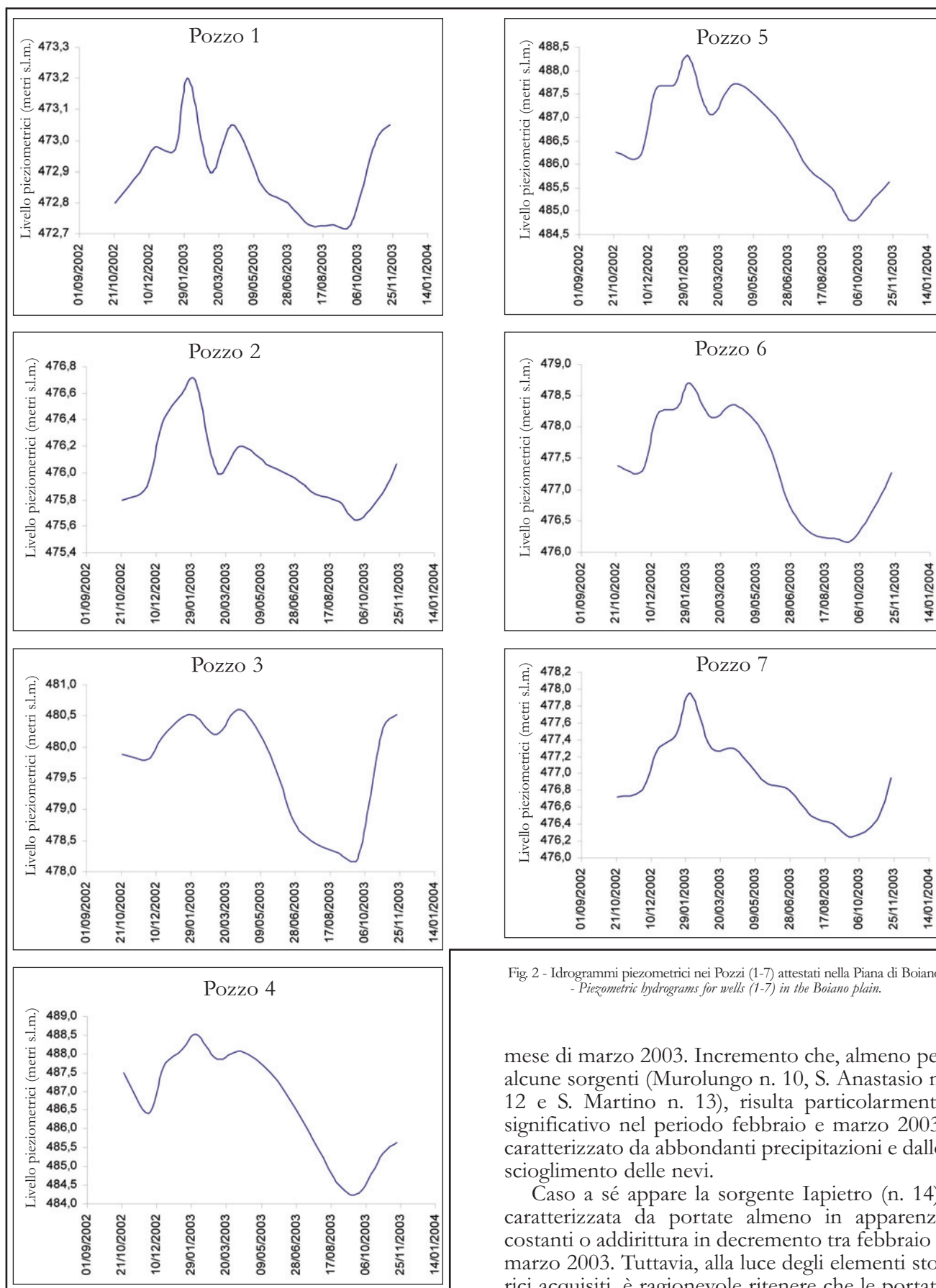


Fig. 2 - Idrogrammi piezometrici nei Pozzi (1-7) attestati nella Piana di Boiano.
- Piezometric hydrograms for wells (1-7) in the Boiano plain.

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

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

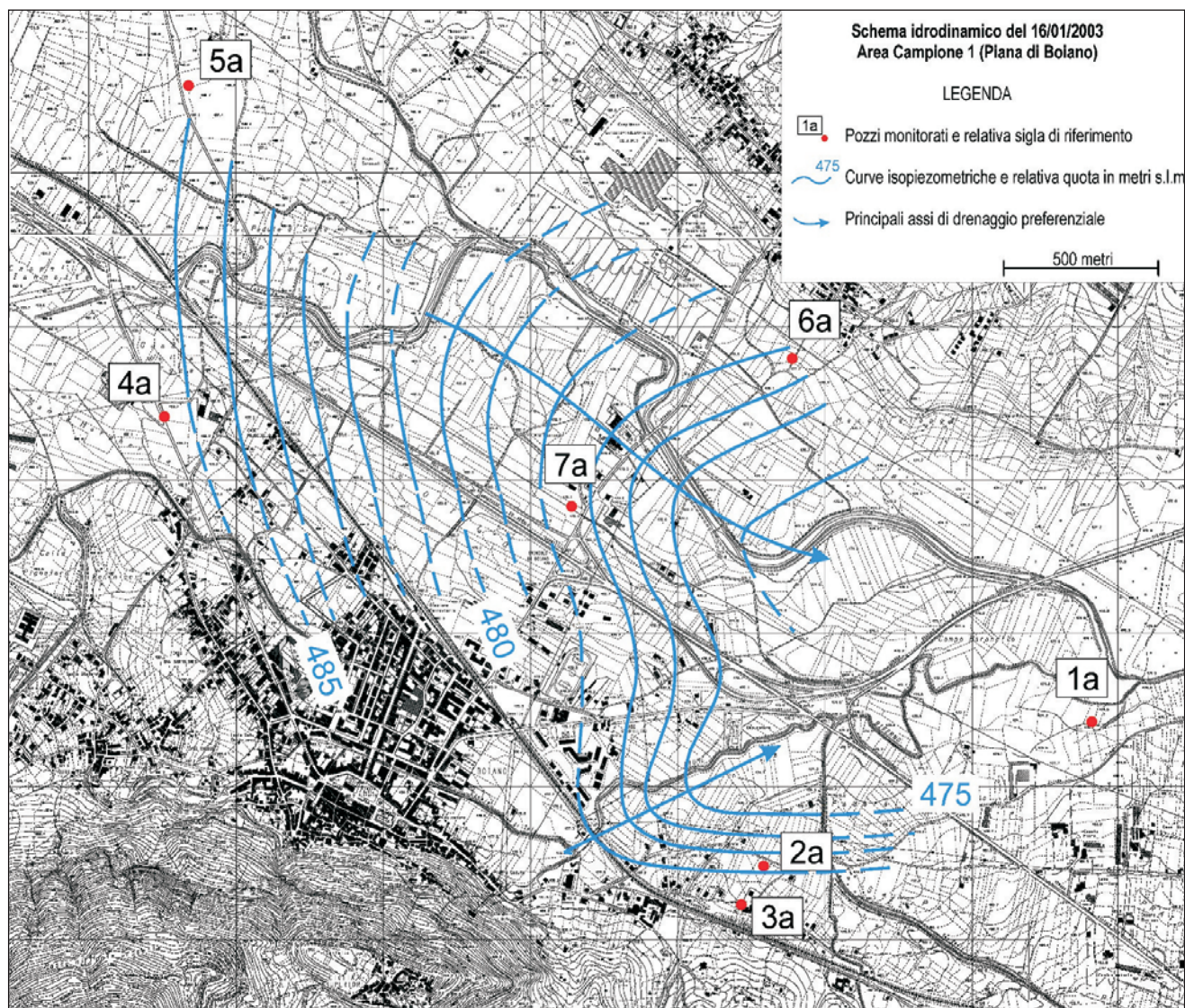


Fig. 3 - Morfologia piezometrica e assi di drenaggio sotterraneo (frecche blu) nella Piana di Boiano nel periodo di morbida (16/01/2003).
- Water table and groundwater flow directions (blue lines with arrows) in the Boiano Plain during high-flow period (measured 16/01/2003).

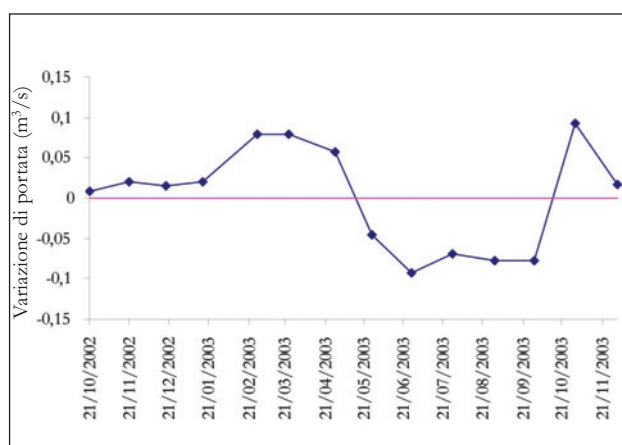


Fig. 4 - Variazioni di portata tra falda idrica e Torrente Lorda. La linea viola indica la situazione di equilibrio tra falda e corso d'acqua.
- Variation of discharge exchange between groundwater and Torrente Lorda. The violet line shows the balance situation between groundwater and the watercourse.

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

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

SORGENTE GRUPPO CASTALDE

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

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

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

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

SORGENTE MUROLUNGO

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

SORGENTE FONTE CICCONE

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

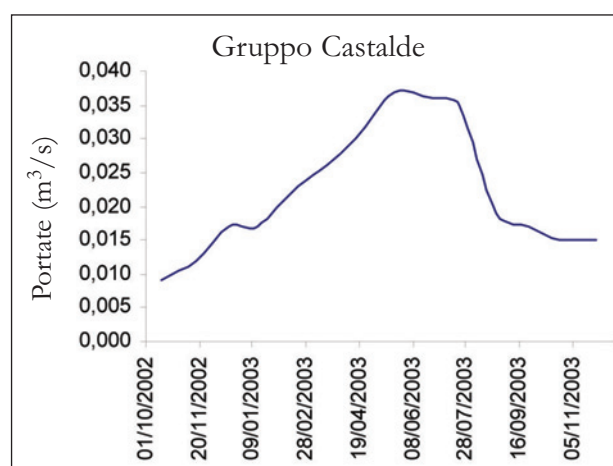


Fig. 5 - Idrogramma di portata del Gruppo sorgivo Castalde.
- Discharge hydrogram of Castalde spring group.

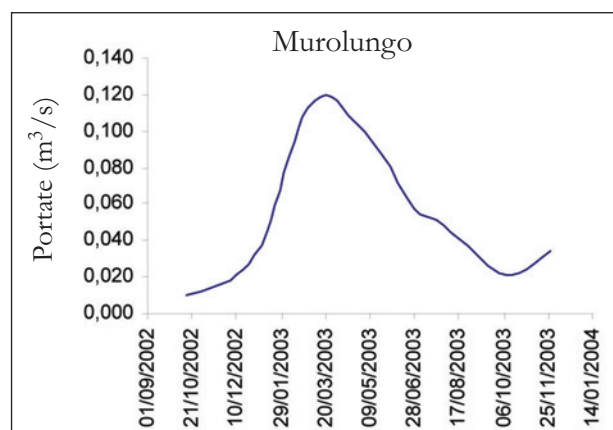


Fig. 6 - Idrogramma di portata della sorgente Murolungo.
- Discharge hydrogram of Murolungo spring.

GRUPPO SORGIVO CARPINONE

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

SORGENTE S. ANASTASIO

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

SORGENTE S. MARTINO

La sorgente S. Martino (fig. 10) mostra caratteri simili a quelli delle altre sorgenti dell'idrostrut-

tura carbonatica di Monte Totila s.l., con elevati valori dell'Indice di Meinzer (240%) e del coefficiente di esaurimento ($9,52 \times 10^{-3} \text{ g}^{-1}$). Il confronto con i dati storici pone in evidenza che alcuni fenomeni di ricarica relativamente rapidi, identificabili attraverso un monitoraggio settimanale, non sono distinguibili mediante un passo di misurazione mensile, quale quello adottato in questa sede.

SORGENTE IAPIETRO

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

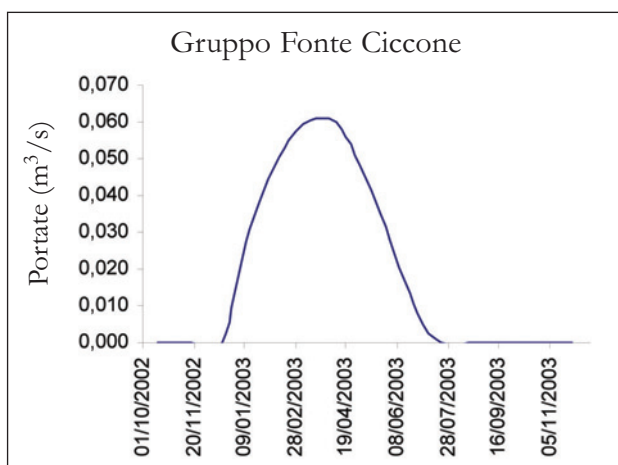


Fig. 7 - Idrogramma di portata della sorgente Fonte Ciccone.
- Discharge hydrogram of Fonte Ciccone spring.

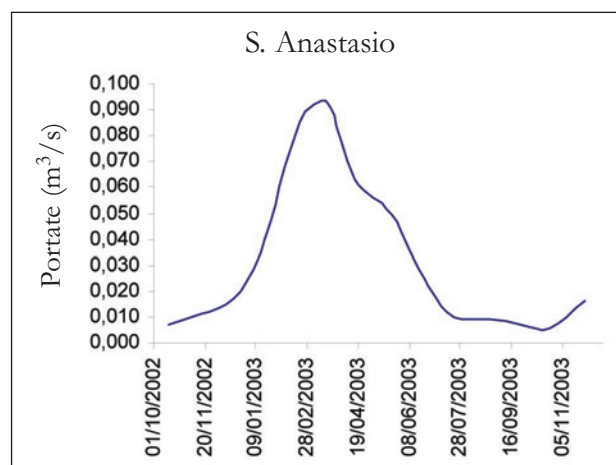


Fig. 9 - Idrogramma di portata della sorgente S. Anastasio.
- Discharge hydrogram of S. Anastasio spring.

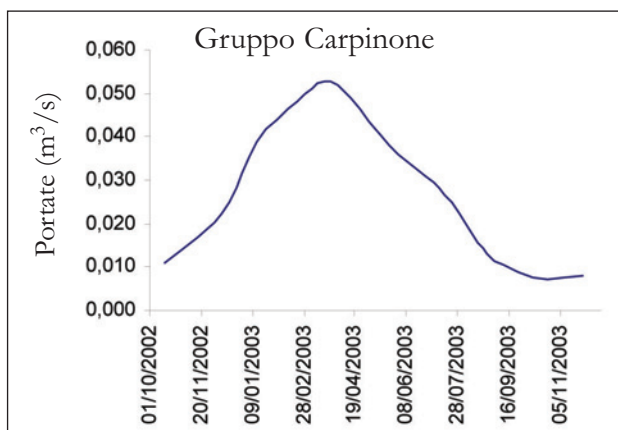


Fig. 8 - Idrogramma di portata del Gruppo sorgivo Carpinone.
- Discharge hydrogram of Carpinone spring group.

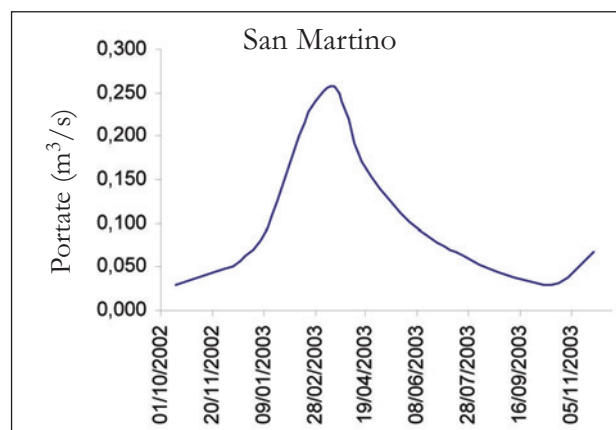


Fig. 10 - Idrogramma di portata della sorgente S. Martino.
- Discharge hydrogram of S. Martino spring.

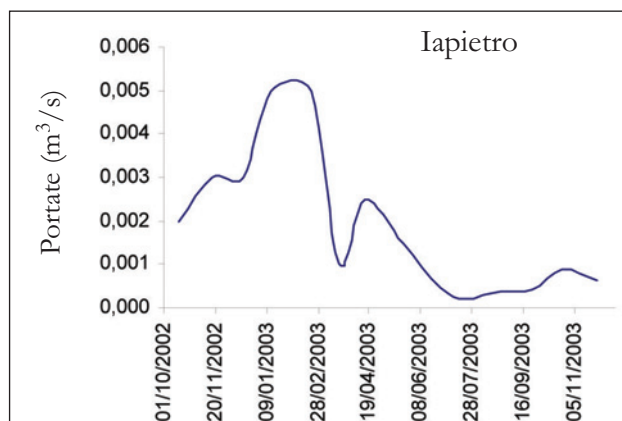


Fig. 11 - Idrogramma di portata della sorgente Iapietro.
- Discharge hydrogram of S. Iapietro spring.

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

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

5.2.2. - Piana del Fiume Sordo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tab. 8 - *Coefficienti di esaurimento relativi ai pozzi della piana del Fiume Sordo.*

- Water table depletion coefficient in the monitored wells of the Fiume Sordo Plain.

COEFFICIENTI DI ESAURIMENTO	
Pozzo	α (g ⁻¹)
8	3,30x10 ⁻⁵
9	1,02x10 ⁻⁵
10	1,89x10 ⁻⁵
11	2,52x10 ⁻⁵
12	1,09x10 ⁻⁵
13	1,02x10 ⁻⁵
14	7,08x10 ⁻⁶
15	1,57x10 ⁻⁵
16	2,03x10 ⁻⁵
17	2,39x10 ⁻⁵
18	2,12x10 ⁻⁵
19	2,81x10 ⁻⁵
20	1,25x10 ⁻⁵

Tab. 9 - *Dati di portata del Fiume Sordo.*

- Discharge data of the Fiume Sordo.

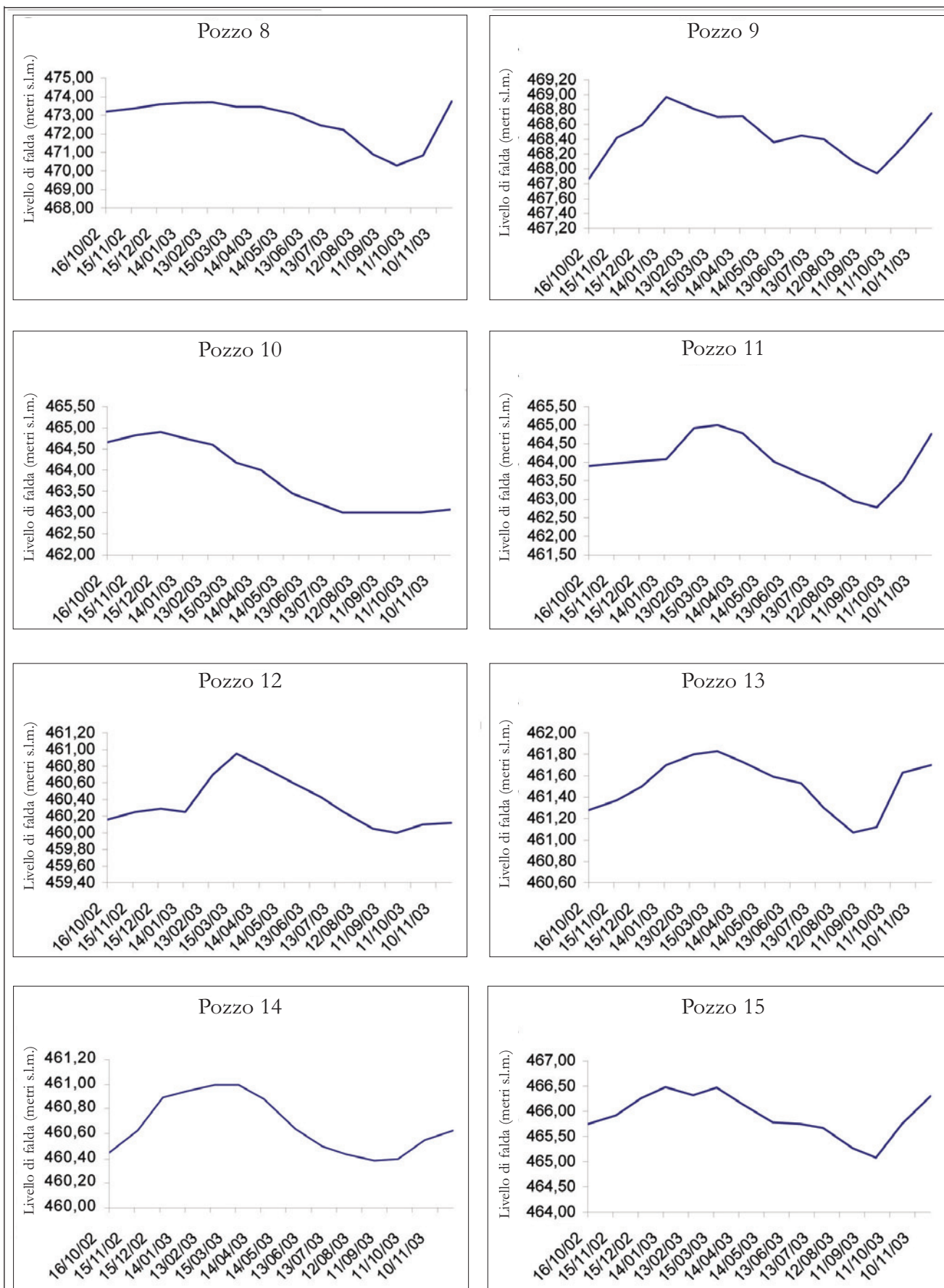
Data	Portata (m ³ /s)	
	Sez. 5	Sez. 6
15/10/2002	0,030	0,034
17/11/2002	0,043	0,046
17/12/2002	0,057	0,061
14/01/2003	0,095	0,098
21/02/2003	0,229	0,220
20/03/2003	0,255	0,259
15/04/2003	0,171	0,165
22/05/2003	0,112	0,106
27/06/2003	0,078	0,080
22/07/2003	0,063	0,062
26/08/2003	0,045	0,039
25/09/2003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

6. - CONSIDERAZIONI DI SINTESI

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

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

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



segue

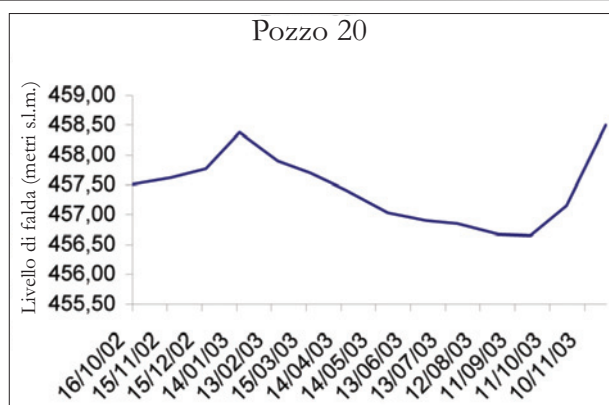
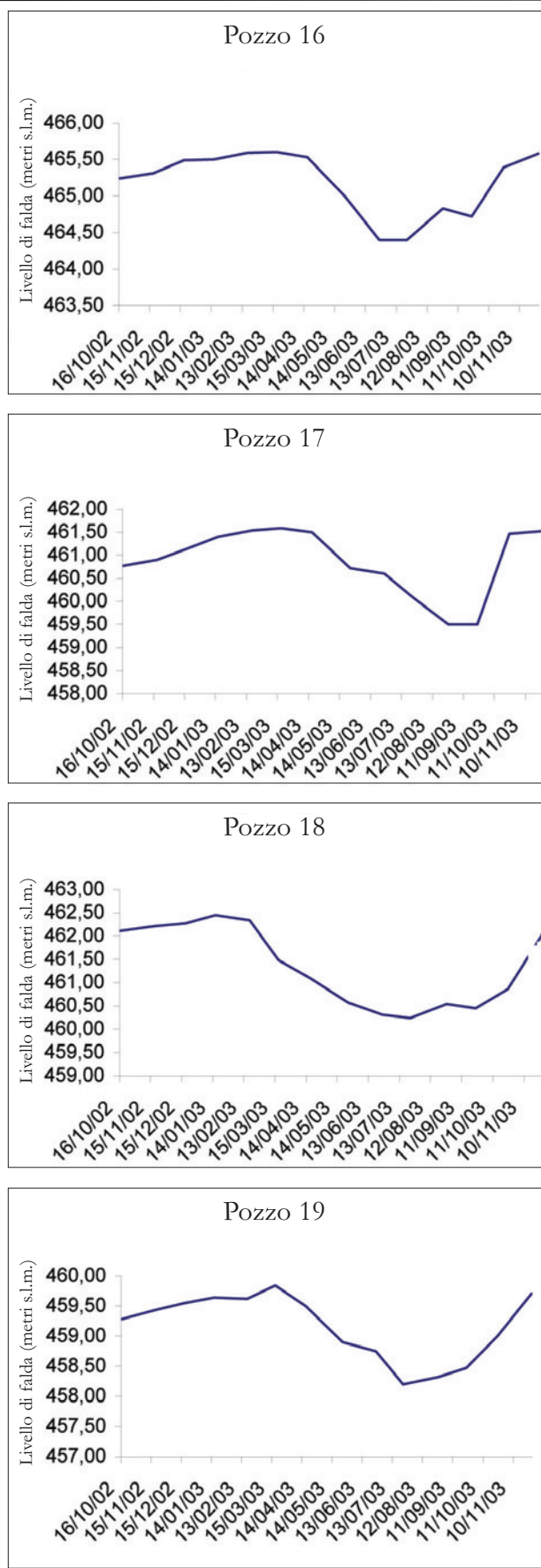


Fig. 12 - Idrogrammi piezometrici nei pozzi della Piana del Fiume Sordo (8-20, ubicati nelle figure 13, 14).

- Piezometric hydrograms of the monitored wells in the Fiume Sordo Plain (8-20, locations in figures 13, 14).

da regimi variabili ed, in parte, da regimi modulati;

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

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

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

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

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

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

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

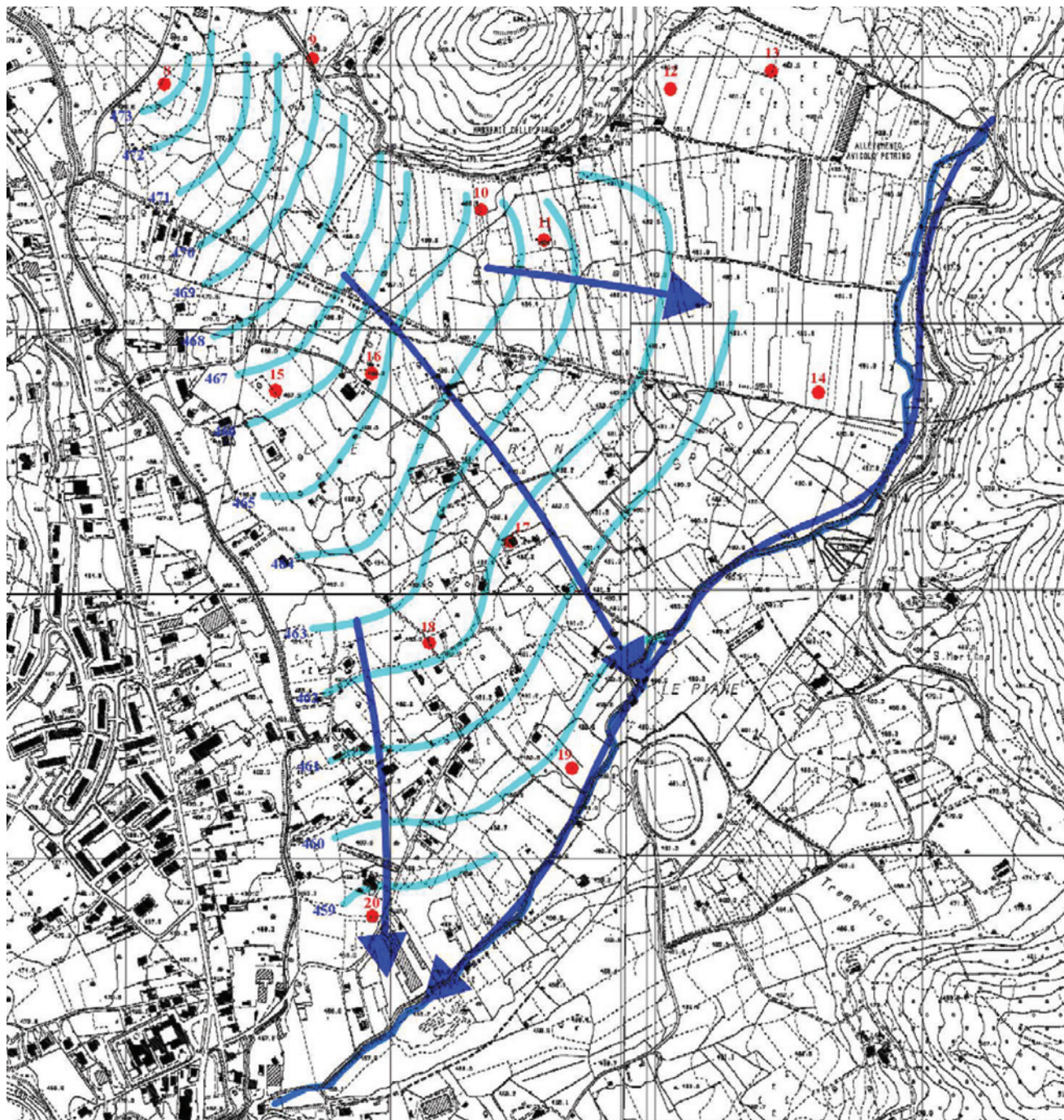


Fig. 14 - Morfologia piezometrica e assi di drenaggio sotterraneo (freccie blu) nella Piana del Fiume Sordo nel periodo di morbida (16/01/2003). La maglia del reticolato di riferimento è di 1 km.

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

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

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

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

idrici sotterranei trascurabili o nulli tra sottobacini limitrofi).

- Limite di travaso idrico sotterraneo tra bacini idrogeologici adiacenti.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

nologia. In dettaglio:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOGRAFIA

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

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

Cartografia idrogeologica sperimentale della Piana Reatina (Lazio)

*Experimental hydrogeological cartography
of the Rieti Plain (Latium)*

MARTARELLI L. (*), PETITTA M. (**),
SCALISE A.R. (*), SILVI A. (*)

RIASSUNTO - La Piana Reatina è composta di sedimenti alluvionali plio-quadernari, bordati da rilievi costituiti da depositi detritici, calcarei e marnosi. Le caratteristiche idrogeologiche generali, e in particolare la presenza nell'area in rilievo di acquiferi in parziale continuità idraulica con le acque sotterranee della pianura, determinano l'interesse scientifico dello studio di quest'area campione.

Lo studio si è sviluppato attraverso le seguenti fasi: a) identificazione dei complessi idrogeologici; b) acquisizione di dati climatici e idrologici disponibili; c) censimento di punti d'acqua (pozzi e sorgenti) e misure di portata fluviali, in diverse campagne; d) rappresentazione dei dati acquisiti attraverso un sistema informativo territoriale; e) ricostruzione della circolazione idrica sotterranea e delle sue interazioni con le acque superficiali.

La sperimentazione sul campo ha consentito di verificare l'applicabilità dell'impianto complessivo della "Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" e la sua utilità ed efficacia per la definizione e la rappresentazione delle caratteristiche delle acque sotterranee.

L'ipotesi dell'esistenza di contributi di travasi sotterranei dalle dorsali carbonatiche ai depositi della Piana Reatina, pressoché già delineata in studi precedenti, è confermata dalla distribuzione delle emergenze ai margini della

piana stessa. Anche in virtù della ridotta profondità del substrato in molti settori, è plausibile che siano presenti non trascurabili travasi sotterranei dal complesso calcareo e calcareo-marnoso verso la piana, anche per il tramite del complesso detritico a permeabilità variabile. Il deflusso sotterraneo che avviene attraverso i depositi detritici e di conoide generalmente alimenta sorgenti poste alla base dei rilievi. I contributi sotterranei della dorsale carbonatica possono avvenire anche più in profondità, con probabili travasi.

I rapporti tra i corsi d'acqua presenti e la falda idrica della Piana Reatina sono variabili nello spazio e nel tempo ed è stato discusso il loro ruolo nella distribuzione della risorsa idrica sotterranea.

Sono stati infine considerati alcuni degli elementi che partecipano al bilancio idrogeologico dell'area, tra cui le precipitazioni, stimate in 1100 mm/anno, l'evapotraspirazione reale, risultata circa 600 mm/anno ed il ruscellamento superficiale, che si attesta sui 300 mm/anno. In definitiva, l'aliquota destinata all'infiltrazione, è relativamente bassa rispetto agli altri elementi coinvolti nell'equazione del bilancio idrico (circa 200 mm/anno).

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia, Cartografia idrogeologica, Piana Reatina.

(*) ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo
(**) Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

ABSTRACT - The Rieti Plain is composed by Plio-Quaternary alluvial sediments and is bordered by reliefs composed of detritic, calcareous and marly deposits. The overall hydrogeologic features, and in particular the partial hydraulic continuity between the aquifer occurring in the calcareous-marly reliefs and the groundwater in the alluvial and fluvial-lacustrine plain, have supported the selection of this area for testing the Italian guidelines for the hydrogeological survey and mapping at the 1:50,000 scale.

The study was carried out as follows: i) definition of the hydrogeologic complexes; ii) collection of climatic and hydrologic information; iii) well and spring census and stream gauging measurement in various field surveys; iv) graphic and cartographic representation by a Geographic Informative System specifically elaborated; v) groundwater flow reconstruction and definition of its hydraulic exchanges with surface waters.

The groundwater transfer from the carbonatic reliefs to the Rieti Plain deposits, nearly already defined by previous studies, is demonstrated by the diffuse occurrence of springs along the plain border. This transfer, since the calcareous bedrock is at a shallow deep along this border, is likely significant and mainly occur from the calcareous and calcareous-marly complexes toward the plain, also through the detritic complex terrains, characterized by variable permeability. This groundwater transfer through the detritic and fan deposits generally feed springs situated at the relief foot. The groundwater transfer may occur also at higher depths.

The hydraulic relationships between streams and groundwater in the Rieti Plain are variable considering site and time and their relevance regarding groundwater resource distribution have been discussed.

Finally, some of the main elements characterizing the hydrogeologic budget of the area (rainfall: about 1100 mm/year; actual evapotranspiration: about 600 mm/year; runoff: about 300 mm/year) have been estimated. The infiltration amount is relatively lower with respect to the other elements (about 200 mm/year).

KEY WORDS: Hydrogeology, Hydrogeological Cartography, Rieti Plain.

1. - INTRODUZIONE

L'area della Piana Reatina è rappresentata da un settore di pianura colmato da sedimenti alluvionali plio-quaternari, bordato da rilievi collinari e montuosi costituiti da depositi detritici, calcarei e marnosi. L'area, ad eccezione dell'abitato di Rieti, è caratterizzata da una limitata utilizzazione del territorio ai fini abitativi ed è in parte sede di specifiche attività agricole e, in minor misura, industriali.

Le caratteristiche idrogeologiche generali, e in particolare la presenza nell'area in rilievo di acquiferi in parziale continuità idraulica con le acque sotterranee della pianura, nonché la presenza di un sensibile impatto ambientale sulle risorse idriche sotterranee, determinano l'interesse scientifico della sperimentazione in quest'area campione.

Il presente lavoro si è avvalso dei dati di campagna di una serie di studi a carattere idrogeologico, di cui alcuni inediti, svolti dagli autori nell'area campione della Piana Reatina (CACCIUNI *et alii*, 2002; D'ARMENTO, 2004; RIVELLINO, 2004; BRUNETTI 2006), che sono stati qui rappresentati cartograficamente allo scopo di sperimentare la "Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" (Quad. SGN n.5, MARI *et alii*, 1995) cercando di approfondire le problematiche connesse ai seguenti specifici aspetti.

Lo studio si è sviluppato a partire dall'acquisizione del quadro geologico-strutturale di riferimento e di quello idrogeologico regionale risultante da studi precedenti, attraverso i seguenti punti: a) identificazione dei complessi idrogeologici affioranti e presenti in profondità; b) acquisizione di dati climatici e idrologici disponibili; c) censimento di punti d'acqua (pozzi e sorgenti) e misure di portata fluviali, in diverse campagne; d) rappresentazione dei dati acquisiti attraverso un sistema informativo territoriale; e) ricostruzione della circolazione idrica sotterranea e delle sue interazioni con le acque superficiali.

La sperimentazione sul campo ha consentito di verificare l'applicabilità dell'impianto complessivo della "Guida" e la sua utilizzabilità ed efficacia per la definizione e la rappresentazione delle caratteristiche delle acque sotterranee. La cartografia proposta vuole rappresentare una sintesi degli elementi idrogeologici d'interesse: a) che consideri gli aspetti quantitativi della risorsa; b) che individui le modalità di monitoraggio più idonee anche ai fini della tutela delle acque; c) che derivi da un sistema informativo territoriale aggiornabile e integrabile.

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La piana reatina (figura 1, 2 e cartografia allegata) si sviluppa a N e a NO dell'abitato di Rieti con una superficie di circa 90 km². L'area è delimitata a N e a E dalle propaggini occidentali del gruppo montuoso del Terminillo, a O e a S dai versanti orientali della catena dei Monti Sabini. All'interno della piana s'individuano alcuni rilievi collinari (Montecchio 481 m s.l.m., Colle Terria 404 m s.l.m., Colle S. Pastore 412 m s.l.m., Montisola 428 m s.l.m.), allineati in direzione N-S, che dividono longitudinalmente la pianura in due aree di differente estensione. Nel settore NO sono presenti due laghi (Lago Lungo e Lago di Ripasottile) di limitata profondità, residuo del lago reatino i cui depositi colmano l'attuale pianura.

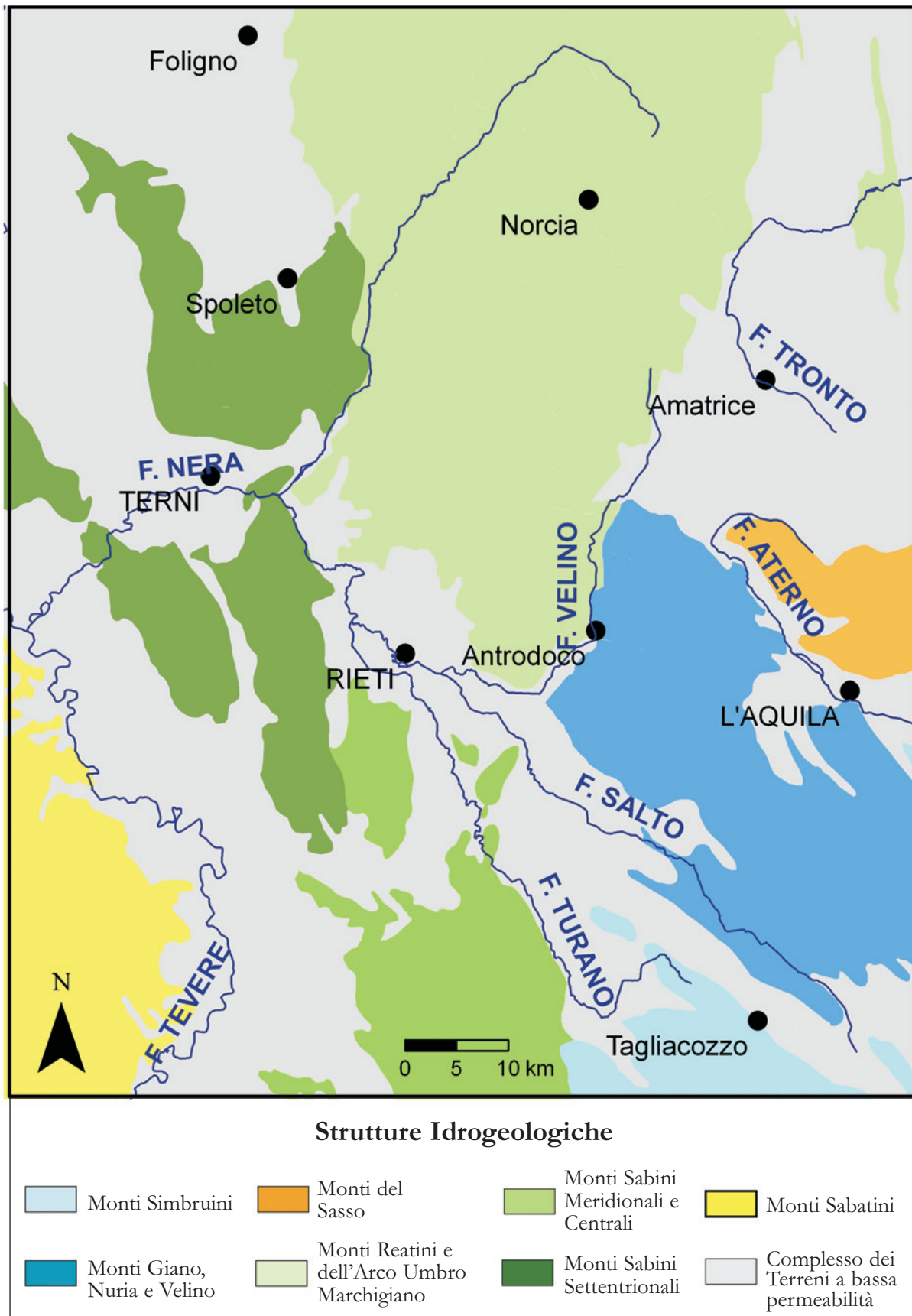


Fig. 1 - Schema idrogeologico delle strutture limitrofe all'area reatina e sabina (modificato da BONI et alii, 1986).
 - Hydrogeologic sketch map of the surrounding structures of the Rieti and Sabina area (modified after BONI et alii, 1986).

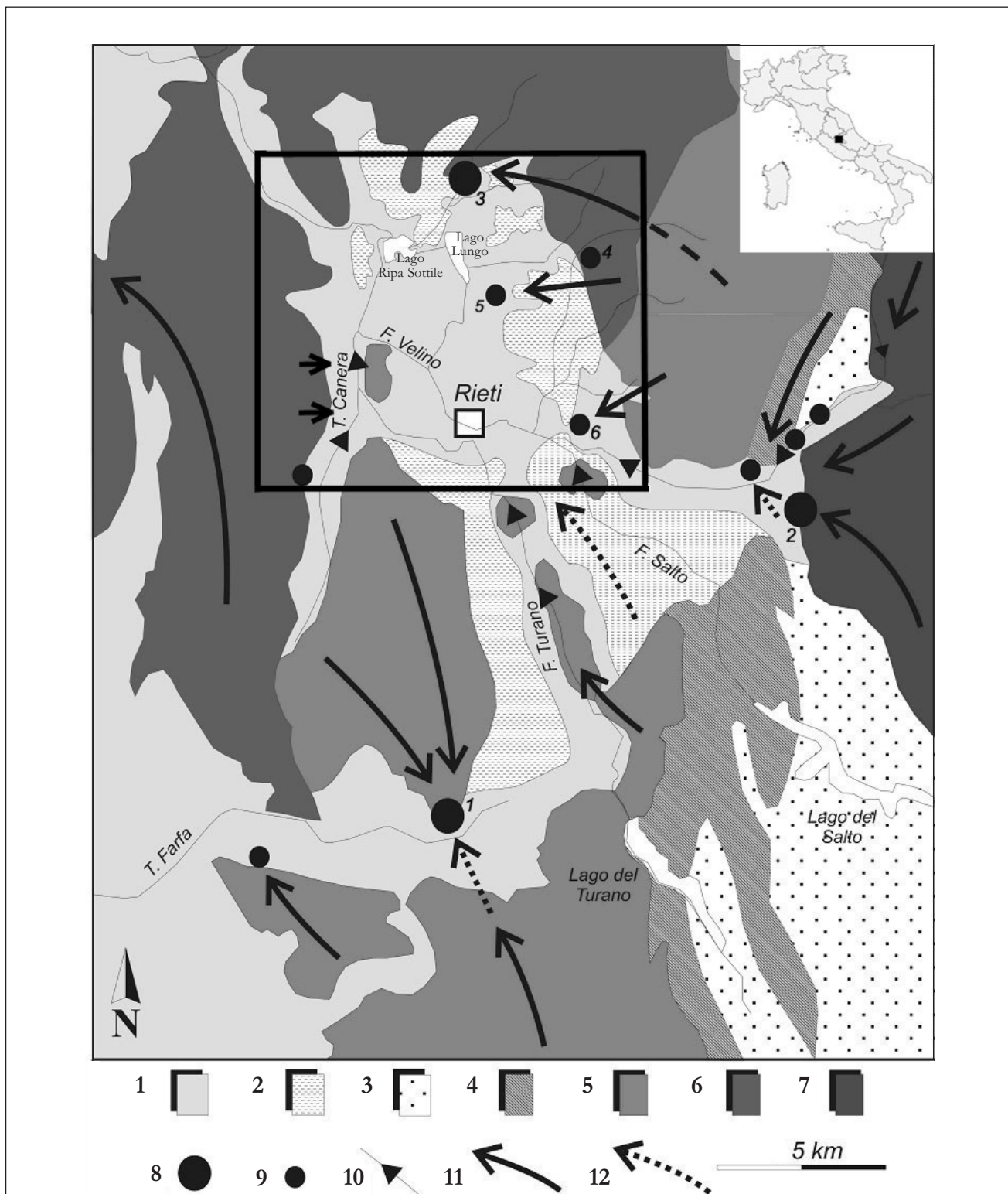


Fig. 2 - Schema idrogeologico dell'area reatina e sabina; il rettangolo evidenzia l'area di studio. Legenda: 1 - Depositi fluvio-lacustri quaternari del bacino tibero e reatino; 2 - Depositi detritici e fluvio-lacustri antichi; 3 - Depositi terrigeni torbiditici; 4 - Depositi calcareo-marnosi cenozoici; 5 - Depositi carbonatici meso-cenozoici in facies umbro-sabina; 6 - Depositi carbonatici meso-cenozoici in facies umbra; 7 - Depositi carbonatici in facies di piattaforma; 8 - Sorgenti basali con portata media maggiore di $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (principali emergenze - 1: Le Capore, 2: Peschiera, 3: S. Susanna); 9 - Sorgenti basali di portata media compresa tra circa 0.1 e $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (principali emergenze - 4: S. Liberato; 5: Vicenna Riara; 6: Cantaro); 10 - Sorgente lineare; 11 - Direzione di flusso delle acque sotterranee (a tratteggio se incerte); 12 - Direzione di flusso delle acque sotterranee in strutture idrogeologiche non affioranti.

- Hydrogeologic sketch map of the Rieti and Sabina area; the rectangle shows the study area. Legend: 1 - Quaternary fluvial-lacustrine deposits of the Tiber and Rieti basins; 2 - Old detritic and fluvial-lacustrine deposits; 3 - Turbiditic terrigenous deposits; 4 - Cenozoic calcareous-marly deposits; 5 - Meso-Cenozoic carbonatic deposits of the Umbrian-Sabina facies; 6 - Meso-Cenozoic carbonatic deposits of the Umbrian facies; 7 - Carbonatic deposits of platform facies; 8 - Main basal springs with a mean discharge $> 5 \text{ m}^3/\text{s}$ (1: Le Capore, 2: Peschiera, 3: S. Susanna); 9 - Basal springs with a mean discharge between about 0.1 and $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (4: S. Liberato; 5: Vicenna Riara; 6: Cantaro); 10 - Linear spring; 11 - Groundwater flow directions (dashed when not well defined); 12 - Groundwater flow directions in not cropping hydrogeologic structures.

La piana reatina, disposta con un asse NNO-SSE alla confluenza dei Fiumi Velino, Salto e Turano costituisce una depressione caratterizzata da un'evoluzione tettonica recente, colmata prevalentemente da sedimenti continentali di età plio-quadernaria di circa 500 m di spessore massimo (MANFREDINI, 1972; COSENTINO *et alii*, 1991; CICCOLELLA *et alii*, 1993), con termini conglomeratici più antichi e limoso-argillosi più recenti. La deposizione all'interno del bacino, bordato da alti strutturali caratterizzati da formazioni marine calcaree e marnose di facies umbra, di età triassico-eocenica, è stata guidata dall'attività del sistema di faglie (BARBERI & CAVINATO, 1993) che ne delimitavano il margine orientale. In particolare, in località San Gregorio e Castelfranco, tra la vasta piana alluvionale ad O e i rilievi del gruppo del M. Terminillo ad E, affiorano sedimenti lacustri ghiaioso-sabbiosi con intercalazioni argillose. L'area in studio è bordata dai terreni della successione sabina e di transizione (CIVITELLI *et alii*, 1986; CORDA & MARIOTTI, 1986; COSENTINO & PAROTTO, 1986; GALLUZZO & SANTANTONIO, 2002). Si tratta di una successione di termini calcareo-silico-marnosi interessata a vari livelli da notevoli quantità di materiale detritico, anche grossolano, qualitativamente e quantitativamente variabili spostandosi dalle zone più prossime alla piattaforma carbonatica laziale-abruzzese verso le aree interne del bacino. In particolare, marne, calcari marnosi e calcari con selce, afferenti alle formazioni della "Corniola", "Rosso Ammonitico", "Maiolica" e "Scaglia" sono presenti prevalentemente sul bordo occidentale e nord-orientale della piana. A NE e ad E della Piana Reatina tali litotipi sono sovrapposti a depositi calcarei, talora dolomitici con tracce di carsificazione, afferenti alla formazione del "calcare massiccio".

Nel settore della Piana Reatina ricorrono varie superfici tettoniche, tra cui l'evidente superficie di sovrascorrimento che rappresenta una linea tettonica d'importanza regionale (COSENTINO *et alii*, 1991; COSENTINO & PAROTTO, 1986) che, con andamento meridiano, decorre dal margine occidentale della conca reatina proseguendo sia a N sia a S con una pendenza variabile ed immersione verso ovest. L'area in studio è stata sottoposta ad un'intensa tettonica traslativa (MANGANELLI & FARAMONDI, 1990) e successivamente ad una fase di tettonica distensiva di età plio-quadernaria (SERVA & SALVINI, 1972; SALVINI & VITTORI, 1982; CAVINATO & TOZZI, 1986).

Riguardo alla genesi della Piana Reatina, è stato evidenziato il ruolo fondamentale svolto dalla tettonica, prima compressiva e poi distensi-

va, per la formazione di una struttura riconducibile a quella di un semigraben, di cui il sistema di faglie N160 rilevato sul suo margine orientale costituisce la *master fault* (ACCORDI & CARBONE, 1986; CAVINATO *et alii*, 1989; COSENTINO *et alii*, 1991), riempito da sedimenti villafranchiani di facies di conoide alluvionale e di facies fluviale e lacustre che indicano un reticolo idrografico ed una paleogeografia diversi dall'attuale (BARBERI & CAVINATO, 1993; FERRELLI *et alii*, 1993; BRUNAMONTE *et alii*, 1994; GUERRIERI *et alii*, 2004). L'attuale assetto della piana reatina risale invece al Pleistocene medio a seguito di nuovi eventi tettonici distensivi orientati N-S e la cui *master fault* è posizionabile in corrispondenza del margine occidentale del bacino villafranchiano (MICHETTI *et alii*, 1993; BRUNAMONTE *et alii*, 1994; GUERRIERI *et alii*, 2004). Almeno dal Pleistocene medio fino all'Olocene l'evoluzione geomorfologica della Piana Reatina è stata controllata dallo sviluppo lungo la valle del Fiume Velino di sbarramenti naturali di travertino, i più importanti dei quali si rinvennero nelle località Marmore, alla confluenza del F. Velino con il F. Nera che avviene con una cascata di 160 m di dislivello, e nella località Tre Strade (oggi Quattro Strade). Il progressivo innalzamento di detti sbarramenti, protrattosi durante il periodo storico (LEGGIO & SERVA, 1991) ha determinato, a monte, la formazione di bacini fluvio-lacustri e palustri più o meno estesi, nei quali sono stati riconosciuti i resti di cinque ordini di depositi terrazzati disposti rispettivamente a circa 520, 500, 480, 440, 420 m s.l.m. (CARRARA *et alii*, 1993; CARRARA *et alii*, 1995; SOLIGO *et alii*, 2002) incisi nei terreni villafranchiani e post-villafranchiani. In detti bacini sono stati depositi sedimenti sabbioso-limoso-calcarei interdigitati con travertini stromatolitici e fitoermali (FERRERI, 1985; CARRARA *et alii*, 1995).

3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Un inquadramento idrogeologico a vasta scala delle strutture limitrofe all'area reatina e sabina è riportato in figura 1. L'assetto idrogeologico della valle reatina è fortemente influenzato dall'idrodinamica sotterranea regionale dell'area sabina-reatina, che presenta quattro grandi emergenze della falda basale, di portata media elevata, ognuna alimentata da una differente struttura carbonatica (fig. 2): a nord-est le sorgenti di S. Susanna, ubicate al contatto tra i Monti Reatini e la Piana Reatina (5 m³/s); ad est la Piana di S. Vittorino sede delle Sorgenti del Peschiera e di altre numerose emergenze, per un totale di circa 30 m³/s

(BONI *et alii*, 1995); a sud le sorgenti Le Capore, portata media 5 m³/s, nella valle del Torrente Farfa; a nord-ovest le gole di Montoro-Stifone, sede dell'omonima sorgente lineare di portata media pari a 15 m³/s (BONI *et alii*, 1986).

Le maggiori strutture idrogeologiche (fig. 3) che alimentano queste importanti sorgenti sono

quindi rappresentate principalmente dagli acquiferi carbonatici, prevalentemente della Serie Umbro-Sabina, e comprendono i Monti Giano-Nuria-Velino (di piattaforma carbonatica), la dorsale dei Monti Sabini Centrali e quella dei Monti Sabini Settentrionali (M. Tancia-M. Pizzuto) e i Monti Reatini.

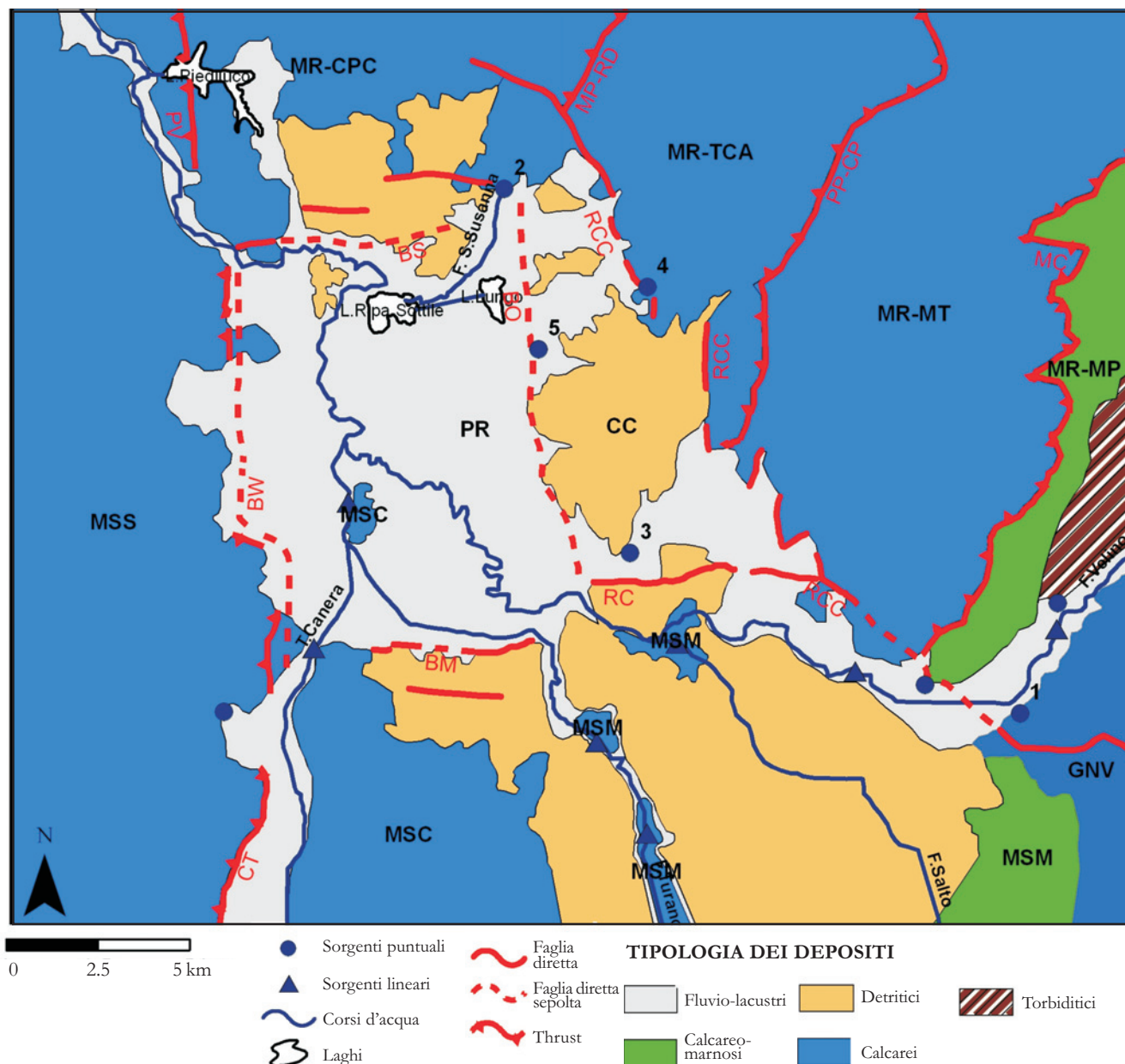


Fig. 3 - Schema delle strutture idrogeologiche dell'area reatina. Strutture idrogeologiche distinte: PR: Piana Reatina e valli limitrofe; MR: Monti Reatini (Sottostrutture: CPC: Cima del Carpellone-M. La Pelosa-M. Castiglione; TCA: M. Tilia-M. Corno-Cima d'Arme; MT: M. Terminillo; MP: M. Porillo); MSS: Monti Sabini settentrionali; MSC: Monti Sabini centrali; MSM: Monti Sabini meridionali; CC: Cantalice-Castelfranco; GNV: Giano-Nuria-Velino. Linee tettoniche: BS: Bordiera settentrionale; BW: Bordiera occidentale; BM: Bordiera meridionale; BO: Bordiera orientale; MP-RD: M. La Pelosa-Rivodutri; PP-CP: Piedelpoggio-Cupaello; MC: Micigliano-Castel S. Angelo; RCC: Rivodutri-Cantalice-Cittaducale; RC: Rieti-Cittaducale; PV: Piediluco-Valnerina; CT: Contigliano-M. Tancia. Sorgenti puntuali principali: 1: Peschiera; 2: S. Susanna; 3: Cantaro; S. Liberato; 5: Vicenna Riara.

- Hydrogeologic structure sketch in the Rieti area. Hydrogeologic structures: PR: Rieti Plain and neighbouring valleys; MR: "Monti Reatini" (substructures: CPC: "Cima del Carpellone-M. La Pelosa-M. Castiglione"; TCA: "M. Tilia-M. Corno-Cima d'Arme"; MT: "M. Terminillo"; MP: "M. Porillo"); MSS: "Monti Sabini settentrionali"; MSC: "Monti Sabini centrali"; MSM: "Monti Sabini meridionali"; CC: "Cantalice-Castelfranco"; GNV: "Giano-Nuria-Velino". Tectonic lines: BS: "Bordiera settentrionale"; BW: "Bordiera occidentale"; BM: "Bordiera meridionale"; BO: "Bordiera orientale"; MP-RD: "M. La Pelosa-Rivodutri"; PP-CP: "Piedelpoggio-Cupaello"; MC: "Micigliano-Castel S. Angelo"; RCC: "Rivodutri-Cantalice-Cittaducale"; RC: "Rieti-Cittaducale"; PV: "Piediluco-Valnerina"; CT: "Contigliano-M. Tancia". Main springs: 1: Peschiera; 2: S. Susanna; 3: Cantaro; S. Liberato; 5: Vicenna Riara.

La Piana di S. Vittorino è sede di numerose sorgenti, in parte direttamente alimentate dall'acquifero dei Monti Giano-Nuria-Velino, la cui più importante emergenza è rappresentata dalle Sorgenti del Peschiera, parzialmente captate per l'approvvigionamento idrico della città di Roma (9 m³/s su 18 di portata media complessiva). L'acquifero di piattaforma carbonatica, tramite un deflusso idrico sotterraneo nel sottosuolo della Piana, alimenta anche sorgenti ubicate sul bordo settentrionale della Piana di S. Vittorino, tra cui quelle di S. Vittorino, di Cotilia e di Paterno. Queste sorgenti presenti sul limite settentrionale della piana di S. Vittorino ricevono con tutta probabilità contributi anche dalle propaggini orientali dei Monti Reatini, avendo come area d'alimentazione i carbonati presenti al letto del sovrascorrimento Olevano-Antròdoco (PETITTA *et alii*, 2003; PETITTA, 2009). Inoltre, la complessa tettonica della Piana di S. Vittorino, responsabile della risalita di fluidi gassosi mineralizzanti ricchi soprattutto in CO₂ e in H₂S, influenza la sopra descritta circolazione idrica sotterranea, determinando la mineralizzazione solfurea e ferruginosa di alcune sorgenti, il cui esempio più evidente è dato dalle Terme di Cotilia.

Le sorgenti Le Capore, ubicate nella valle del Torrente Farfa, in prossimità di Frasso Sabino, di portata media pari a 5 m³/s, sono completamente captate per l'approvvigionamento idrico di Roma e hanno un bacino d'alimentazione che comprende tutta la struttura idrogeologica dei Monti Sabini Occidentali, ma che si estende anche verso Est e soprattutto verso Sud, nei Monti Sabini Meridionali (fig. 2).

La circolazione idrica sotterranea nei Monti Sabini Settentrionali è parzialmente separata da quella nei Monti Sabini Centrali e Meridionali attraverso il sistema tettonico che definisce il sovrascorrimento del M. Tancia, determinando un limitato scambio idrico e localmente un probabile limite a flusso nullo. Conseguentemente, il drenaggio della falda basale dei Monti Sabini Settentrionali è indirizzato verso le sorgenti delle Gole di Montoro-Stifone in Umbria, a nord-ovest dell'area in esame, mentre quello della dorsale dei Monti Sabini Centrali verso la Sorgente Le Capore.

La struttura idrogeologica dei Monti Reatini va ad alimentare prevalentemente le sorgenti ubicate al bordo orientale della Piana Reatina (MANFREDINI, 1972; BONI *et alii*, 1995). Tra queste si annoverano la sorgente di S. Susanna (5 m³/s, quota 383 m s.l.m.), ed altre sorgenti di minore portata quali S. Liberato (0,1 m³/s, 580 m s.l.m.) e Vicenna Riara (0,07 m³/s, 374 m s.l.m.)

alla base del versante occidentale del gruppo montuoso del Terminillo e la sorgente del Cantaro (0,5 m³/s, 400 m s.l.m.). Quest'ultima è utilizzata parzialmente dall'acquedotto di Rieti tramite captazione da pozzi.

Ulteriori emergenze di acque sotterranee sono presenti negli alvei dei Fiumi Salto e Turano, nel tratto che va dalle rispettive dighe alla Piana Reatina; queste emergenze, valutate nell'ordine di 0,5 m³/s (BONI *et alii*, 1986), sono alimentate dal substrato carbonatico-marnoso della serie sabina, affiorante a tratti nei fondovalle al di sotto delle coperture plio-pleistoceniche.

Alle descritte strutture idrogeologiche delle dorsali carbonatiche si sovrappone la struttura idrogeologica della Piana Reatina, che prosegue verso il basso nei depositi fluvio-lacustri antichi del Bacino di Rieti (BARBERI & CAVINATO, 1993). I depositi più recenti che affiorano nella piana sono costituiti da limi argillosi e sabbiosi con rare intercalazioni lentiformi a granulometria più grossolana (spessore fino a 80 m) sovrapposti ai terreni calcareo-marnosi della Serie Umbro-Sabina (MANFREDINI, 1972) nel settore occidentale, mentre nel settore orientale sotto i depositi lacustri recenti si trovano fino a 400 m di sedimenti attribuibili ai depositi continentali più antichi. La struttura idrogeologica della Piana, pur essendo dotata di una scarsa permeabilità, è sede di una falda freatica la cui superficie oscilla tra 1 e 4 m dal piano campagna nella zona centrale. All'interno dei depositi fluvio-lacustri antichi, affioranti sul bordo meridionale della piana e nei tratti terminali delle valli di Salto e Turano, è presente una circolazione idrica sotterranea frammentata, dove i livelli limoso-argillosi fungono spesso da limiti di permeabilità locali, dando luogo a falde libere e in pressione di estensione e importanza variabile, con emergenze localizzate di portata ridotta (quasi sempre inferiore ai 10 l/s), spesso captate per uso potabile dai piccoli centri del reatino.

La Piana Reatina presenta una scarsa permeabilità a causa della prevalenza di depositi limoso-argillosi. La presenza del substrato carbonatico umbro-sabino anche a minima profondità sul lato occidentale, l'interdigitazione con i depositi detritici e le conoidi presenti soprattutto sul lato orientale ed, infine, lo scorrimento in superficie dei Fiumi Velino e Turano e del T. Canera (MARTARELLI *et alii*, 2008), rendono complesso il suo ruolo idrogeologico. In linea generale, la struttura idrogeologica della Piana riceve contributi di acque sotterranee prevalentemente dal settore orientale, tramite travasi non quantificati, provenienti dalla struttura idrogeologica dei

Monti Reatini e determinati dal ridotto contrasto di permeabilità tra gli acquiferi carbonatici e i depositi detritici e di conoide. Sono presenti contributi anche sul lato occidentale, dove però la presenza di elementi tettonici e l'affioramento di complessi idrogeologici a bassa permeabilità riduce certamente l'entità degli scambi in gioco. Ciò nonostante, nella Piana è stata identificata una falda freatica in equilibrio dinamico con i corsi d'acqua che la solcano, con cui sono scambiati discreti quantitativi idrici, di entità variabile nel tempo e nello spazio. Secondo MANFREDINI (1972), il deflusso sotterraneo nella struttura della Piana Reatina è stimabile in $1 \text{ m}^3/\text{s}$, come confermato da DI DOMENICANTONIO (2000), mentre il gradiente idraulico pari a 0,2% indica una direzione delle acque da sud verso nord. Nel settore nord-orientale della piana, la falda è richiamata dal Lago di Ripa Sottile, privo di emissario ma fornito di idrovora; nel settore meridionale il Fiume Velino cede acqua alla falda freatica, per poi invece divenire drenante nel settore settentrionale della Piana.

Nell'area di studio è possibile distinguere sorgenti a quota superiore rispetto a quella della piana, ubicate sui rilievi circostanti, e sorgenti pedemontane. La circolazione idrica della piana ha rapporti diretti solo con queste ultime, che sono caratterizzate da portate rilevanti (CACCIUNI *et alii*, 2002).

L'attuale idrografia della piana Reatina è il risultato d'interventi di bonifica che si sono succeduti a partire dal III secolo a.C., e hanno prosciugato l'antico Lago Velino (che raggiungeva quota 375 m s.l.m.) e regolato lo scorrimento delle acque superficiali. A tale proposito, la ricostruzione dell'idrografia della piana reatina in epoca storica ha messo in evidenza: a) variazioni dell'estensione dell'antico Lago Velino, che occupava quasi tutta la piana ed oggi è ridotto a due piccoli specchi d'acqua, legate a motivi sia climatici sia antropici; b) variazioni di percorso degli alvei fluviali e torrentizi e loro pensilità, dovute sia a fenomeni di alluvionamento sia a ripetuti interventi antropici; c) la continua opera di tagli dello sbarramento delle Marmore (Cava Curiana, Cava Gregoriana, Cava Paolina, Cava Clementina) per far defluire le acque della piana (FERRELI *et alii*, 1992; FERRELI *et alii*, 1993); d) il controllo del livello dei due laghi a partire dal 1940. Ulteriori informazioni di carattere più prettamente specialistico e interdisciplinare (paleoambientale, paleoclimatico e cronologico) possono essere rinvenuti in CALDERONI *et alii* (1995).

Il Lago Lungo è attualmente collegato al Lago di Ripa Sottile tramite un canale, ed il Lago di Ripa Sottile confluisce nel Velino attraverso un

canale regolato da una paratia. Il livello del Lago di Ripa Sottile e del Lago Lungo è mantenuto costante (a quota 369 m s.l.m., 2 metri al di sotto del livello naturale) da un sistema di idrovore che scaricano nel F. Velino (LEGGIO & SERVA, 1991; BONI *et alii*, 1995). Le acque della sorgente di S. Susanna sono convogliate nell'omonimo canale che s'immette nel F. Velino a valle della confluenza con il F. Fiumarone. Il regime idrologico della piana reatina è condizionato dagli interventi di bonifica e dall'attività idroelettrica (MANFREDINI, 1972), che hanno determinato il progressivo innalzamento degli alvei del F. Velino e del versante idrografico destro del F. Turano.

4. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Nell'area oggetto di studio sono state identificate, utilizzando le indicazioni della "linee guida" al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia (MARI *et alii*, 1995), diverse associazioni litologiche che, sulla base di comuni caratteristiche idrogeologiche e di simile comportamento idrodinamico, possono essere raggruppate in complessi idrogeologici.

Sono stati distinti 4 complessi relativi ai depositi di copertura recente ed attuale e 4 complessi afferenti al substrato meso-cenozoico. I complessi idrogeologici più recenti governano principalmente il recapito della risorsa idrica sotterranea e sono responsabili dei rapporti tra le acque superficiali e quelle sotterranee. Hanno quindi un importante ruolo idrodinamico e una limitata funzione di stoccaggio. I complessi idrogeologici dei depositi meso-cenozoici rappresentano l'acquifero e l'*aquiclude* della circolazione idrica sotterranea a scala regionale, costituendo rispettivamente il principale serbatoio in grado di immagazzinare oltre alle riserve regolatrici anche le cospicue riserve permanenti e il limite a flusso nullo della circolazione idrica. I valori d'infiltrazione efficace riportati nel presente lavoro sono basati sulle valutazioni di BONI *et alii* (1986), applicate alla valle del Velino da BONI *et alii* (1995), secondo il criterio dell'analisi di bilancio idrogeologico su strutture idrogeologiche chiuse a partire dalle portate erogate (BONI *et alii*, 1986) e sono stati restituiti cartograficamente in figura 4 e a margine della tavola IV f.t. allegata in tasca di copertina.

I complessi idrogeologici riconosciuti sono quindi i seguenti (allegato f.t. in tasca di copertina):

Complesso fluvio-lacustre della Piana Reatina (Olocene). È costituito da alternanze di sedimen-

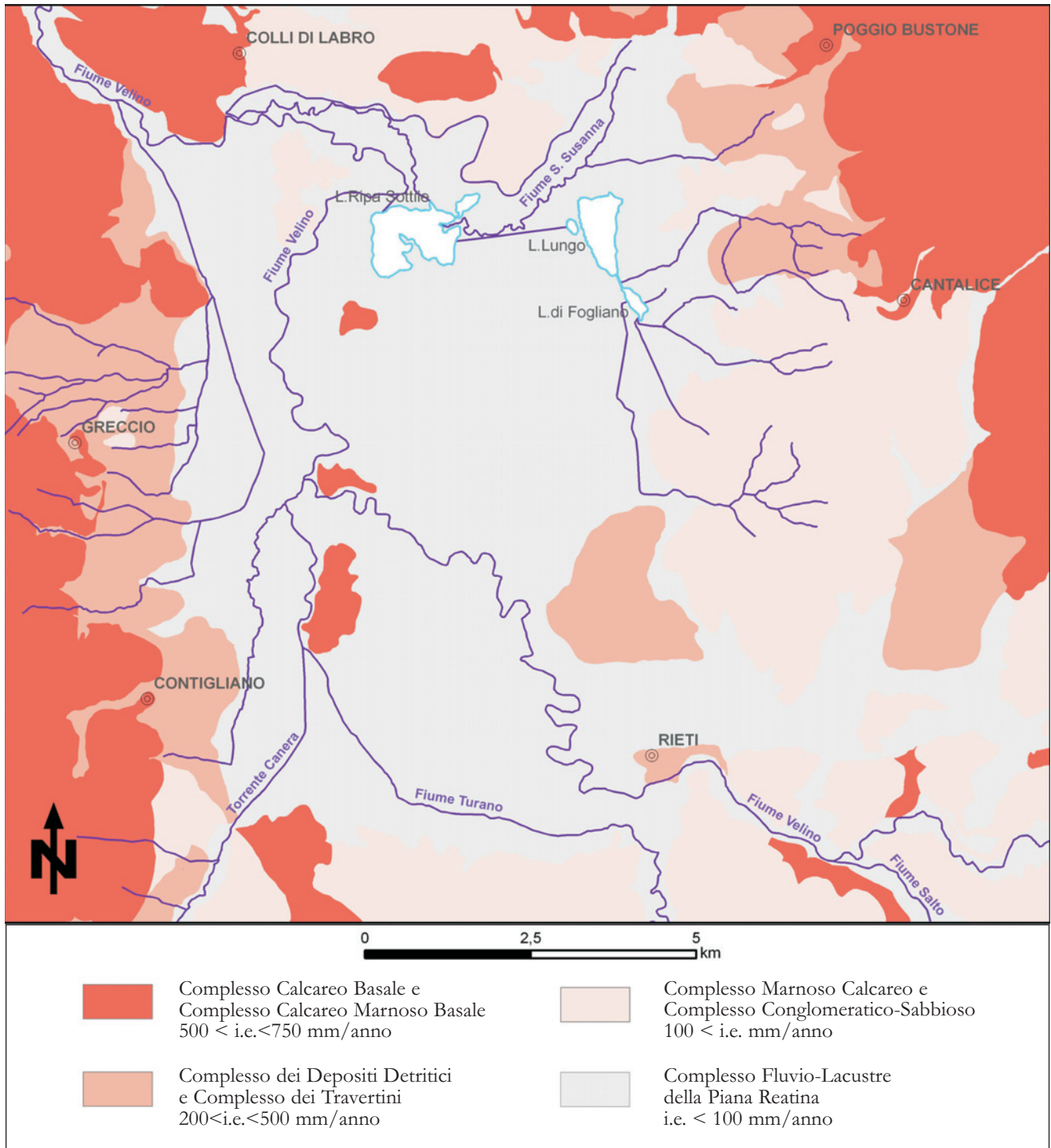


Fig. 4 - Carta schematica dell'infiltrazione efficace potenziale dei complessi idrogeologici nell'area in studio.
- Sketch map of the potential effective infiltration values of the hydrogeological complexes in the study area.

ti a granulometria variabile dalla ghiaia all'argilla, con prevalenza delle frazioni fini e con frequenti intercalazioni di livelli torbosi nerastri e localmente livelli travertinosi. Lo spessore è variabile in funzione dell'articolazione del substrato (massimo 200 m). Costituisce un *aquitard*, presentando

nel complesso una bassa permeabilità, ad eccezione delle intercalazioni ghiaiose, sede di falde alimentate prevalentemente tramite travasi sotterranei. Il complesso ospita falde libere e in pressione di estensione ed importanza variabile in relazione con lo spessore, la litologia e la geometria del

deposito. Infiltrazione efficace: estremamente limitata. Grado di permeabilità relativa: scarso.

Complesso dei depositi detritici (Pleistocene-Olocene). Comprende i detriti di falda e di versante e le conoidi alluvionali antichi e recenti, talvolta cementati, e le coperture eluvio-colluviali. Nelle conoidi, la frazione grossolana (ghiaie calcaree e silicee) prevale nella zona apicale, mentre nella zona distale è prevalente la frazione sabbioso-limosa. La componente eluvio-colluviale è a principale granulometria sabbioso-limosa con inclusi clastici centimetrici. Affiora nelle zone di raccordo tra i rilievi e le aree depresse, dove può raggiungere spessori di qualche decina di metri. Dotato di discreta permeabilità, può ospitare falde a deflusso sotterraneo rapido e di rilevanza locale, principalmente per travaso dagli acquiferi carbonatici. Laddove i detriti sono sostenuti da un substrato a bassa permeabilità, ospitano falde idriche di interesse locale, che alimentano sorgenti poste alla periferia del deposito detritico o acquiferi contigui. Le sorgenti connesse a questo complesso presentano in genere regime variabile, con minimi marcati nella stagione non piovosa. Infiltrazione efficace: variabile tra 200 e 400 mm/anno. Grado di permeabilità relativa: medio.

Complesso dei travertini (Pleistocene-Olocene). I travertini hanno uno spessore variabile da qualche metro a qualche decina di metri, una buona capacità d'immagazzinamento e una limitata estensione. Sono permeabili per porosità e per fratturazione. Contengono una falda libera in continuità idraulica con le acque sotterranee dei depositi alluvionali della pianura. Infiltrazione efficace: circa 400 mm/anno. Grado di permeabilità relativa: medio.

Complesso conglomeratico-sabbioso (Pliocene sup.-Pleistocene). Si compongono di conglomerati poligenici cementati e stratificati, sabbie ed argille sabbiose depositi in un ambiente da conoide alluvionale a fluvio-lacustre. L'analisi delle paleocorrenti riconosciute indica un apporto proveniente da NNE e successivamente da NE ed ESE. Questi sedimenti, affioranti lungo il bordo collinare della piana a NE, a E e a S per una larghezza compresa tra due e cinque chilometri e una potenza di circa 500 m, costituiscono nella parte orientale il substrato della copertura fluvio-lacustre olocenica. La permeabilità è variabile a causa dell'eterogeneità dei sedimenti, più elevata nei termini sabbioso-conglomeratici e meno elevata nei termini argillosi. Ha uno spessore fino a 500 m ed ospita acquiferi d'importanza locale negli orizzonti permeabili. Infiltrazione efficace inferiore ai 200 mm/anno. Grado di permeabilità relativa: scarso.

Complesso marnoso-calcareo (Eocene sup.-Miocene medio). Comprende la Scaglia Cinerea (marne e calcari marnosi detritici con livelli argillosi) ed il Bisciario (calcari marnosi e marne calcaree con livelli marnoso-argillosi). Lo spessore complessivo è prossimo ai 300 m. Costituisce l'*aquiclude* degli acquiferi carbonatici meso-cenozoici e la sua notevole estensione in affioramento determina un limite di permeabilità netto che separa la circolazione nel substrato carbonatico da quella nei complessi detritico-alluvionali. Infiltrazione efficace: inferiore a 200 mm/anno. Grado di permeabilità relativa: scarso.

Complesso calcareo-marnoso (Cretacico medio-Eocene medio). È costituito dalle Marne a Fucoidi (marne, calcari e calcari marnosi selciferi) e da Scaglia Bianca e Scaglia Rossa (calcari marnosi selciferi). Lo spessore complessivo è di circa 400 m. È presente in affioramento sulle dorsali montuose, costituisce l'acquifero carbonatico superiore della zona esaminata. È sede di imponente circolazione idrica sotterranea. La formazione delle Marne a Fucoidi ha una permeabilità molto bassa e costituisce l'*aquiclude* basale delle formazioni calcaree sovrastanti. Le altre formazioni hanno permeabilità molto elevata per fratturazione e carsismo; gli intervalli marnosi possono costituire localmente il livello di base per falde locali e sospese che danno origine a sorgenti di portata variabile da 1 fino a circa 100 l/s. Infiltrazione efficace stimabile in 500-600 mm/anno per i termini carbonatici. Grado di permeabilità relativa: medio.

Complesso calcareo basale (Liassico inf.-Cretacico inf.). Include il Calcare Massiccio (calcari cristallini e brecciati, alta permeabilità per fratturazione e carsismo), Corniola (calcari stratificati con marne argillose alla sommità, permeabilità bassa nella parte sovrastante dove sono prevalenti le marne, medio-alta per fessurazione e carsismo negli orizzonti stratigraficamente più bassi maggiormente calcarei), Rosso Ammonitico (marne e calcari marnosi, nell'insieme poco permeabili), Marne ad Aptici/Diaspri (calcari marnosi con selce, nell'insieme poco permeabili) e Maiolica (calcari a grana fine stratificati, permeabilità elevata a causa di un'intensa fratturazione). L'inserimento delle ultime tre formazioni citate nel presente complesso è giustificato dal fatto che in quest'area di studio le formazioni del Rosso Ammonitico e delle Marne ad Aptici/Diaspri svolgono un limitato ruolo di separazione idraulica tra Maiolica e Calcare Massiccio rispetto ad altri settori limitrofi interessati dalla Serie Umbro-Marchigiana "tipica" (cfr. ad es. BONI *et alii* 1986, 1995). Lo spessore complessivo è di circa 1500 m.

È sede di processi carsici, ospita un esteso acquifero basale che da origine a sorgenti con portate elevate e regimi molto regolari e alimenta il flusso di base dei corsi d'acqua. Infiltrazione efficace: superiore ai 600 mm/anno nei termini carbonatici, inferiore nei termini marnosi. Grado di permeabilità relativa: alto.

Complesso dolomitico (Triassico). Il complesso affiora al di fuori dell'area studiata in vari settori posti a N e ad E. È costituito da dolomie massive che in affioramento si presentano spesso sfarinate e carsificate, con intercalazioni evaporitiche. Rappresenta l'*aquiclude* basale del sistema idrogeologico dell'area, ma nei settori interessati da fratturazione e carsismo può assumere infiltrazione efficace stimabile in 200-400 mm/anno ed un grado di permeabilità relativa medio.

5. - DATI RACCOLTI

Per verificare lo stato delle conoscenze pregresse, per la comprensione del quadro idrogeologico regionale e per il completamento delle informazioni in aree della piana in aree già sufficientemente indagate, sono stati acquisiti i dati geologici, idrologici e idrogeologici disponibili in letteratura, relativi a studi precedenti.

Sono state raccolte informazioni pluviometriche e termometriche (stazioni in località Rieti, Contigliano e Poggio Mirteto), idrometriche e piezometriche (stazioni in località Criano e Chiesa Nuova) presso l'ex-Ufficio Compartimentale di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). Le suddette stazioni hanno fornito dati per un periodo complessivo dal 1921 al 2004 (ANNALI IDROLOGICI, 1921-2004), ma purtroppo non tutte sono state attive ininterrottamente durante quest'intervallo. I dati raccolti in località Rieti considerano le misurazioni relative alla vecchia stazione di Rieti Città ed alla stazione di Rieti Ponte Nuovo, tuttora in funzione. Tali informazioni hanno permesso di inquadrare l'area dal punto di vista idro-meteorologico, in modo da consentire la valutazione dell'entità degli afflussi per i relativi calcoli di bilancio.

È stato condotto un censimento dei punti d'acqua (pozzi e sorgenti) nell'area di studio e sono state realizzate reti di controllo, attraverso più campagne eseguite in diverse stagioni. Nell'ambito del censimento dei punti d'acqua sono state effettuate misure di livello di falda nei pozzi, misure di portata delle sorgenti, analisi *in situ* di temperatura, conducibilità elettrica e pH delle acque. In particolare, le campagne di misura nel settore orientale della Piana, ricadente nel

territorio dei comuni di Rieti, Cantalice, Poggio Bustone e Rivodutri, sono state effettuate (CACCIUNI *et alii*, 2002) tra il 2001 ed il 2002 e sono consistite in: misure di livello di falda in morbida (novembre-dicembre 2001) e magra (luglio 2002) in 68 pozzi e determinazioni *in situ* dei parametri chimico-fisici delle acque; misure mensili di portata e analisi chimico-fisiche *in situ* (da dicembre 2001 a luglio 2002) delle sorgenti principali (San Liberato; Canapine; Vicenna Riara; S. Susanna, solo analisi chimico-fisiche) e di alcune minori ma di potenziale interesse (S. Margherita; Acqua Martina; Capo d'Acqua). Nel settore occidentale i rilievi su sorgenti e pozzi sono stati eseguiti tra il 2002 e il 2003, in periodo di magra (ottobre 2002) e morbida (maggio 2003), con misura dei medesimi parametri chimico-fisici e della portata erogata, per un totale di 25 sorgenti e 75 pozzi, tutti compresi nei territori comunali di Contigliano e Greccio.

Inoltre, per un anno idrologico (da dicembre 2002 a novembre 2003), è stato monitorato in continuo il livello di falda in corrispondenza di un pozzo ritenuto significativo, in funzione della sua profondità, posizione e caratteristiche chimico-fisiche delle acque. I dati relativi alle principali sorgenti dell'area di studio sono riassunti nella tabella 1.

I livelli piezometrici misurati sono stati utilizzati per la costruzione delle curve isopiezometriche, tenendo conto anche del ruolo dei corsi d'acqua superficiali e delle loro possibili interazioni con le acque sotterranee. Poiché i dati piezometrici si riferiscono a pozzi in massima parte privati, questi hanno profondità generalmente non elevata e comunque disomogenea. Di conseguenza, si è dovuto filtrare le informazioni in funzione della loro reale rappresentatività, ad esempio scartando alcuni dati relativi a pozzi molto superficiali. La rappresentazione della superficie piezometrica va quindi riferita alla falda freatica della piana reatina. Nelle zone dove i dati erano scarsi (estremo settore settentrionale e area meridionale nei pressi del Fiume Velino), nella ricostruzione della superficie piezometrica sono stati tenuti in considerazione i rapporti con i corsi d'acqua superficiali e i dati bibliografici riferibili a MANFREDINI (1972).

I dati raccolti sono stati inoltre utilizzati per la valutazione della risorsa idrica disponibile e infine per affinare il modello concettuale di circolazione idrica sotterranea suggerito dagli Autori precedenti e dalla suddivisione in complessi idrogeologici qui proposta, attribuendo alle sorgenti le rispettive aree di alimentazione e verificando i rapporti tra le strutture idrogeologiche carbonatiche del substrato e i depositi di riempimento della piana.

Tab. 1 - *Dati riassuntivi delle principali sorgenti dell'area in studio.*
 - Report of the significant information on the main springs of the study area.

Sorgente	quota (m s.l.m.)	Q media (l/s)	Q max (l/s)	Q min (l/s)	T media (°C)	CE media (μ S/cm)	CE max (μ S/cm)	CE min (μ S/cm)	Q media (l/s) da studi precedenti*
S. Susanna**	383				11	782	788	776	5000
Gruppo Canapine**	377	313	395	252	11	629	753	560	
Vicenna Riara**	374	64	90	40	14	586	629	565	70
S. Liberato**	580	24	28	21	12	310	344	266	100
Gruppo Cantaro*	418								500
Onnina***	414	36	55	18	12	285	290	275	
Riosono***	490	8	9	6	12	301	303	299	
S. Martino***	444	8			13	309			

* e.g., MANFREDINI, 1972; BONI *et alii*, 1995
 ** presente studio (dicembre 2001 - luglio 2002)
 *** presente studio (ottobre 2002 e maggio 2003)

5.1. - IL SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO

È stata operata la selezione, l'elaborazione, l'archiviazione e l'organizzazione delle informazioni raccolte per la realizzazione di un GIS dedicato. I dati sono stati elaborati con il *software* MS-Excel, e quindi estratti in formato dbf per essere importati in un GIS gestito con i *software* ESRI Arcview e ArcGIS.

In particolare, con il *software* GIS sono state georiferiti, attivando un collegamento tra tali elementi e le informazioni contenute nel geodatabase, tutti gli elementi d'interesse idrogeologico (es. stazioni di misura di portata in alveo, stazioni idro-termo-pluviometriche, complessi idrogeologici) e condotte le elaborazioni cartografiche. Il sistema è predisposto per essere interrogato come banca dati.

6. - PRESENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

Dall'analisi dei dati raccolti presso le stazioni termo-pluviometriche di Rieti e Poggio Mirteto (ANNALI IDROLOGICI, 1921-2004) è stato evidenziato che mediamente il mese più freddo è gennaio (minima 1°C, massima 11°C), mentre il mese più caldo è agosto (minima 17°C, massima 33°C).

Inoltre, le precipitazioni medie annue misurate nelle stazioni di Poggio Mirteto, Rieti e Contigliano sono, rispettivamente, 900, 1100 e 1500 mm, con precipitazioni massime in novembre-dicembre e minime in luglio. Ulteriori informazioni sulle caratteristiche termo-pluviometriche dell'area possono essere desunti da MARTARELLI *et alii* (2008). Infine, le variazioni piezometriche della falda freatica rilevate nei pozzi in località Criano e Chiesa Nuova (ANNALI IDROLOGICI, 1921-2004) da gennaio 1999 a dicembre 2001 hanno evidenziato periodi di morbida in novembre-dicembre e di magra in agosto-settembre (CACCIUNI *et alii*, 2002).

Tra le sorgenti ricorrenti nel settore orientale dell'area di studio, solo S. Susanna è ubicata direttamente al contatto col substrato carbonatico e rappresenta una sorgente basale d'importanza regionale; le vicine sorgenti del Gruppo delle Canapine sono probabilmente connesse all'acquifero del complesso calcareo basale, e rappresentano una sorta di trasferimento idrico proveniente dal substrato carbonatico attraverso una conoide sepolta (MANFREDINI, 1972) ed una limitata porzione dei depositi della piana reatina. La sorgente di S. Liberato e altre minori limitrofe hanno caratteristiche di sorgenti legate a falde sospese (acquifero nel complesso calcareo-marnoso sospeso dalla formazione delle Marne a Fucoidi) ed

importanza locale. Queste sorgenti possono essere ricondotte (S. Susanna, Canapine), oppure considerate connesse (S. Liberato), alla struttura idrogeologica M. Tilia-M. Corno-Cima d'Arme, delimitata ad E dalla struttura del Terminillo e da questa separata anche idraulicamente dal sovrascorrimento Piedelpoggio-Cupaello, probabilmente in continuità idraulica (la linea tettonica M. La Pelosa-Rivodutri non le separa completamente) verso W con la struttura idrogeologica Cima del Carpellone-M. La Pelosa-M. Castiglione (fig. 3).

La sorgente di Vicenna Riara, che sgorga da una polla situata verso il centro della piana reatina, deve la sua esistenza ad un trasferimento di acque proveniente dal substrato carbonatico attraverso vie di flusso preferenziali costituite molto probabilmente da conoidi sepolte (MANFREDINI, 1972). Pertanto, la sorgente Vicenna Riara è parzialmente correlata alla struttura idrogeologica M. Tilia-M. Corno-Cima d'Arme, ma probabilmente, è relazionabile anche alla struttura idrogeologica Cantalice-Castelfranco (fig. 3), caratterizzata dai terreni del complesso idrogeologico conglomeratico-sabbioso. Anche altre sorgenti minori (Capo d'Acqua, S. Margherita, Acqua Martina), distinte come sorgenti dei depositi detritici o pedemontani ed in genere connesse ai depositi della piana reatina, possono essere riferite alla suddetta struttura idrogeologica Cantalice-Castelfranco (fig. 3).

Nel settore occidentale della Piana, i contributi di acque sotterranee provenienti dai complessi idrogeologici del substrato sono limitati e non esistono sorgenti basali di importanza regionale. L'assetto geologico-strutturale determina l'emergenza di falde locali al contatto tra il complesso calcareo-marnoso e quello marnoso-calcareo.

Gran parte di queste sorgenti hanno una portata media dell'ordine di 1-5 l/s e i loro parametri chimico-fisici, che presentano minime variazioni stagionali, tradiscono la loro origine da acquiferi carbonatici. Alcune emergenze sono ubicate in corrispondenza di limiti di permeabilità costituiti da lineamenti tettonici, quali i *thrust* principali (zona di S. Filippo). L'emergenza a portata maggiore è quella di S. Croce in Val Canera. Sono poi presenti emergenze locali di portata limitata (inferiore a 0,5 l/s), diffuse nel complesso detritico in corrispondenza delle coperture eluvio-colluviali. Si tratta di emergenze soggette a variazioni stagionali di portata e dei parametri chimico-fisici, altamente vulnerabili all'inquinamento per la scarsa soggiacenza della falda. Contributi sorgivi più ingenti (da 5 a 50 l/s) emergono dalle conoidi appartenenti al complesso detritico, tra cui la più importante è la sorgente Onnina a Contigliano. Si tratta di falde che traggono evidente alimentazio-

ne dal substrato carbonatico, le cui acque vengono localmente drenate dalle conoidi, in assenza di un contrasto di permeabilità tale da impedire il travaso nel complesso detritico. I depositi alluvionali recenti rappresentano il limite di permeabilità di questi acquiferi locali, ma non è escluso che parte della risorsa idrica travasi ulteriormente andando ad alimentare la falda della Piana Reatina. Le caratteristiche chimico-fisiche confermano una probabile provenienza dal substrato carbonatico, mentre il regime di portata e la sua variabilità stagionale sono indicativi di un'area di alimentazione non molto estesa. Anche in questo caso, la risorsa presenta però un elevato grado di vulnerabilità, all'interno del complesso detritico, a causa della scarsa soggiacenza e dell'elevata permeabilità dei depositi, cui si aggiunge la pericolosità determinata dalla presenza delle attività agricole e zootecniche.

L'analisi delle curve isopiezometriche (vedi tav. IV f.t. in tasca di copertina) evidenzia che la falda idrica ha una morfologia convergente, nel complesso, dai rilievi verso la pianura. In particolare, sulla base dei rilievi eseguiti durante luglio 2002 nei pozzi nell'area NE della Piana Reatina, è confermata l'esistenza di assi di drenaggio: a) nel settore E, dalla zona di S. Liberato verso la sorgente Vicenna Riara, con sviluppo da ENE verso WSW; b) nel settore NE, dalla sorgente S. Susanna verso il Lago Lungo, da NNE verso SSW. Invece, nell'area SE della piana l'andamento delle curve isopiezometriche è piuttosto complesso e centripeto in corrispondenza dei depositi travertinosi in località Tre Strade. Infine, nella parte occidentale l'andamento della piezometria, ricostruito sulla base del censimento dei pozzi dell'ottobre 2002, indica chiaramente direzioni di flusso da W verso E, quindi verso la piana, particolarmente riconoscibili: a) da località Capo le Chiuse verso Colle Terria; b) a N di Limiti di Greccio.

7. - CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

Allegata f.t. in tasca di copertina (tav. IV) è rappresentata una cartografia idrogeologica di sintesi dell'area in studio, redatta secondo le indicazioni delle "linee guida" (MARI *et alii*, 1995), dove sono stati evidenziati, tra l'altro, il reticolo idrografico con l'indicazione dei tratti drenanti e disperdenti, le sezioni di misura in alveo, le sorgenti, i complessi idrogeologici distinti.

Le misure di livello di falda nei pozzi della rete preliminare di controllo hanno permesso di ricostruire l'andamento della falda freatica rappresentativa della condizione di magra dell'acquifero della piana e di individuare le principali direzioni di

deflusso delle acque sotterranee. Nel settore orientale, l'analisi delle curve isopotenziali evidenzia un asse di drenaggio principale (da S. Susanna verso il Lago Lungo) con direzione N-S nel tratto più settentrionale e con direzione NE-SO in prossimità del Lago Lungo, e un asse di drenaggio con direzione E-W da Cantalice verso Vicenna Riara. Si evidenzia la presenza di contributi alle acque sotterranee della pianura dai rilievi del settore orientale e la funzione drenante del lago. Nel settore sud-orientale la morfologia centripeta della superficie piezometrica in corrispondenza dei depositi travertinosi, che individua una depressione della falda con massimi di oltre 15 m in un'area di circa 2x2,5 km, è verosimilmente connessa alla concomitanza sia di cause antropiche, ossia al notevole sfruttamento della falda in quest'area per uso residenziale e socio-economico, sia della ricorrenza di periodi particolarmente siccitosi negli anni precedenti i rilievi di campagna. Tale processo esercita un richiamo di eventuali inquinanti provenienti dalle acque del Fiume Velino, situato in corrispondenza del settore SW di tale depressione. È pertanto necessario un approfondimento riguardo alla possibile evoluzione temporale della situazione citata, prendendo in opportuna considerazione le presumibili variazioni annuali degli apporti derivanti dalla ricarica zenitale e l'opportunità di limitare i prelievi in falda.

I gradienti idraulici decrescono con discreta regolarità nel settore settentrionale. Sono stati calcolati gradienti dell'ordine del 10-15‰ tra le curve di quota 390 e 370 m s.l.m. Nel settore di pianura ad E del Lago Lungo sono stati calcolati gradienti dell'ordine del 5-10‰. Nel settore meridionale in corrispondenza dei depositi travertinosi i gradienti idraulici sono più elevati (circa 40-75‰).

Un importante contributo a conferma delle caratteristiche della circolazione idrica sotterranea è stato fornito da considerazioni desumibili dalla ricostruzione dell'evoluzione geologico-strutturale recente. Infatti, oltre al ruolo della tettonica nella strutturazione dei grandi acquiferi carbonatici precedentemente definiti, è possibile riconoscere il condizionamento esercitato sulle direttrici di flusso e sui punti di recapito delle falde dalla presenza dei sistemi di faglie dirette plio-quaternarie (fig. 3 e tav. IV f.t. allegata in tasca di copertina) che sono presenti ai bordi della Piana (e.g., COSENTINO *et alii*, 1991; MICHETTI *et alii*, 1993; GUERRIERI *et alii*, 2004). Inoltre, la sovrapposizione della tettonica plio-quaternaria allo sviluppo del bacino intramontano di Rieti ha anche controllato direttamente l'impostazione in superficie del reticolo idrografico principale (GUERRIERI *et alii*, 2004). In questo ambito, oltre alla già eviden-

ziata presenza di alcune tra le maggiori sorgenti dell'Appennino nei settori limitrofi alla Piana Reatina ed al loro legame con gli elementi strutturali, è possibile notare, nell'ambito della Piana, la particolare localizzazione delle seguenti emergenze idriche: a) sorgenti di S. Susanna e delle Canapine: in prossimità della zona d'incontro della faglia bordiera orientale con la faglia bordiera settentrionale, a contatto con le strutture idrogeologiche altamente produttive appartenenti alla struttura dei Monti Reatini; b) sorgente del Cantaro: all'incontro della faglia bordiera orientale con quella bordiera meridionale e quella di Rieti-Cittaducale, nelle adiacenze dei depositi detritici idraulicamente connessi alle strutture idrogeologiche dei Monti Sabini Centrali; c) sorgente Vicenna Riara: lungo la linea della faglia bordiera orientale, in corrispondenza dei depositi detritici della struttura idrogeologica Cantalice-Castelfranco, evidenziando, a completamento di quanto sopra esposto, che l'acqua di quest'emergenza provenga verosimilmente anche da quest'ultima struttura, oltre che da un trasferimento diretto dalla sorgente di S. Liberato attraverso una conoide sepolta (MANFREDINI, 1972); d) sorgenti lungo il margine occidentale della Piana, piuttosto numerose ma di portata relativamente limitata (e.g., Onnina, Riosono): in corrispondenza della faglia bordiera occidentale.

Dal complesso delle osservazioni derivate dai dati piezometrici e idrochimici è stato ipotizzato (CACCIUNI *et alii*, 2002) un probabile quadro di sintesi della circolazione idrica sotterranea. In corrispondenza della sorgente S. Susanna, a N dell'area studiata, la formazione delle Marne a Fucoidi, dotata di bassa permeabilità e con funzione di barriera idraulica a scala regionale, è localmente ribassata da un sistema di faglie dirette. Si ha, pertanto, un trasferimento di acque nella piana che alimentano le sorgenti in località Canapine, immediatamente a S di S. Susanna, anche attraverso una conoide sepolta evidenziata da MANFREDINI (1972). È evidente il contributo proveniente dal complesso detritico ad E verso le acque sotterranee della pianura, particolarmente nell'area compresa tra le sorgenti Canapine e la sorgente Vicenna Riara, come indicato localmente dalla direzione del deflusso sotterraneo. In particolare, la possibile alimentazione dal complesso detritico della sorgente Vicenna Riara, e non prevalentemente da perdite idriche provenienti dalla sorgente di S. Liberato (MANFREDINI, 1972), sembrerebbe giustificata anche alla luce dei dati idrochimici (Vicenna Riara: circa 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$; S. Liberato: circa 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$; CACCIUNI *et alii*, 2002) e dalla presenza delle suddette faglie dirette con probabile ruolo di limite di permeabilità.

L'ipotesi dell'esistenza di contributi di travasi sotterranei dalle dorsali carbonatiche ai depositi della Piana Reatina è confortata dalla distribuzione delle emergenze sul suo bordo occidentale. Infatti, nel settore settentrionale (Greccio) le sorgenti sono meno numerose e con portata inferiore, mentre a sud di Contigliano, dove il *thrust* basale del Tancia è affiorante, come a S. Filippo, si osservano numerose sorgenti e un contributo medio che supera i 50 l/s. Di conseguenza, anche in virtù della ridotta profondità del substrato in questo settore, è plausibile che nel settore settentrionale, in assenza dell'affioramento del limite a flusso nullo rappresentato dal *thrust* del Tancia, siano presenti non trascurabili travasi sotterranei dal complesso calcareo e calcareo-marnoso verso la piana, anche per il tramite del complesso detritico a permeabilità variabile.

L'andamento della superficie freatica in questo settore conforta le ipotesi espresse, in quanto si osservano gradienti idraulici all'interno del complesso detritico molto elevati (dal 40‰ fino ad un massimo del 100‰), ad indicare una permeabilità media di tale complesso ridotta, che ostacola fino ad impedire in prossimità della superficie la connessione idraulica con la piana. Le aree di diretto contatto con le conoidi, i cui gradienti idraulici sono nell'ordine di 20‰ invece forniscono indizio di travasi apprezzabili verso il complesso idrogeologico della piana reatina. In quest'ultimo, i gradienti idraulici sono blandi (tra 20 e 10‰), indicando una circolazione idrica in diretta connessione con i corsi d'acqua superficiali.

In conclusione, sul bordo occidentale della piana i contributi sotterranei della dorsale carbonatica avvengono più in profondità nel settore settentrionale, con probabili travasi anche cospicui, mentre nel settore meridionale il deflusso sotterraneo avviene prevalentemente attraverso i depositi detritici e di conoide, che generalmente alimentano sorgenti poste alla base dei rilievi, mentre i contributi diretti verso la piana sarebbero ridotti. D'altronde, l'assenza di emergenze in corrispondenza della dorsale di Monticchio determina un *deficit* di bilancio, in accordo con un assetto geologico che in profondità consentirebbe un contatto diretto tra substrato e alluvioni, in modo da rendere possibile la comunicazione idraulica tra i diversi complessi, con alimentazione diretta della falda freatica; l'entità di questi scambi, che localmente potrebbero essere anche significativi, non può essere però facilmente determinata.

I rapporti tra i corsi d'acqua presenti e la falda idrica della Piana Reatina sono variabili nello spazio e nel tempo (D'ARMENTO, 2004; RIVELLINO, 2004; BRUNETTI 2006) e la Carta idrogeologica

allegata (tav. IV) chiarisce il loro ruolo nella distribuzione della risorsa idrica sotterranea. Il Fiume Velino è in continuo equilibrio con la falda e dalla città di Rieti fino a Terria tende ad alimentare la circolazione idrica sotterranea, con entità non valutabili. Il Fiume Turano si trova in equilibrio dinamico con la falda nella zona orientale della carta, mentre in prossimità della confluenza del Torrente Canera risulta periodicamente sia drenante che disperdente; ulteriormente a valle, costeggia la piccola dorsale di Monticchio e ne riceve un contributo diretto in alveo. A valle della confluenza Velino-Turano e della stazione di Terria, i rapporti tra la falda e il Fiume Velino sono di sostanziale equilibrio. I Laghi Lungo e Ripasottile svolgono una locale funzione di recapito della falda, che viene però sostanzialmente drenata nel settore NW dalle sorgenti e dall'emissario delle sorgenti di S. Susanna-Canapine.

Sebbene sia stata da tempo evidenziata la complessità del sistema acquifero nell'area della Piana Reatina (*e.g.* MANFREDINI, 1972; BONI *et alii*, 1995) e il bilancio idrico dell'area di studio non sia tra gli obiettivi del presente lavoro, sono comunque presentate alcune considerazioni al riguardo, sebbene le valutazioni espresse si basino su drastiche semplificazioni. Sono stati pertanto considerati alcuni degli elementi che partecipano al bilancio idrologico dell'area, tra cui: i) le precipitazioni, stimate in 1100 mm/anno in base ai dati delle stazioni pluviometriche (ANNALI IDROLOGICI, 1921-2004), ii) l'evapotraspirazione reale calcolata mediante la formula di TURC (1955), che è risultata circa 600 mm/anno, considerando una temperatura media di circa 13°C dai dati termometrici delle stazioni EX-SIMN, iii) il ruscellamento superficiale, stimato dalla differenza di portata tra la sezione sul Fiume Velino in uscita dalla Piana (località Le Marmore, circa 50 m³/s) e le sezioni in entrata dei fiumi Velino (località Ponte Nuovo, circa 35 m³/s), Turano (circa 2 m³/s) e Canera (circa 1 m³/s). A tale valore deve essere sottratto quello delle sorgenti con recapito nei corsi d'acqua superficiali (*e.g.* S. Susanna, Canapine, Vicenna Riara, S. Liberato, Cantaro; portata totale stimata circa 10 m³/s), di provenienza principalmente dagli acquiferi dei complessi basali calcareo e calcareo-marnoso e non dall'acquifero della piana. Le acque prelevate dall'idrovora del Lago di Ripa Sottile e quelle della derivazione di Ponte Giovanni XXIII sono rilasciate, rispettivamente, nel F. Velino ed in corrispondenza dell'ex-stabilimento industriale SNIA e, pertanto, possono essere trascurate nel calcolo di bilancio dei deflussi superficiali tra entrata e uscita della Piana Reatina. Il ruscellamento stimato in tal modo si attesta sui 300 mm/a. I prelievi idrici da pozzi per

irrigazione, di difficile stima, sono in ogni modo verosimilmente non significativi, per la non diffusa presenza di pratiche agricole intensive. In definitiva, l'aliquota destinata all'infiltrazione, è risultata relativamente bassa rispetto agli altri elementi coinvolti nell'equazione del bilancio idrico ($I=P-ET-R\pm U$), nell'ordine dei 200 mm/anno (corrispondente a circa 0,6 m³/s). Tale valore, in considerazione della permeabilità piuttosto bassa dei terreni costituenti la Piana Reatina, è attendibile ed, inoltre, è compatibile con quello proposto per il deflusso sotterraneo nella struttura della Piana Reatina (circa 1 m³/s, corrispondente a 350 mm/a; MANFREDINI, 1972, DI DOMENICANTONIO, 2000).

8. - VERIFICHE DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA E PROPOSTE

La raccolta dei dati nell'area in studio è stata finalizzata alla definizione delle caratteristiche idrogeologiche che sono state quindi rappresentate nella Carta Idrogeologica allegata in tasca di coperatina (tav. IV), con l'obiettivo di sperimentare l'applicabilità delle "linee guida" per la cartografia idrogeologica (MARI *et alii*, 1995), e di fornire conseguentemente una valutazione critica. Tali "linee guida" comprendono specifiche tecniche e una legenda che si articola in 8 tavole, nelle quali sono elencati i simboli ritenuti necessari per rappresentare in modo esauriente le caratteristiche idrogeologiche.

Allo scopo di fornire un contributo concreto alla redazione di future nuove linee guida per la realizzazione della cartografia idrogeologica, si è ritenuto opportuno elencare di seguito alcune proposte di modifica e d'integrazione ad alcune delle suddette tavole.

Le "linee guida" (MARI *et alii*, 1995) prevedevano la finalizzazione dei dati d'interesse idrogeologico alla realizzazione di una banca dati idrogeologica del territorio nazionale, ma non esplicitavano le modalità di acquisizione, organizzazione e restituzione in formato digitale. La libreria dei simboli prevista era, infatti, progettata per essere realizzata essenzialmente mediante elaborazione grafica manuale o assistita da computer. L'avvento dei *software* GIS nella gestione delle informazioni e delle banche dati territoriali anche a carattere idrogeologico ha limitato la restituzione grafica di molti dei simboli così come erano previsti dalle suddette linee guida, a meno di un ulteriore allestimento in ambiente grafico-editoriale, rendendo quindi necessaria una revisione della simbologia prevista nelle linee guida. Inoltre, anche l'organizzazione generale della legenda richiede necessariamente una revisione in relazione alla potenzialità della struttura gerarchica degli strati informativi del *software* GIS utilizzato.

Tavola A - IDROLOGIA DI SUPERFICIE

La sezione II "Idrologia da ruscellamento" di questa tavola prevede che le acque di ruscellamento superficiale siano classificate in base alla portata media annua, e le acque del flusso di base in base alla portata media del mese di massima magra, e quindi sono richiesti dati di portata relativi ad un congruo numero di anni. Nell'area in studio, ma in generale in molte altre aree del territorio italiano, non si dispone di un numero di misure tali da poter calcolare la portata media annua e la portata media del mese di massima magra dei corsi d'acqua, se non per quei tratti coperti dalla rete idrometrica dell'ex SIMN, ma si hanno solo dati relativi ai periodi d'indagine degli studi in corso. Pertanto, tale impianto simbolico non è pienamente verificabile, almeno ad una scala di relativo dettaglio quale quella adottata (maggiore di 1:50.000). Pertanto, tale impianto dovrebbe essere rivisto permettendo di rappresentare eventualmente le portate medie dell'anno in osservazione, indicandone il periodo di riferimento.

Tavola B - IDROLOGIA SOTTERRANEA

Un discorso analogo è proponibile per la sezione II "Emergenze di acque sotterranee" della tav. B relativamente alle sorgenti, dove si prevede che queste siano classificate per mezzo della portata media annua e quindi, unitamente alle considerazioni sul loro regime, sulla base dei dati relativi ad un congruo numero di anni. Infatti, nell'area in studio anche le misure di portata delle sorgenti non hanno serie sufficienti a calcolare la portata media annua e il regime. Quindi, potrebbero essere definite le portate medie dell'anno in osservazione, indicandone il periodo di riferimento.

Tavola C - COMPLESSI IDROGEOLOGICI DISTINTI IN FUNZIONE DEL LORO GRADO DI PERMEABILITÀ RELATIVA

Le linee guida prevedono che i terreni affioranti siano suddivisi in complessi idrogeologici: ciascun complesso è distinto sia per il grado di permeabilità relativa esistente tra un complesso ed un altro (indipendentemente dal tipo di permeabilità) sia in base ai rapporti di tipo stratigrafico-strutturale che intercorrono tra i vari complessi. La legenda così concepita risulta estremamente pratica nel suo impiego e permette un'immediata visualizzazione delle caratteristiche idrogeologiche dei terreni affioranti; inoltre una legenda di tale tipo evidenzia lo schema dei rapporti esistenti tra i diversi complessi idrogeologici nel loro contesto giaciturale e strutturale.

La distinzione tra i differenti complessi è quindi data dal grado di permeabilità relativa, indipendentemente dal tipo litologico prevalente del complesso. Dette linee guida prevedono quattro

diversi gradi di permeabilità relativa ricavati sia dai dati di campagna e/o di laboratorio e sia, soprattutto, per confronto con altri complessi adiacenti. I complessi ad alta e media permeabilità vengono cartografati con un colore ed un sovrassegno litologico, mentre i complessi appartenenti alla classe di permeabilità scarsa ed impermeabile sono distinti con un colore pieno. I colori utilizzati sono quelli dell'impianto colori della cartografia geologica ufficiale.

Un primo aspetto che, a parere degli autori, andrebbe quantomeno ridiscusso, è quello relativo ai colori adottati. Infatti, la suddetta prescrizione porta un eccessivo uso di colori, anche diversi per una stessa classe di permeabilità, poiché l'impianto colori della carta geologica è basato fondamentalmente sull'età delle formazioni. Quindi, considerando l'insieme delle formazioni di differente età che costituiscono un complesso idrogeologico, avremmo che i colori nell'ambito dei complessi non evidenzierebbero la permeabilità bensì l'età; l'aspetto generale della carta idrogeologica sarebbe semplicemente una generalizzazione della carta geologica, determinando un superfluo appesantimento delle informazioni e, soprattutto, l'inosservanza del principio fondamentale della legenda tematica, che è quello di permettere un'immediata lettura delle caratteristiche idrogeologiche.

Sarebbe quindi più opportuno individuare per i complessi idrogeologici dei colori di base corrispondenti ognuno ad una classe di permeabilità. A tal proposito gli autori propongono di seguito la seguente chiave di lettura per classi di permeabilità:

- colore rosso = alta permeabilità,
- colore giallo = media permeabilità,
- colore azzurro = bassa permeabilità
- colore grigio = impermeabile.

I toni del rosso per le aree ad alta e media permeabilità trovano una loro giustificazione nel fatto che tali aree rappresentano le zone d'infiltrazione delle acque meteoriche e quindi di alimentazione delle falde sotterranee. Esse sono quindi immediatamente distinguibili, anche ai fini dell'individuazione della loro suscettività all'inquinamento, poiché un'eventuale sostanza contaminante dalla superficie potrebbe più facilmente raggiungere le sottostanti falde acquifere. Infatti, il rosso, indicante comunemente il pericolo e comunque di elevato impatto visivo, determina durante la lettura della carta un'immediata identificazione delle aree su cui intervenire con azioni di tutela e comunque con un'adeguata limitazione di attività antropiche. Il colore giallo definito per la media permeabilità consente di ottenere, anche avvalendosi eventualmente

di differenti tonalità di arancio, una gradazione visiva decrescente procedendo dal colore rosso che caratterizza il grado alto.

Il colore azzurro chiaro indicante la scarsa permeabilità permette di individuare immediatamente le aree con infiltrazione minore, probabile sede di falde modeste o, comunque, di carattere locale. Il colore grigio, infine, dà visivamente l'idea di assenza di circolazione individuando gli *aquiclude* e le formazioni "tampone" alla circolazione idrica sotterranea.

Questa proposta di rappresentazione peraltro è stata applicata a titolo d'esempio alla carta oggetto del presente lavoro con risultati soddisfacenti. Resta da definire l'opportunità, in situazioni particolarmente complesse, di evidenziare alcune peculiarità dei terreni raggruppati nei complessi idrogeologici, distinguendole con sigle o sovrassegni litologici.

Tavola F - SIMBOLI LITOLOGICI

La tavola F propone dei simboli litologici non facilmente riproducibili con le metodologie informatiche adottate, e quindi non è stato possibile utilizzare i simboli previsti nell'allegato 1. In questa cartografia sono stati scelti i simboli ritenuti più adeguati tra quelli disponibili nel *software* GIS utilizzato, ma sicuramente sarebbe necessario un allestimento in ambiente grafico-editoriale per ottimizzarli.

Tavola H - COMPLESSI IDROGEOLOGICI DISTINTI IN FUNZIONE DELL'INFILTRAZIONE EFFICACE E/O DELLA TRASMISSIVITÀ

La tavola H prevede la distinzione dei complessi idrogeologici in funzione dell'infiltrazione efficace e della trasmissività solo in presenza di strutture idrogeologiche idonee e di dati sufficienti da rappresentare con carte complementari.

È stata elaborata una cartografia a scala ridotta dell'infiltrazione efficace potenziale dei complessi idrogeologici dell'area in studio, stimata sulla base dei dati di letteratura (BONI *et alii*, 1986) e verificata con i dati del presente lavoro. Questa cartografia sembra differenziarsi da quella realizzata sulla base della permeabilità relativa, giacché è evidente che tra i terreni costituenti la Piana è stato possibile distinguere, per i maggiori valori d'infiltrazione efficace, i depositi conglomeratico-sabbiosi rispetto a quelli fluvio-lacustri e marnoso-calcarei. Molto probabilmente ciò è spiegabile con un attendibile contributo diretto dell'acquifero residente nei rilievi carbonatici all'alimentazione idrica dei depositi conglomeratico-sabbiosi.

Riguardo alla cartografia dei complessi idrogeologici distinti sulla base della trasmissività, non essendo state effettuate durante il presente lavoro né essendo reperibili in letteratura con una sufficiente distribuzione territoriale le informazioni sui principali parametri idrodinamici degli acqui-

feri ricavabili dall'elaborazione di dati acquisiti attraverso prove di portata (portate specifiche, coefficiente di permeabilità, trasmissività, coefficiente d'immagazzinamento), non è stato possibile predisporre tale specifica cartografia per i depositi costituenti la piana.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Dott. S. RIVELLINO, il Dott. E. D'ARMENTO ed il Dott. E. BRUNETTI per la collaborazione al rilevamento dei punti d'acqua censiti dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza". Si ringrazia inoltre il Dott. C. CAMPOBASSO per avere permesso lo svolgimento di questo studio ai fini della sperimentazione della cartografia idrogeologica. Si ringraziano altresì il Prof. P.B. CELICO e il Prof. F. BRUNAMONTE, incaricati della revisione del lavoro, per i preziosi e puntuali suggerimenti proposti.

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI G. & CARBONE F. (1986) – *Lithofacies map of Latium-Abruzzi and neighbouring areas*. C.N.R. Quad. Ric. Sci., **114**(5), 224 pp.
- ANNALI IDROLOGICI (1921–2004) – *Parte prima e parte seconda* (Sezione di Roma). Servizio Idrografico, Ministero dei Lavori Pubblici / Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, Presidenza del Consiglio dei Ministri. Roma.
- BARBERI R. & CAVINATO G.P. (1993) – *Analisi sedimentologiche ed evoluzione paleogeografica del settore meridionale del bacino di Rieti (Appennino Centrale)*. Studi Geol. Camerti, Volume Speciale 1992 (1), 39–53.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 991–1012.
- BONI C., CAPELLI G. & PETTITTA M. (1995) – *Carta idrogeologica dell'alta e media valle del Fiume Velino*. Univ. di Roma "La Sapienza" – Univ. di "Roma Tre" – Comunità Montana del Velino, Roma.
- BRUNAMONTE F., CARRARA C., CAVINATO G.P., FERRELI L., SERVA L., MICHETTI A.M. & RAGLIONE M. (1994) – *La conca di Rieti*. In: Convegno AIQUA "Le Conche Intermontane, Caratteristiche Stratigrafiche, Sedimentologiche, Strutturali ed Aspetti Applicativi - Guida all'escursione Le Conche intermontane dell'Appennino Laziale-Abruzzese". Il Quaternario, **6**(2) 1993, 396–402.
- BRUNETTI E. (2006) – *Rilevamento geologico-tecnico e idrogeologico del margine sud-orientale del Bacino di Rieti*. Tesi di laurea in Scienze Geologiche, inedita, Università di Roma "La Sapienza".
- CACCIUNI A., MARI G.M., MARTARELLI L., SCALISE A.R. & SILVI A. (2002) – *Studio idrogeologico in un'area della Piana di Rieti. Attività di monitoraggio e rappresentazioni cartografiche preliminari*. Atti del II Convegno "Ambiente e Sviluppo Sostenibile: le acque sotterranee". Rossiglione (GE), 12–14 settembre 2002.
- CALDERONI G., CARRARA C., FERRELI L., FOLLIERI M., GLIOZZI E., MAGRI D., NARCISI B., PAROTTO M., SADORI L. & SERVA L. (1995) – *Palaeoenvironmental, palaeoclimatic and chronological interpretations of a late-Quaternary sediment core from Piana di Rieti (Central Apennine, Italy)*. Giornale di Geologia, **56**(2), 1994, 43–72.
- CARRARA C., BRUNAMONTE F., FERRELI L., LORENZONI P., MARGHERITI L., MICHETTI A.M., RAGLIONE M., ROSATI M. & SERVA L. (1993) – *I terrazzi della medio-bassa valle del F. Velino*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale, 1992(1), 97–102.
- CARRARA C., ESU D. & FERRELI L. (1995) – *Lo sbarramento di travertino delle Marmore (Bacino di Rieti, Italia Centrale): aspetti geomorfologici, faunistici ed ambientali*. Il Quaternario, **8**(1), 111–118.
- CAVINATO G.P., CHIARETTI F., COSENTINO D. & SERVA L. (1989) – *Caratteri geologico-strutturali del margine orientale della Conca di Rieti*. Boll. Soc. Geol. It., **108**, 207–218.
- CAVINATO G.P. & TOZZI M. (1986) – *Studio strutturale del Monte Soratte*. Rend. Soc. Geol. It. **9**, 3–6.
- CICCOLELLA A., DI FILIPPO M., IACOVELLA S. & TORO B. (1993) – *Prospezione ed analisi gravimetrica del bacino di Rieti*. Conv. "Le conche intermontane". Ass. Ital. per lo studio del Quaternario.
- CIVITELLI G., CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) – *Il bacino sabino: 1) fenomeni di risedimentazione nella serie di Osteria Tancia*. Boll. Soc. Geol. **105**, 41–63.
- CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) – *Il bacino sabino: 2) sedimentologia e stratigrafia della serie calcarea e marnoso-spongolitica (Paleogene-Miocene)*. Mem. Soc. Geol. It. **35**, 33–47.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1986) – *Assetto strutturale dei Monti Lucretili Settentrionali (Sabina): nuovi dati e schema tettonico preliminare*. Geol. Romana **25**, 73–90.
- COSENTINO D., SCOPPOLA C., SCROCCA D. & VECCHIA P. (1991) – *Stile strutturale dei Monti Reatini e dei Monti Sabini settentrionali (Appennino Centrale) a confronto*. Studi Geol. Camerti, Volume Speciale (2), 55–61.
- D'ARMENTO E. (2004) – *Rilevamento geologico-tecnico per la valutazione della risorsa idrica sotterranea nel territorio di Greccio (RI)*. Tesi di laurea in Scienze Geologiche, inedita, Università di Roma "La Sapienza".
- DI DOMENICANTONIO (2000) – *La pianificazione del Bacino del Fiume Tevere 1999–2000*. Autorità di Bacino del Fiume Tevere, anno V, n.12–13, Gangemi Editore.
- FERRELI L., BRUNAMONTE F., FILIPPI G., MARGHERITI L. & MICHETTI A.M. (1993) – *Riconoscimento di un livello lacustre della prima età del ferro nel bacino di Rieti e possibili implicazioni neotettoniche*. Studi Geologici Camerti. Volume Speciale 1992(1), 127–135.
- FERRELI L., PAROTTO M. & SERVA L. (1992) – *Evoluzione del reticolo idrografico nella piana di Rieti negli ultimi 4000 anni*. Mem. Soc. Geol. It. **45**, 901–910.
- FERRERI A. (1985) – *Criteri di analisi di facies e classificazione dei travertini pleistocenici dell'Italia meridionale*. Rend. Sc. Fis. Mat., ser.4, **50**(2), 1–31.
- GALLUZZO F. & SANTANTONIO M. (2002) – *The Sabina Plateau: a new element in the Mesozoic palaeogeography of Central Apennines*. Boll. Soc. Geol. It., Volume Speciale n.1, 561–588.
- GUERRIERI L., BRUNAMONTE F., COMERCI V., FERRELI L., MICHETTI A.M., POMPILI R. & SERVA L. (2004) – *Geologic map of continental deposits in the Rieti Basin (Central Apennines)*. In: G. PASQUARÈ & C. VENTURINI (Eds.): "Mapping geology in Italy". APAT-Servizio Geologico d'Italia, 123–130. S.E.L.C.A. Firenze.
- LEGGIO T. & SERVA L. (1991) – *La bonifica della piana di Rieti dall'età romana al medioevo*. ENEA Notiz. Sicur. Prot. **25–26**, 61–70.
- MANFREDINI M. (1972) – *Studio idrogeologico della Piana di Rieti*. Quad. Ist. Ric. Acque, CNR, **6**, 87–122.
- MANGANELLI V. & FARAMONDI S. (1990) – *Tettonica traslativa nei monti Sabini: L'area della valle di S.Croce (Contigliano, Rieti)*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'It. **38**, 207–214.
- 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*. Quad. SGN **5**, Serie III, IPZS, Roma.

- MARTARELLI L., PARIS F., PETITTA M., RIVELLINO S., SCALISE A.R. & SILVI A. (2008) – *Cartografia idrogeologica sperimentale nella Valle del Torrente Canera (Rieti, Lazio)*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'It. (questo volume).
- MICHETTI A.M., BRUNAMONTE F., SERVA L. & WHITNEY R.A. (1993) – *Seismic hazard assesement from paleoseismological evidence in the rieti region (central Italy)*. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Special Publication N.6 “Perspectives in Paleoseismology”, 63-82.
- PETITTA M. (2009) – *Idrogeologia della media valle del Fiume Velino e della piana di S.Vittorino (Rieti, Italia Centrale)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, **1**, 161-184.
- PETITTA M., TALLINI M., BENEDETTI G. & DEL MONACO (2003) – *Fracture pattern influence on groundwater discharge along the tectonic border of karst aquifers (Velino Valley, Central Italy)*. Proceedings “Hydrogeology in fractured rocks”, Prague, September 2003, 85-86.
- RIVELLINO S. (2004) – *Rilevamento geologico-tecnico per la valutazione della risorsa idrica sotterranea nel territorio di Contigliano (RI)*. Tesi di laurea in Scienze Geologiche, inedita, Università di Roma “La Sapienza”.
- SALVINI F. & VITTORI E. (1982) – *Analisi strutturale della linea Olevano-Antrodoco-Posta (Ancona-Anzio Auct.): Metodologia di studio delle deformazioni fragili e presentazione del tratto meridionale*. Mem. Soc. Geol. It. **24**, 337-355.
- SERVA L. & SALVINI F. (1976) – *Analisi statistiche delle deformazioni meccaniche in alcune strutture dell'appennino laziale*. Boll. Soc. Geol. It. **95**, 1219-1233.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1970) – *Carta geologica d'Italia F. 138 Terni*. 2^a Ed.
- SOLIGO M., TUCCIMEI P., BARBERI R., DELITALA M.C., MICCADEI E. & TADDEUCCI A. (2002) – *U/Th dating of freshwater travertine from Middle Velino Valley (Central Italy): paleoclimatic and geological implications*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **184**, 147-161.

Cartografia idrogeologica sperimentale nella valle del Torrente Canera (Rieti, Lazio)

*Experimental hydrogeological cartography
in the Canera Stream Basin (Rieti, Latium)*

MARTARELLI L. (*), PARIS F. (*), PETITTA M. (**),
RIVELLINO S. (**), SCALISE A.R. (*), SILVI A. (*)

RIASSUNTO - Le caratteristiche geologiche e idrogeologiche della valle del T. Canera, e in particolare la presenza, nelle aree dei rilievi carbonatici circostanti, di un acquifero presumibilmente in continuità idraulica con quello alluvionale, ne hanno suggerito l'utilizzazione come area d'interesse per la sperimentazione della "Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000". Le indagini idrogeologiche di dettaglio eseguite hanno avuto lo scopo di chiarire lo schema di circolazione in un'area pedemontana al margine della struttura idrogeologica della Piana Reatina e di verificare l'applicabilità di metodologie d'indagine quantitativa classica (misure di portata seriate in alveo e osservazioni sui parametri chimico-fisici a scala mensile) a sottobacini idrografici in un contesto geologico tipico delle serie carbonatiche umbro-sabine interessate da intensa evoluzione plio-quadernaria.

Quelle indagini hanno confermato: a) che il margine orientale della dorsale dei Monti Sabini Settentrionali non presenta un affioramento della falda regionale basale; b) la presenza di elementi tettonici ad andamento complesso e di livelli a bassa permeabilità nella sequenza carbonatica che danno origine in corrispondenza di livelli di base locali a sorgenti di portata media che vanno dalle decine a

qualche centinaio di l/s; c) la discreta permeabilità dei depositi detritici ed eluvio-colluviali affioranti in corrispondenza delle rotture morfologiche che coincidono con i limiti tettonici e stratigrafici di permeabilità sopra citati, consente il travaso parziale della risorsa idrica sotterranea verso questi corpi detritici ed il loro successivo recapito nell'alveo del T. Canera; d) che il fondovalle alluvionale costituisce un acquifero locale caratterizzato da scambi con le acque superficiali variabili stagionalmente in quantità e direzione nel medio corso del T. Canera e generalmente diretti dal corso d'acqua verso la falda nel tratto più prossimo alla Piana Reatina.

In conclusione, è stata accertata l'esistenza di un non trascurabile flusso di base nella media e bassa valle del T. Canera (circa 100 l/s in fase di magra e 400 l/s in media) che rappresenta, quindi, una risorsa idrica rilevante, quantomeno ai fini del mantenimento di buone condizioni ambientali, in grado anche di attenuare le problematiche di carenza idrica e di scadimento della qualità delle acque del Fiume Turano nella Piana Reatina in periodi siccitosi.

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia, Cartografia idrogeologica, Val Canera, Rieti.

(*) ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale- Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo
(**) Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

ABSTRACT - The hydrogeologic and geologic features of the Canera Stream Basin, and in particular the probable hydraulic connection between the bordering carbonatic reliefs and the alluvial aquifer, have suggested to select it for testing the Italian guidelines for the hydrogeological survey and mapping at the 1:50,000 scale. The study was aimed to define the groundwater flow outline in this piedmont area marginal to the hydrogeologic structure of the Rieti Plain and to verify the soundness of classical quantitative hydrogeologic methodologies (seriate stream gauging measurement and physical-chemical parameter collection, both monthly acquired) in this hydrologic sub-basin located in the context of the typical Umbro-Sabine carbonatic succession involved in an intense Plio-Quaternary evolution.

The main considerations achieved by this study are as follows: i) in the study area there are no springs related to the regional basal aquifer in the eastern margin of the northern Sabini Mts; ii) the occurrence of tectonic elements with complex trend and of low permeability layers in the carbonatic succession induce at different elevation local springs with some tents-hundreds l/s yields; iii) the fairly good permeability of the eluvial-colluvial and detrital deposits, cropping out in the zone of morphologic slope inclination variation covering permeability limit surfaces, allows the transfer of some amounts of the groundwater resource through them, toward the Canera stream; iv) the alluvial deposits constitute a local aquifer characterized by hydraulic exchange with surface water of variable amount and direction in the middle course of the Canera stream and generally from the stream towards the groundwater approaching the Rieti Plain.

On the whole, the base flow of the middle and low course of the Canera stream, (about 100 l/s in low regime and about 400 l/s in average) represents an important water resource, almost as much as is concerned with the environmental good status, also for the interesting aspects on the mitigation of water scarcity and quality degradation of the Turano River in the Rieti Plain during drought times.

KEY WORDS: Hydrogeology, Hydrogeological cartography, Canera Stream Basin, Rieti

1. - INTRODUZIONE

Nell'ambito di uno studio idrogeologico di un'area campione per la sperimentazione della "Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Guida al rilevamento e alla rappresentazione", (Quaderno SGN n.5, serie III, IPZS, Roma, 1995), è stata indagata una zona corrispondente all'immissione della valle del Torrente Canera in corrispondenza del bordo sud-occidentale della Piana Reatina.

Le caratteristiche geologiche e idrogeologiche generali della valle del T. Canera, e in particolare la presenza nelle aree dei rilievi carbonatici circostanti di un acquifero presumibilmente in continuità idraulica con quello alluvionale, hanno suggerito che essa potesse essere un'area d'interesse per indagini idrogeologiche di maggiore dettaglio. Tale area rappresenta un settore con bassa utilizzazione del territorio ai fini abitativi e in parte sede di specifiche attività agricole.

Le attività realizzate nell'ambito del presente lavoro hanno interessato la valle del T. Canera ed il settore SO della Piana Reatina, contribuendo ad approfondire le conoscenze idrogeologiche desumibili dagli studi precedenti (MANFREDINI, 1972; BONI *et alii*, 1986; BONI *et alii*, 1995).

Infine, per le elaborazioni cartografiche sono state utilizzate le norme previste dalla "Guida", che si è rivelata, con alcune modifiche non sostanziali, sufficientemente adeguata alle necessità attinenti alla rappresentazione delle situazioni idrogeologiche peculiari di quell'area.

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. - STRATIGRAFIA

La valle del T. Canera è collocata tra la propaggine settentrionale dei Monti Sabini e l'area a SO della Piana di Rieti. Il settore in studio è caratterizzato, così come tutta la successione sabina e quelle di transizione, da una serie stratigrafica con apporti carbonatici detritici variabili sia per composizione dei clasti sia per frequenza e modalità di deposizione (CIVITELLI *et alii*, 1986; CORDA & MARIOTTI, 1986; COSENTINO & PAROTTO, 1986; GALLUZZO & SANTANTONIO, 2002). Si tratta di una successione di termini calcareo-silico-marnosi interessata, a vari livelli, da notevoli quantità di materiale detritico, anche grossolano, qualitativamente e quantitativamente variabili spostandosi dalle zone più prossime alla piattaforma carbonatica laziale-abruzzese verso le aree interne del bacino.

La successione stratigrafica, dal basso verso l'alto, è caratterizzata dai seguenti termini litologici:

- calcari cristallini e brecciati neritici massivi del Calcare Massiccio (spessore non inferiore a 700 m, Liassico inferiore);
- alternanza di formazioni calcareo-silico-marnose pelagiche sottilmente stratificate (spessore totale variabile da 1300 a 1500 m nei Monti Sabini settentrionali) rappresentate da:
 - Corniola (calcari stratificati con marne argillose alla sommità, 200-300 m; Lias medio-superiore);
 - Rosso Ammonitico (marne e calcari marnosi, 50-100 m; Lias superiore-Dogger);
 - Marne ad Aptici/Diaspri (calcari marnosi con selce, 100-150 m; Dogger-Malm);
 - Maiolica (calcari a grana fine stratificati, 200-250 m; Cretacico inferiore);
 - Marne a Fucoidi (marne, calcari e calcari marnosi selciferi, potenza 50-100 m; Cretacico medio);
 - Scaglia Bianca e Scaglia Rossa (calcari marnosi selciferi, 200-300 m; Cretacico superiore-Eocene medio);

- Scaglia Cinerea (marne e calcari marnosi detritici con livelli argillosi, potenza 50-150 m; Eocene superiore-Miocene inferiore);

- Bisciario (calcari marnosi e marne calcaree con livelli marnoso-argillosi, spessore circa 100 m; Miocene inferiore-medio).

L'apporto calcareo-clastico non è particolarmente abbondante ed è sempre presente nella Corniola e nel Rosso Ammonitico. In quest'ultima formazione, calcareniti giallastre si alternano a peliti grigio-verdastre che possono anche essere predominanti ed arrivare a caratterizzare l'unità delle Marne del Serrone. Cospicui episodi di calcari detritici si rinvencono sia nei Calcari Granulari, sia nella parte alta dei Calcari Diasprigni/Diaspri al passaggio con la Maiolica, sia entro la Scaglia Bianca e la Scaglia Rossa. Le formazioni che chiudono la successione sono la Scaglia Cinerea e il Bisciario, che presentano facies più decisamente umbro-marchigiano; apporti detritici in quantità rilevanti sono stati rinvenuti solo entro la Scaglia Cinerea.

Tra i depositi recenti ed attuali si rinvencono, a chiusura della serie, sedimenti continentali di età da pleistocenica ad olocenica costituiti da: i) depositi fluvio-lacustri (alternanze di sedimenti da ghiaiosi ad argillosi con livelli torbosi, spessore variabile, massimo 200 m; Pleistocene); ii) depositi detritici antichi e recenti (detriti di falda e di versante, conoidi alluvionali e coperture eluvio-colluviali, spessore massimo qualche decina di metri; Pleistocene-Olocene); iii) depositi di ambiente da conoide alluvionale a fluvio-lacustre (conglomeratico-sabbiosi poligenici, spessore fino a 500 m; Pleistocene-Olocene); iv) depositi alluvionali (prevalentemente ciottoli e ghiaie calcaree in matrice limoso-argillosa, spessore massimo poche decine di metri; Olocene).

2.2. - TETTONICA

Nel settore dei Monti Sabini settentrionali, a SO di Rieti, è stata riconosciuta un'evidente superficie di sovrascorrimento (COSENTINO *et alii*, 1991) che, con andamento meridiano, decorre dal margine occidentale della conca reatina fino a Monte Tancia e a Salisano e, ancora più a S, si collega al *thrust* di Scandriglia-Roccagiovine nei Monti Lucretili (COSENTINO & PAROTTO, 1986). Si tratta di una superficie a pendenza variabile ed immersione verso ovest, che porta i termini corrispondenti alla Maiolica in sovrapposizione tettonica sui termini marnoso-argillosi della Scaglia Rossa e della Scaglia Cinerea. Quella superficie si ricollega a N con la "Linea della Valnerina" e, pertanto, rappresenta un elemento di una linea tettonica d'importanza regionale.

In posizione più interna, tra Contigliano e Cottanello (MANGANELLI & FARAMONDI, 1990), ad O della Val Canera, s'individua un'altra superficie di sovrascorrimento a debolissima pendenza ed immersione ad O, che porta in affioramento i termini inferiori della successione locale. Più ad O, GALLUZZO & SANTANTONIO (2002), hanno individuato e descritto la piattaforma carbonatica pelagica del Plateau Sabino, orientato circa N-S e separato dalle strutture precedenti dalla "Faglia Sabina", elemento tettonico con componente a scorrimento orizzontale (CALAMITA & PIERANTONI, 1996).

L'area in studio è stata sottoposta, pertanto, ad un'intensa tettonica traslativa sviluppata secondo un sistema di *thrust* variamente evoluti che hanno portato alla sovrapposizione di tre unità tettoniche ben distinte (MANGANELLI & FARAMONDI, 1990), costituite da spezzoni di serie via via più antichi da E ad O, ed a diverso grado di sovrapposizione reciproca, ed insieme vergenti verso un avampaese orientale, rappresentato localmente dalla Val Canera o, più in generale, dalla Piana Reatina.

L'unità tettonica inferiore, o più orientale, del T. Canera è costituita dai termini più recenti, la Scaglia Cinerea ed il Bisciario, interessati da strutture plicative con vergenza ad E, poco osservabili in superficie perché coperti da depositi detritici (circa 10-15 m attraversati in perforazione) o alluvionali (e.g. Torrente Canera, Fosso della Mola).

L'unità tettonica mediana, costituita dalla Scaglia Rossa o dalla Maiolica, è sovrascorsa sulla precedente lungo una superficie immergente verso O con direzione meridiana. Questo sovrascorrimento, messo in evidenza da vari autori, prosegue per molti chilometri in corrispondenza del margine meridionale della stessa catena.

L'unità tettonica superiore è costituita da Corniola, Marne del Serrone e Calcari Granulari, che rappresentano l'unità di Monte Macchia Porrara. Questa sequenza è sovrascorsa sulla monoclinale dell'unità intermedia ed è posta ad occidente della faglia Monte Macchia Cerro-S. Angelo-Colle Ladrone, arrestandosi in corrispondenza di quest'ultimo. Le diverse modalità d'avanzamento del fronte di questa struttura, osservate sui versanti di testata della Valle Santa Croce, sembrano imputabili all'inclinazione verso S del suo substrato.

I due versanti della valle del T. Canera (MANFREDINI & MANGANELLI, 1969; MANGANELLI & FARAMONDI, 1990), che scorre in direzione N verso la Piana Reatina, sono caratterizzati da due anticlinali rovesciate (successione inversa Bisciario, Scaglia Cinerea, Scaglia Rossa, Marne a Fucoidi,

Maiolica; piani assiali delle anticlinali nei versanti destro e sinistro, rispettivamente, nella Scaglia Rossa e nella Maiolica) con vergenza centripeta verso la linea di compluvio; l'affioramento del Bisciario nel fondovalle, comune ad ambedue le strutture, si estende per un paio di chilometri e la distanza fra gli affioramenti dei piani assiali delle due strutture è di circa quattro chilometri.

Successivamente alla fase di tettonica compressiva, l'area è stata sottoposta ad una fase distensiva (SERVA & SALVINI, 1976; SALVINI & VITTORI, 1982; CAVINATO & TOZZI, 1986).

3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico della valle reatina, al cui margine sud-occidentale si inserisce la valle del T. Canera, è fortemente influenzato da quattro grandi emergenze della falda basale, di portata media molto elevata, alimentate da differenti strutture carbonatiche (fig. 1): a NE le sorgenti di S. Susanna, ubicate al contatto tra i Monti Reatini e la Piana Reatina (5 m³/s); ad E la Piana di S. Vittorino sede delle Sorgenti del Peschiera e di altre numerose emergenze, per un totale di circa 30 m³/s (BONI *et alii*, 1995); a S le sorgenti Le Capore, portata media 5 m³/s, nella valle del T. Farfa; a NO le gole di Montoro-Stifone, sede dell'omonima sorgente lineare di portata media pari a 15 m³/s (BONI *et alii*, 1986).

Le maggiori strutture idrogeologiche (fig. 1) sono quindi rappresentate principalmente dagli acquiferi carbonatici, prevalentemente della Serie Umbro-Sabina, e comprendono i Monti Reatini, i Monti Giano-Nuria-Velino (di piattaforma carbonatica), la dorsale dei Monti Sabini Occidentali e quella dei Monti Sabini Settentrionali (M. Tancia-M. Pizzuto).

Con riferimento all'area indagata, la circolazione idrica sotterranea nei Monti Sabini Settentrionali è isolata da quella nei Monti Sabini Meridionali, a causa del sovrascorrimento del M. Tancia, che determina un limite a flusso nullo e, conseguentemente, la circolazione idrica sotterranea si sviluppa verso due recapiti differenti. Inoltre, il drenaggio della falda basale di questa dorsale è indirizzato verso le sorgenti delle Gole di Montoro-Stifone in Umbria, a nord-ovest dell'area in esame.

Ad un esame a scala di maggiore dettaglio, alle descritte strutture idrogeologiche delle dorsali carbonatiche si devono aggiungere quelle della Piana Reatina e dei depositi fluvio-lacustri antichi del Bacino di Rieti. Quest'ultima struttura, pur dotata di una discreta permeabilità, è sede di una circolazione idrica sotterranea frammentata, dove i livelli limoso-argillosi fungono spesso da limiti di

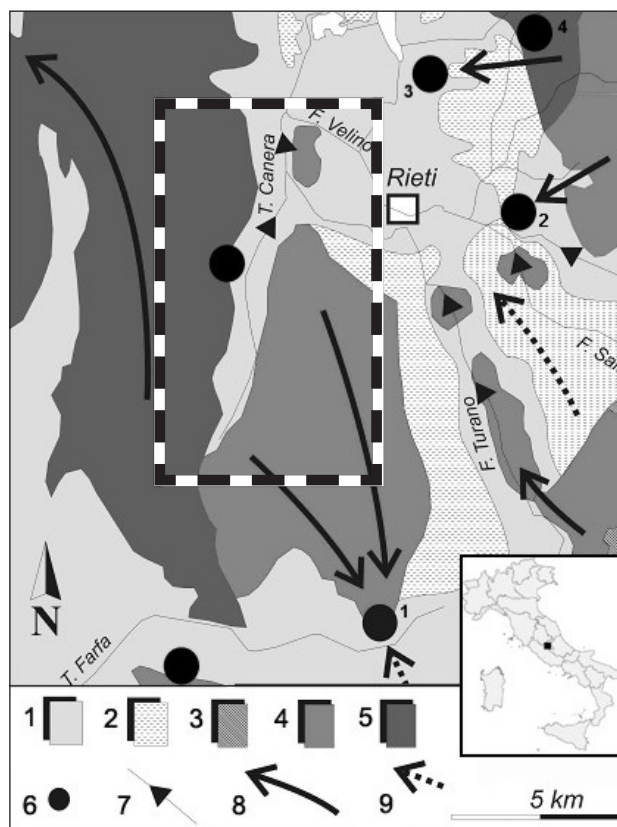


Fig. 1 - Schema idrogeologico dell'area reatina; il rettangolo individua l'area di studio. 1- Depositi fluvio-lacustri quaternari del bacino tiberino e reatino; 2- Depositi detritici e fluvio-lacustri antichi; 3- Depositi calcareo-marnosi cenozoici; 4- Depositi carbonatici meso-cenozoici in facies umbro-sabina; 5- Depositi carbonatici meso-cenozoici in facies umbra; 6- Sorgenti basali (il numero indica le più importanti: 1: Capore, 2: Cantaro, 3: Vicenna Riara, 4: S. Liberato); 7- Sorgenti lineari; 8- Direzione di flusso delle acque sotterranee; 9- Direzione di flusso delle acque sotterranee in strutture idrogeologiche non affioranti.

- Hydrogeologic sketch of the Rieti area; the rectangle shows the study area. 1- Quaternary fluvial-lacustrine deposits of the Tiber Valley and the Rieti Plain; 2- Old fluvial-lacustrine and detritic deposits; 3- Cenozoic calcareous-marly deposits; 4- Meso-Cenozoic carbonatic deposits of the Umbrian-Sabina facies; 5- Meso-Cenozoic carbonatic deposits of the Umbrian facies; 6- Basal springs (numbers indicate the most important: 1: Capore, 2: Cantaro, 3: Vicenna Riara, 4: S. Liberato); 7- Linear springs; 8- Groundwater flow direction; 9- Groundwater flow direction in not outcropping hydrogeologic structures.

permeabilità locali, dando luogo soltanto ad emergenze localizzate di portata ridotta (inferiore ai 10 l/s), molto spesso captate per uso potabile dai piccoli centri del reatino.

La Piana Reatina presenta una permeabilità media abbastanza ridotta, a causa della prevalenza di depositi limoso-argillosi. La presenza del substrato carbonatico umbro-sabino anche a minima profondità sul bordo occidentale, l'interdigitazione con i depositi detritici, le conoidi presenti soprattutto sul margine orientale ed, infine, lo scorrimento in superficie dei Fiumi Velino e Turano e del T. Canera, rendono complesso il suo ruolo idrogeologico. Nella Piana è stata identificata una falda freatica in equilibrio dinamico con i corsi d'acqua che la solcano, con cui sono scambiati notevoli quantitativi idrici, di entità variabile

nel tempo e nello spazio. Secondo MANFREDINI (1972), il deflusso sotterraneo nella struttura della Piana Reatina è stimabile in $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ed il gradiente idraulico pari a $0,2\%$ indica una direzione delle acque da S verso N. Nel settore SO della Piana i rapporti tra acque superficiali, falda freatica e contributi laterali da acquiferi carbonatici sono evidenti ed, in questo rispetto, un ruolo fondamentale è svolto dal T. Canera e dal Fiume Turano; quest'ultimo riceve le acque del torrente suddetto prima di confluire nel Velino.

4. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Nell'area oggetto di studio sono state identificate diverse associazioni litologiche che, sulla base di comuni caratteristiche idrogeologiche e di simile comportamento idrodinamico, possono essere raggruppate in complessi idrogeologici.

Sono stati distinti sette complessi, quattro relativi ai depositi di copertura recente ed attuale e tre al substrato meso-cenozoico. I complessi idrogeologici più recenti governano principalmente il recapito della risorsa idrica sotterranea e sono responsabili dei rapporti tra le acque superficiali e quelle sotterranee. Hanno quindi un importante ruolo idrodinamico e una limitata funzione di stoccaggio. I complessi idrogeologici dei depositi meso-cenozoici rappresentano l'acquifero e l'*aquiclude* della circolazione idrica sotterranea a scala regionale, costituendo rispettivamente il principale serbatoio in grado di immagazzinare oltre alle riserve regolatrici anche le cospicue riserve permanenti e il limite a flusso nullo della circolazione idrica. I valori d'infiltrazione efficace riportati nel presente lavoro sono basati sulle stime di BONI *et alii* (1986), applicate alla valle del Velino da BONI *et alii* (1995), secondo il criterio dell'analisi di bilancio idrogeologico su strutture idrogeologiche chiuse, a partire dalle portate erogate (BONI *et alii*, 1986).

I complessi idrogeologici riconosciuti sono quindi i seguenti (figura 2 e cartografia allegata in tasca di copertina):

- Complesso delle alluvioni del T. Canera (e del Fosso della Mola) (Olocene). È costituito da depositi a granulometria variabile, con prevalenza di ciottoli e ghiaie calcaree in matrice limoso-argillosa. Lo spessore massimo è di poche decine di metri. Data la discreta permeabilità, può ospitare falde freatiche, alimentate dalle acque di precipitazione e ruscellamento. Infiltrazione efficace: stimabile in 300 mm/anno . Grado di permeabilità relativa: medio.

- Complesso fluvio-lacustre della Piana Reatina (Olocene). È costituito da alternanze di sedimenti a granulometria variabile dalla ghiaia all'argilla, con prevalenza delle frazioni fini, con frequenti

intercalazioni di livelli torbosi nerastri e localmente livelli travertinosi. Lo spessore è variabile in funzione dell'articolazione del substrato (massimo 200 m). Costituisce un *aquitard*, presentando nel complesso una bassa permeabilità, ad eccezione delle intercalazioni ghiaiose sede di falde alimentate prevalentemente tramite travasi sotterranei. Infiltrazione efficace: estremamente limitata. Grado di permeabilità relativa: scarso.

- Complesso dei depositi detritici (Pleistocene-Olocene). Comprende i detriti di falda e di versante e le conoidi alluvionali antichi e recenti, talvolta cementati, e le coperture eluvio-colluviali. Nelle conoidi, la frazione grossolana (ghiaie calcaree e silicee) prevale nella zona apicale, mentre nella zona distale è prevalente la frazione sabbioso-limosa. La componente eluvio-colluviale presenta granulome-

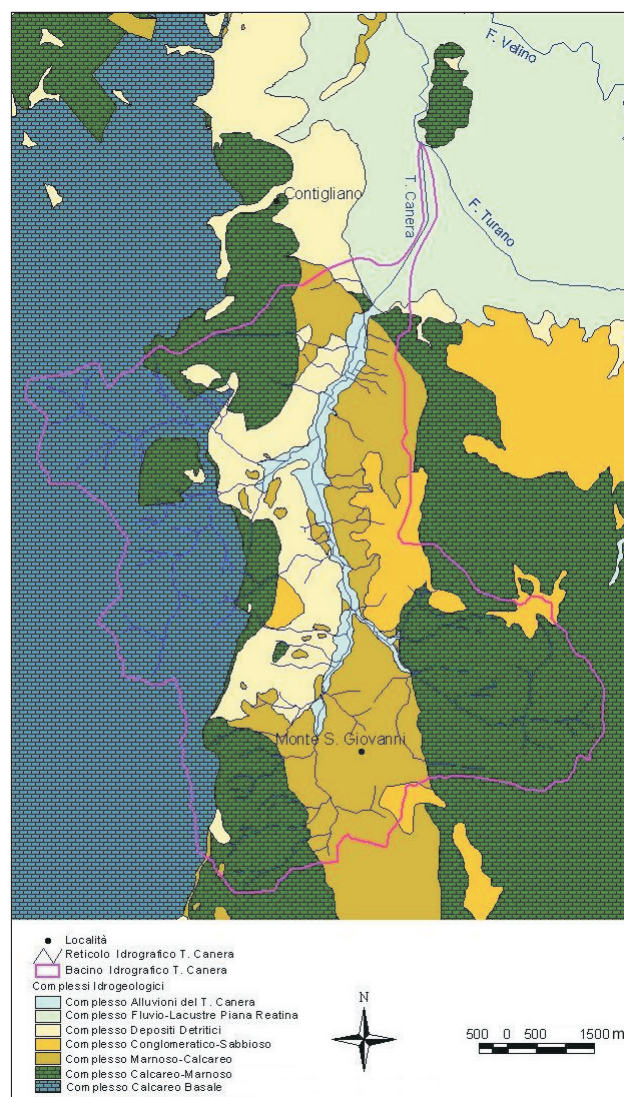


Fig. 2 - Carta schematica dei complessi idrogeologici definiti in base al grado di permeabilità relativa.

- Hydrogeologic complex sketch map defined on the basis of the relative permeability degree.

tria prevalentemente sabbioso-limosa con inclusi clastici centimetrici. Affiora nelle zone di raccordo tra i rilievi e le aree depresse, dove può raggiungere spessori di qualche decina di metri. Dotato di discreta permeabilità, può ospitare falde a deflusso sotterraneo rapido e di rilevanza locale, principalmente per travaso dagli acquiferi carbonatici.

Infiltrazione efficace: variabile tra 200 e 400 mm/anno. Grado di permeabilità relativa: medio.

- Complesso conglomeratico-sabbioso (Pliocene superiore-Pleistocene). Conglomerati poligenici cementati e stratificati, sabbie ed argille sabbiose. È stato deposto in un ambiente da conoide alluvionale a fluvio-lacustre. Ha uno spessore fino a 500 m e ospita acquiferi d'importanza locale. Infiltrazione efficace inferiore ai 200 mm/anno. Grado di permeabilità relativa: scarso.

- Complesso marnoso-calcareo (Eocene superiore-Miocene medio). Comprende la Scaglia Cinerea (marne e calcari marnosi detritici con livelli argillosi, potenza 50-150 m) ed il Bisciaro (calcari marnosi e marne calcaree con livelli marnoso-argillosi, spessore circa 100 m). Lo spessore complessivo è prossimo ai 300 m. Costituisce l'*aquiclude* degli acquiferi carbonatici meso-cenozoici e la sua notevole estensione in affioramento determina un limite di permeabilità netto che separa la circolazione nel substrato carbonatico da quella nei complessi detritico-alluvionali.

Infiltrazione efficace: inferiore a 200 mm/anno. Grado di permeabilità relativa: scarso.

- Complesso calcareo-marnoso (Cretacico medio-Eocene medio). È costituito dalle Marne a Fucoidi (marne, calcari e calcari marnosi selciferi, potenza 50-100 m) e da Scaglia Bianca e Scaglia Rossa (calcari marnosi selciferi, 200-300 m). Lo spessore complessivo è di circa 400 m. È presente in affioramento sulle dorsali montuose, costituisce l'acquifero carbonatico superiore della zona esaminata. È sede di una rilevante circolazione idrica sotterranea. Ha permeabilità molto elevata per fratturazione e carsismo; gli intervalli marnosi possono costituire localmente il livello di base per falde locali e sospese. Infiltrazione efficace stimabile in 500-600 mm/anno per i termini carbonatici. Grado di permeabilità relativa: medio.

- Complesso calcareo basale (Liassico inferiore-Cretacico inferiore). Include il Calcare Massiccio (calcari cristallini e brecciati, potenza 500-700 m), Corniola (calcari stratificati con marne argillose alla sommità, 200-300 m), Rosso Ammonitico (marne e calcari marnosi, 50-100 m), Marne ad Aptici/Diaspri (calcari marnosi con selce, 100-150 m) e Maiolica (calcari a grana fine stratificati, 200-250 m). Maiolica e Calcare Massiccio sono state incluse nello stesso com-

plesso poiché le formazioni del Rosso Ammonitico e delle Marne ad Aptici/Diaspri svolgono in quest'area un limitato ruolo di separazione idraulica rispetto ad altri settori limitrofi interessati dalla Serie Umbro-Marchigiana "tipica" (cfr. ad es. BONI *et alii* 1986, 1995). È sede di processi carsici ed ospita un esteso acquifero basale. Infiltrazione efficace: superiore ai 600 mm/anno nei termini carbonatici, notevolmente inferiore nei termini marnosi. Grado di permeabilità relativa: alto.

5. - DATI RACCOLTI

Inizialmente, sono stati acquisiti i dati geologici, idrologici e idrogeologici disponibili in letteratura, relativi a studi precedenti, e sono state raccolte presso l'ex-Ufficio Compartimentale di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) le informazioni disponibili relative alle stazioni in località Rieti (pluvio-termo-idrometrica; misurazioni relative alla vecchia stazione di Rieti Città ed alla stazione di Rieti Ponte Nuovo), Poggio Mirteto (pluvio-termometrica) e Contigliano (pluviometrica). Le suddette stazioni hanno fornito dati per un periodo complessivo dal 1921 al 2004 (ANNALI IDROLOGICI, 1921-2004), ma purtroppo, non tutte e tre sono state attive ininterrottamente durante quest'intervallo. Durante la presente indagine (2003-2004) ha funzionato solo la stazione di Rieti Ponte Nuovo. Nella tabella 1 sono riassunti i principali parametri misurati dalle stazioni SIMN.

Successivamente, è stato condotto un censimento delle sorgenti situate nell'area di studio, e realizzata una rete di controllo per la misura delle portate (tra luglio 2003 e dicembre 2004) in sezioni lungo l'alveo del T. Canera (disposte in serie con intervallo di circa 2 km), del F. Turano e dei principali corsi d'acqua alimentati da sorgenti. La localizzazione delle sezioni di misura è riportata in figura 3, mentre le relative sigle di riferimento ed

Tab. 1 - *Principali parametri relativi alle stazioni termo-pluviometriche SIMN dell'area di studio.*

- Main parameters of the SIMN thermo-pluviometric control stations available in the study area.

Nome	STAZIONI		TEMPERATURE			PRECIPITAZIONI TOTALI		
	Quota (m s.l.m.)	Anni di osservazione	Medie annue	Max	Min	Medie annue	Max	Min
Rieti	402	1951 - 2004	13,3	30,4	0,0			
		1921 - 2004				1109	1676	551
Contigliano	448	1951 - 1982	---	---	---	1488	2269	941
Poggio Mirteto	242	1951 - 1999	14,9	31,0	2,5	928	1479	578

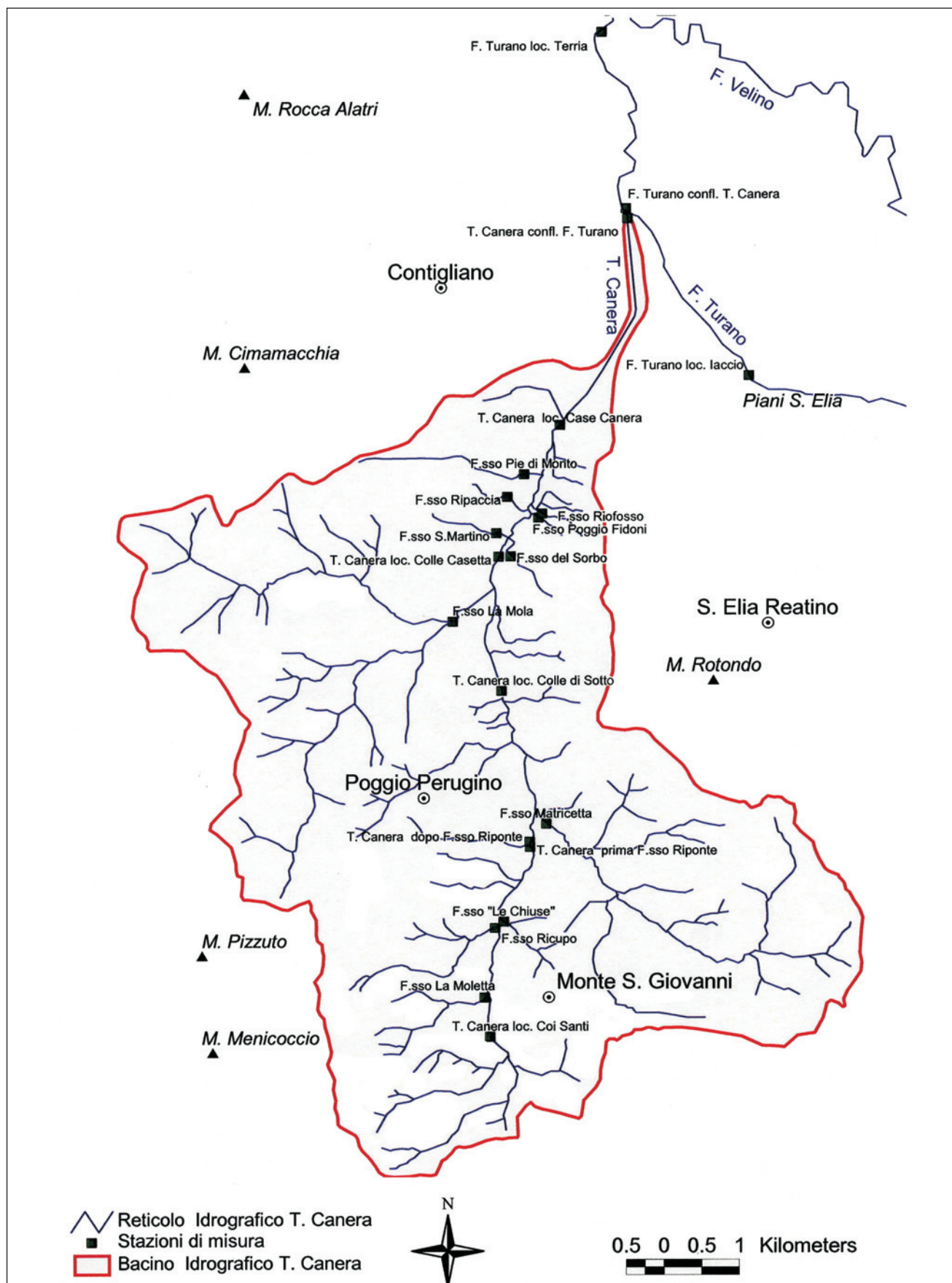


Fig. 3 - Carta dell'ubicazione delle stazioni di misura di portata lungo l'alveo del T. Canera e dei suoi principali fossi tributari.
 - Stream gauging station location map along the Canera stream and its main tributary watercourse.

informazioni aggiuntive sono consultabili nelle tabelle 2a e 2b. Nelle sezioni C8 e C6 (prima e dopo Fosso Riponte) le misure sono state effettuate dal giugno 2004 al dicembre 2004, mentre nelle successive sei sezioni sono state condotte durante l'intero periodo.

Sono state anche condotte analisi *in situ* di temperatura, conducibilità elettrica e pH delle acque.

Nelle tabelle 2 e 3 sono riportati, rispettivamente, i dati di portata fluviale e delle determinazioni chimico-fisiche *in situ* rilevati nelle sezioni di misura monitorate.

5.1. - IL SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO

È stata operata la selezione, l'elaborazione, l'archiviazione e l'organizzazione delle informazioni raccolte per la realizzazione di un GIS dedicato. I dati sono stati elaborati con il *software* MS-Excel e quindi estratti in formato dbf per essere importati in un GIS gestito con il *software* ESRI-Arcview 3.1. Le misure di portata in alveo sono state elaborate ed archiviate per mezzo dell'applicativo *Software* Q v.2 della *Quantum Hydrometrie*.

In particolare, con il *software* GIS sono state deli-

Tab. 2a - *Dati relativi alle sezioni di misura di portata in alveo della rete di monitoraggio relative al T. Canera, ai suoi corsi tributari principali ed al F. Turano.*

- Stream gauging measurement data collected at the monitoring stations along the Canera stream, its main tributary streams and Turano River.

Sezione	Quota	sigla	Q (m ³ / s)																				
	m s.l.m.		dic. '95	lug. '02	sett. '02	nov. '02	mar. '03	giu. '03	lug. '03	sett. '03	ott. '03	nov. '03	dic. '03	genn. '04	mar. '04	apr. '04	magg. '04	giu. '04	lug. '04	sett. '04	ott. '04	nov. '04	dic. '04
Canera loc. Coi Santi (km 8,5 S.P.46)	550	C8	0,058	0,003													0,020	0,011	secco	secco	0,015		0,028
Canera prima del Fosso Riponte (km 6 S.P.46)	465	C6															0,069	0,025	0,005	0,004	0,030		0,116
Canera dopo del Fosso Riponte (km 6 S.P.46)	464	C6d															0,099	0,030	0,018	0,004	0,037		0,133
Canera loc. Colle di sotto (km 4 S.P.46)	435	C4	0,267	secco	0,180	0,310	0,308	secco	secco	secco	0,574	0,860	0,089	0,575	0,401	0,585	0,157	0,018	secco	secco	secco	0,052	0,147
Canera loc. Colle Casetta (km 2 S.P.46)	415	C2	0,441	secco	0,229	0,505	0,753	0,170	0,085	0,053	1,068	1,420	0,352	1,142	1,216	1,434	0,965	0,494	0,303	0,153	0,117	0,139	0,428
Canera loc. Case Canera (km 0 S.P. 46)	395	C0	0,484	0,087	0,264	0,521	0,752	0,167	0,050	0,013	1,856	1,356	0,418	1,367	1,136	1,490	0,913	0,526	0,320	0,152	0,128	0,133	0,374
Canera alla confluenza con il F. Turano	378	CCT			0,136		0,616	0,122	secco	secco	1,719	1,274	0,209	1,013	2,190	1,443	0,732	0,434	0,181	0,065	0,064	0,112	0,288
Fosso Matricetta	453	FMa															0,108	0,046	0,009	secco	secco		0,006
Fosso della Mola	438	FMo											0,168	0,380	0,617	0,700	0,643	0,431	0,252	0,142	0,101	0,077	0,115
Turano a Iaccio	380	TI							0,261	0,263	0,955	1,800	0,414	1,293	2,465		1,469	1,535	1,013	0,699	0,642		0,778
Turano dopo confluenza T. Canera	378	TCC							0,227	0,326	2,637	1,856	0,659	2,383	5,041		2,278	1,944	1,362	0,659	0,830		1,142
Turano a Terria	375	TT							0,260	0,196	2,792	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5		<3,5	<3,5	<3,5	<3,5	<3,5		<3,5

Tab. 2b - *Dati relativi alle sezioni di misura di portata in alveo della rete di monitoraggio relative ai corsi tributari minori del T. Canera.*

- Stream gauging measurement data collected at the monitoring stations along the minor tributary watercourses of the Canera stream.

Sezione	Quota (m s.l.m.)	sigla	Q (m ³ / s)					
			mag-04	giu-04	lug-04	sett-04	ott-04	dic-04
Fosso Moletta	520	FMI				0,001	0,009	0,012
Fosso "Le Chiuse"	489	FLC	0,008	0,002	0,001	0,001	0,001	0,007
Fosso Ricupo	490	FRp	0,009	0,009	0,004	0,001	0,002	0,016
Fosso del Sorbo	422	FS	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
Fosso San Martino	420	FSM	0,001	0,001	secco	secco	secco	0,001
Fosso Poggio Fidoni	418	FPF	0,001	secco	secco	secco	secco	secco
Fosso Riofosso	418	FRf	0,006	0,002	secco	secco	secco	0,001
Fosso Ripaccia	418	FRc	0,004	0,004	0,004	0,001	0,002	0,001
Fosso Piè di Monte	415	FPM	0,001	secco	secco	secco	secco	secco

neate e georiferite le stazioni di misura di portata in alveo della rete di monitoraggio, le stazioni idrotermo-pluviometriche, i contorni del bacino idrografico del T. Canera ed i complessi idrogeologici definiti, attivando un collegamento tra tali elementi e le informazioni contenute nel *geodatabase*.

Inoltre, dalle informazioni residenti nel GIS è stato possibile calcolare direttamente alcuni degli elementi di base del bacino idrografico del T. Canera (e.g.: lunghezza dell'asta fluviale: 13,08 km; superficie totale del bacino: 51,18 km²; perimetro del bacino: 40,69 km).

6. - PRESENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI

Dall'analisi dei dati raccolti presso le stazioni di Rieti e Poggio Mirteto (termo-pluviometriche;

Tab. 3 - *Dati relativi alle determinazioni chimico-fisiche in situ delle sezioni della rete di monitoraggio.*
 - "In situ" physical chemical parameters of waters collected at the monitoring stations.

Sezione	quota (m s.l.m.)	sigla	parametro	mag-04	giu-04	lug-04	set-04	ott-04	nov-04	dic-04
Canera loc. Coi Santi (km 8,5 S.P.46)	550	C8	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	16,5 8,2 463	16,9 8,1 456	secco secco	secco	14,7 7,9 538		8,6 8,1 485
Canera al Ponte Le Chiuse (km 7 S.P.46)	498	CLC	T _{H2O} (°C) pH CE μS/cm)				12,4 8,3 470	14,3 8,2 451		8,9 7,9 453
Canera prima del Fosso Riponte (km 6 S.P.46)	465	C6	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	14,7 8,1 448	16,7 8,0 442	18,7 8,0 482	14,8 8,2 418	15,6 8,0 434		8,3 8,0 455
Canera dopo del Fosso Riponte (km 6 S.P.46)	464	C6d	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	14,7 8,1 442	17,5 8,1 456	18,4 8,0 458	14,4 8,2 426	16,2 8,0 436		8,6 8,0 533
Canera loc. Colle di sotto (km 4 S.P.46)	435	C4	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	16,7 8,9 409	19,8 8,4 375	secco	secco	secco	10,7 8,2 475	9,6 8,0 492
Canera loc. Colle Casetta (km 2 S.P.46)	415	C2	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	14,4 8,2 602	14,9 8,2 330	15,1 8,4 324	14,0 8,5 590	14,0 8,3 344	11,5 8,0 421	9,5 7,9 432
Canera loc. Case Canera (km 0 S.P.46)	395	C0	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	16,4 8,3 453	16,2 8,3 336	17,5 8,4 338	14,7 8,7 413	16,3 8,4 352	11,6 8,4 416	9,8 8,1 438
Canera alla confluenza con il F. Turano	378	CCT	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)		18,0 8,4 318	15,4 8,6 315	12,6 8,5 409	18,6 8,3 321	13,0 8,4 384	10,8 8,1 401
Turano dopo confluenza T. Canera	378	TCC	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)		18,6 8,2 442	17,5 8,2 474	14,0 8,1 514	16,6 8,0 486		8,0 8,0 435
Turano a Iaccio	380	TI	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)		18,1 8,0 510	17,9 8,2 515	10,7 8,1 601	14,3 7,8 510		7,3 7,8 528
Fosso Moletta	520	FMI	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)				13,0 8,2 508	16,2 8,1 430		9,8 7,9 415
Fosso "Le Chiuse"	498	FLC	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	16,4 8,0 481	16,6 7,8 487	18,1 7,4 591	12,8 7,7 522	14,6 7,8 506		8,6 7,9 504
Fosso Ricupo	490	FRp	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)				11,7 8,3 396	14,2 8,1 452		8,9 7,9 465
Fosso Riponte	470	FRt	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)		12,7 8,3 566					
Fosso Matricetta	453	FMa	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	14,9 8,0 429	15,7 7,9 423	16,8 8,1 463				11,0 7,6 534
Fosso della Mola	438	FMo	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	15,2 8,2 334	14,8 8,2 297	15,2 8,4 317	14,4 8,4 375	15,7 8,1 340	12,2 8,2 357	10,8 8,0 354
Fosso del Sorbo	422	FS	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	18,8 8,3 628	20,1 8,2 794	15,4 8,5 596	11,2 8,5 629	15,2 8,3 575		9,1 8,2 580
Fosso San Martino	420	FSM	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	17,1 8,2 432	21,0 8,0 546	secco	secco	secco		11,3 7,9 556
Fosso Ripaccia	418	FRc	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	16,7 7,9 324	17,3 8,2 402	16,7 8,3 368	16,6 8,2 415	16,5 8,1 423		10,3 8,0 541
Fosso Poggio Fidoni	418	FPF	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	21,6 8,1 672	secco	secco	secco	secco		secco
Fosso Riofosso	418	FRf	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	16,1 8,1 522	17,5 8,1 690	secco	secco	secco		10,0 8,0 511
Fosso Piè di Monte	415	FPM	T _{H2O} (°C) pH CE (μS/cm)	19,3 8,0 444	secco	secco	secco	secco		secco

ANNALI IDROLOGICI, 1921-2004) è stato possibile definire il valore minimo e massimo della media delle temperature mensili (fig. 4) e l'andamento delle temperature medie annuali (fig. 5), calcolate su tutti i dati disponibili nel periodo complessivo 1921-2004. In particolare, dalla figura 4 si evidenzia che mediamente il mese più freddo è gennaio (minima 1°C, massima 11°C), mentre il mese più caldo è agosto (minima 17°C, massima 33°C).

Ai fini della stima delle precipitazioni, l'area del bacino è stata suddivisa, con il metodo dei topoi e la definizione del "Reticolo di Thiessen", in tre zone d'influenza di ciascuna delle stazioni pluviometriche disponibili (Rieti, Poggio Mirteto, Contigliano; ANNALI IDROLOGICI, 1921-2004): i) una zona situata all'estremità meridionale dell'area studiata (circa 10% del totale del territorio del bacino idrografico del T. Canera) e relativa alla stazione di Poggio Mirteto; ii) una seconda zona anch'essa di limitata estensione (circa 10% del totale del territorio indagato) individuata a SE e relativa alla stazione di Rieti; iii) la restante parte del bacino, corrispondente a circa l'80% del totale del territorio indagato, relativo alla stazione di Contigliano. Sono state calcolate le precipitazioni medie annue e la variazione percentuale mensile delle precipitazioni rispetto alla media annua nel periodo complessivo 1951-2004. In particolare, le precipitazioni medie

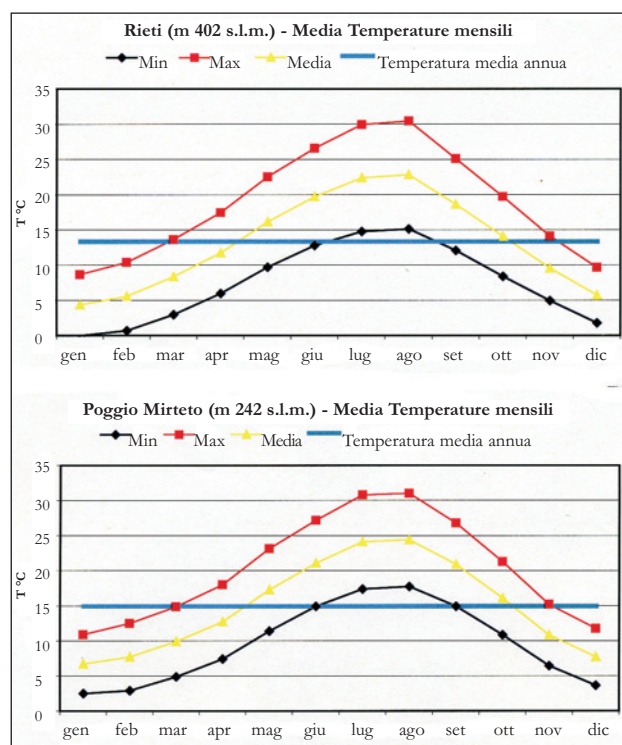


Fig. 4 - Medie delle temperature massime e minime mensili (Rieti, periodo 1921-2004; Poggio Mirteto, 1951-1999).
- Mean values of the maximum and minimum monthly atmospheric temperature (Rieti, 1921-2004; Poggio Mirteto, 1951-1999).

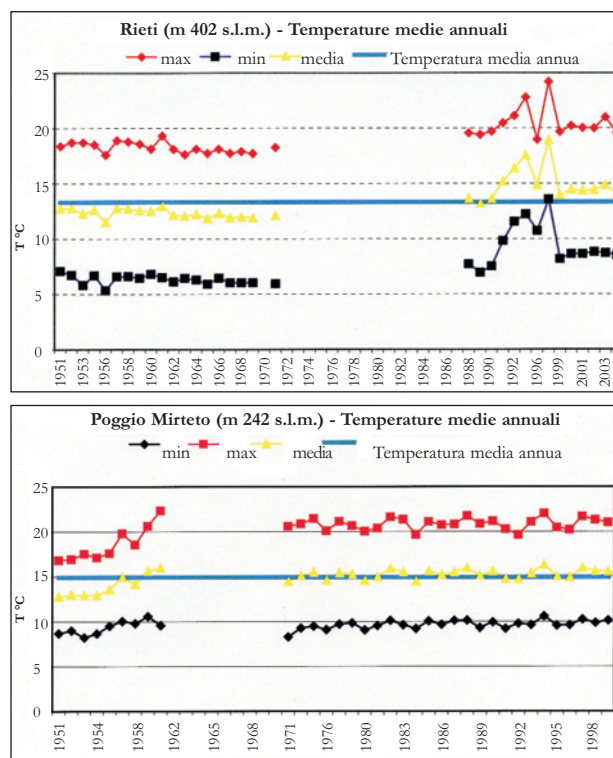


Fig. 5 - Temperature medie annuali (Rieti periodo 1921-2004; Poggio Mirteto 1951-1999).

-Annual mean atmospheric temperature (Rieti, 1921-2004; Poggio Mirteto, 1951-1999).

annue variano da un minimo di 900 mm della stazione di Poggio Mirteto, ai 1100 mm della stazione di Rieti, fino ad un massimo di 1500 mm registrato alla stazione di Contigliano (figg. 6, 7). Nella figura 8 è invece rappresentata la distribuzione totale mensile delle precipitazioni dal 1921 al 2004. Le precipitazioni massime sono state riscontrate nei mesi di novembre-dicembre, le minime in luglio.

Riguardo al periodo della presente indagine (giugno 2003-dicembre 2004), nella figura 9 è stato confrontato l'andamento delle precipitazioni mensili cumulate rilevate nella stazione di Rieti Ponte Nuovo con le portate mensili del T. Canera nella sezione campione CCT. È possibile rilevare in generale una corrispondenza dei massimi e minimi dei valori della portata rispetto a quelli delle precipitazioni, verosimilmente per la diffusa presenza di terreni con permeabilità medio-bassa nel bacino idrografico, con la conseguente forte incidenza del ruscellamento delle acque meteoriche.

Nei paragrafi seguenti saranno, inoltre, evidenziate le principali caratteristiche idrogeologiche dell'area di studio, illustrati i principali risultati delle misure di portata acquisite mensilmente nella rete di controllo, e discusse le informazioni ottenute dalla distribuzione dei valori dei parametri chimico-fisici acquisiti. In particolare, saranno definite le variazioni stagionali delle portate superficiali del bacino idrografico ed evidenziato il contributo delle acque

sotterranee residenti negli acquiferi dei rilievi carbonatici marginali verso le acque di ruscellamento. L'insieme delle informazioni idrogeologiche ed idrochimiche raccolte, infine, ha permesso di definire un quadro del campo di flusso delle acque sotterranee e, quindi, di illustrare i risultati più rilevanti tramite grafici e cartografia adeguati.

6.1. - RAPPORTI TRA EVOLUZIONE STRUTTURALE E CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

Lo studio dell'evoluzione geologico-strutturale (e.g., COSENTINO *et alii*, 1991; MICHETTI *et alii*, 1993; GUERRIERI *et alii*, 2004) ha suggerito alcune conside-

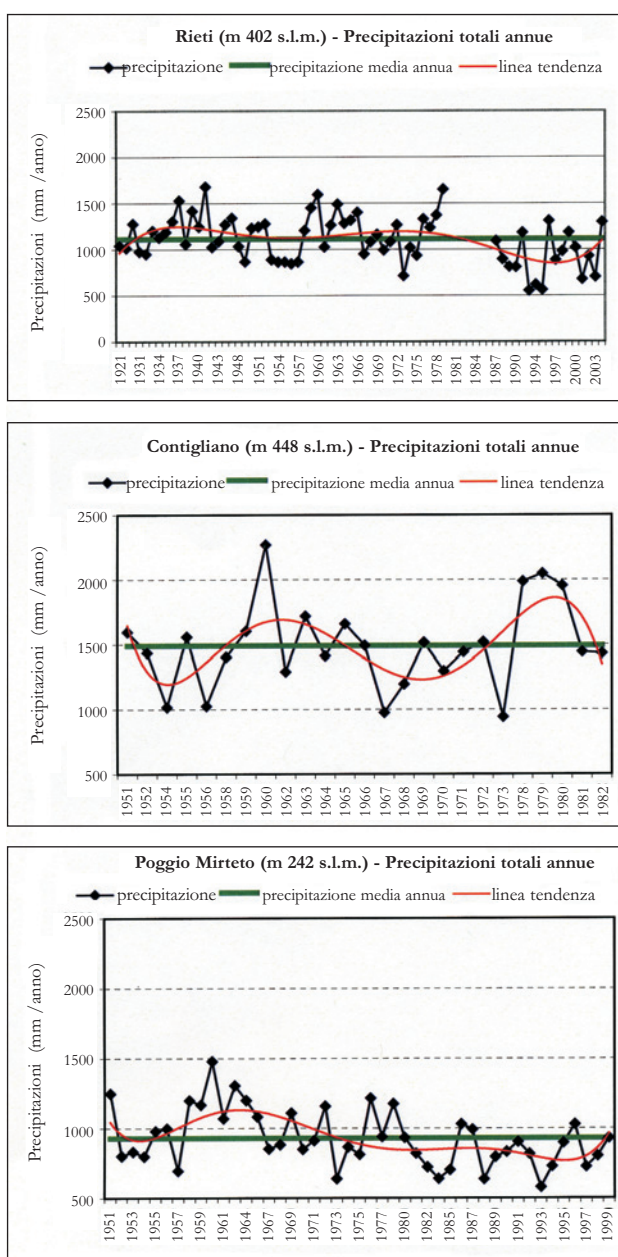


Fig. 6 - Precipitazioni totali annue (periodo complessivo 1921-2004) e loro linea di tendenza (in rosso).
- Cumulative annual rainfall (whole period 1921-2004) and its trend curve (red).

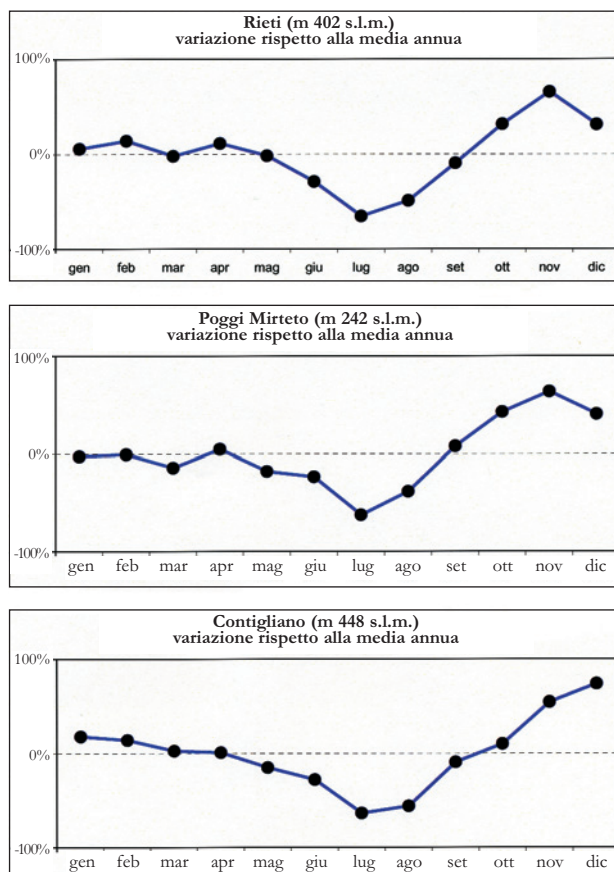


Fig. 7 - Variazione percentuale mensile delle precipitazioni rispetto alla media annua calcolata su tutti i dati disponibili.

- Monthly percentage variation of rainfall with respect to its annual mean calculated on the basis of the whole available monitoring periods.

razioni preliminari, oltre che riguardo alla configurazione delle strutture idrogeologiche dei grandi acquiferi carbonatici precedentemente definita, anche per quanto attiene alle caratteristiche delle direttrici di flusso e dei punti di recapito delle falde. Infatti, è possibile notare che (vedi cartografia allegata): a) le principali emergenze idriche dell'area di studio si trovano in corrispondenza del sovrascorrimento lungo il margine orientale dei Monti Sabini Settentrionali (es. Sorgente Le Mole, Fonte Comacchie, Fonte Lopa); b) le perdite in alveo nel tratto terminale del T. Canera avvengono nella Piana Reatina, a partire dal punto d'incontro dei sistemi di faglie dirette plio-quaternarie che bordano la Piana stessa nei margini occidentale e meridionale.

Infine, la tettonica sembra avere anche controllato l'impostazione in superficie del reticolo idrografico principale.

6.2. - RAPPORTI TRA ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Sono stati realizzati schemi mensili con il calcolo del bilancio delle portate fluviali lungo l'asta del T. Canera, ottenuti sottraendo il contri-

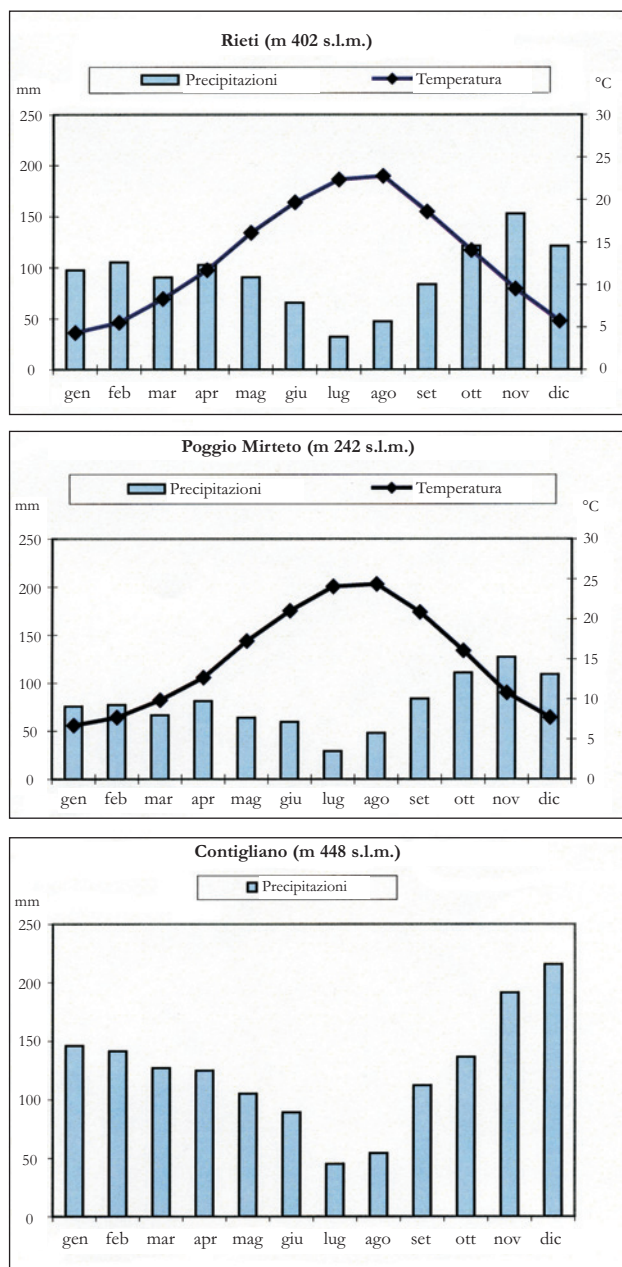


Fig. 8 - Precipitazione e temperatura medie totali mensili calcolate su tutti i dati disponibili.

- Rainfall and atmospheric temperature monthly total means calculated on the basis of the whole available monitoring periods.

buto dei fossi tributari alla portata di deflusso superficiale in corrispondenza delle sezioni di misura. Nella tabella 4 è rappresentata la situazione del mese di settembre 2004, che contraddistingue un periodo di massima magra.

Il contributo delle acque sotterranee al deflusso superficiale è molto variabile lungo il corso del T. Canera. La quantità di acque sotterranee convogliate verso il reticolo superficiale è scarsa (da nulla a circa 10 l/s per km lineare, rispettivamente in condizioni di magra e di morbida) nell'alto

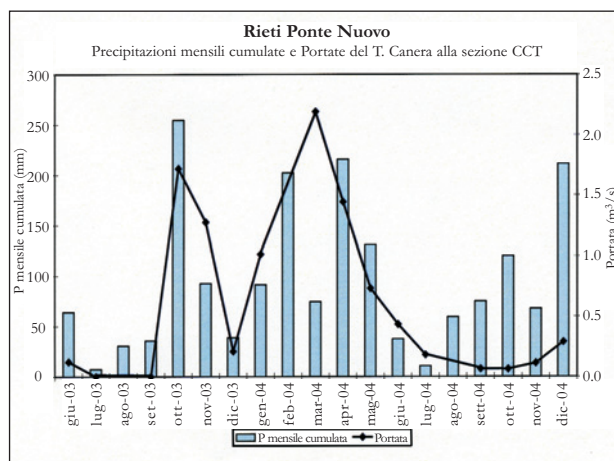


Fig. 9 - Precipitazioni mensili cumulate alla stazione pluviometrica di Rieti Ponte Nuovo e portate del T. Canera alla confluenza nel F. Turano (sezione di misura CCT) nel periodo d'indagine (giugno 2003-dicembre 2004). È evidente l'anomalia nel marzo 2004 tra l'andamento dei valori dei due grafici, dovuta alla bassa piovosità di questo mese rispetto a febbraio ed aprile, ma con precipitazioni concentrate appena prima del giorno in cui è stata effettuata la misura di portata in alveo. Al contrario, nel periodo agosto-dicembre 2004, le esigue portate in alveo misurate rispetto alle piogge relativamente abbondanti, sono dovute alla distanza delle date di effettuazione delle misure delle portate fluviali rispetto ai brevi periodi di intensa precipitazione.

- Cumulative monthly rainfall at the Rieti Ponte Nuovo pluviometric station and discharge along the Canera stream next to the Turano River confluence (CCT station) during the field survey period (June 2003-December 2004). The evident discrepancy between the trends of the two kinds of diagrams in March 2004 is due to the low rainfall amount occurred in this month respect to the next February and April, and to its occurrence just before the field measurement time. On the contrary, during August-December 2004, the scarce measured stream discharges, respect to the relatively abundant rainfall amounts, are due to the distance in time of the stream monitoring dates respect to the intense precipitations occurred within small periods.

corso del torrente, dove affiorano le formazioni della Scaglia Cinerea e del Bisciario, costituenti il complesso idrogeologico marnoso-calcareo, e non sono state rinvenute sorgenti rilevanti.

Al contrario, scambi idrici significativi (da 5 a 90 l/s per km lineare, rispettivamente in magra e in morbida) sono stati riscontrati durante tutte le campagne mensili di misura nel medio corso del torrente, dove depositi detritici di conoide e di versante (complesso detritico) sono in continuità idraulica con i depositi carbonatici (complessi calcareo e calcareo-marnoso).

Infine, è stato evidenziato che nel basso corso del torrente le acque superficiali generalmente alimentano la falda (diminuzione del deflusso in alveo compreso tra -90 e -400 l/s per km lineare, rispettivamente in magra e in morbida). Ciò è imputabile alla complessità della situazione idrogeologica locale, ed in particolare alla presenza della transizione tra i depositi della piana alluvionale del T. Canera e quelli della struttura idrogeologica della Piana Reatina. Le acque raccolte nel T. Canera sono pertanto progressivamente trasferite nell'acquifero alluvionale della Piana Reatina.

Tab. 4 - Risultati della campagna di misure di portata in alveo effettuate durante settembre 2004 (m^3/s), rappresentative delle condizioni di massima magra.

- Results of the stream gauging field survey carried out during September 2004 (m^3/s), indicative of the local low regime conditions.

	Stazione di misura e sigla	Corsi d'acqua secondari	Fosso La Mola	Torrente Canera	Fiume Turano	Drenaggio/ Perdita
1	Canera al km 8.5 della S.P. n. 46 (loc. Coi Santi) C8			0,000		
2	Fosso La Moletta FMI	0,002		0,002		
3	Fosso Le Chiuse FLC + Fosso Ricupo FRp	0,003		0,003		
4	Canera dopo confluenza dei fossi 2+3 (calcolato: 1+2+3)			0,005		
5	Canera al km 6 della S.P. n. 46 (prima di Fosso Riponte) C6			0,004		
	Calcolo scambio idrico: 5-4 (tra C8 e C6)					-0,001
6	Canera al km 6 della S.P. n. 46 (dopo Fosso Riponte) C6d			0,005		
7	Fosso Riponte (calcolato: 6-5) FRt			0,001		
8	Fosso Matricetta Fma	0,000		0,000		
9	Canera dopo confluenza del Fosso Matricetta (calcolato: 6+8)			0,005		
10	Canera al km 4 della S.P. n. 46 C4			0,000		
	Calcolo scambio idrico: 10-9 (tra C6 e C4)					-0,005
11	Fosso La Mola Fmo		0,142	0,142		
12	Canera dopo confluenza del fosso 11 (calcolato: 10+11)			0,142		
13	Canera al km 2 della S.P. n. 46 C2			0,153		
	Calcolo scambio idrico: 13-12 (tra C4 e C2)					0,011
14	Fosso S.Martino FSM + Fosso Ripaccia FRc + Fosso Piè di Monte FPM	0,001		0,001		
15	Fosso del Sorbo FS + Fosso Poggio Fidoni FPF + Fosso Riofosso FRf	0,001		0,001		
16	Canera dopo confluenza dei fossi 14+15 (calcolato: 13+14+15)			0,155		
17	Canera al km 0 della S.P. n. 46 C0			0,152		
	Calcolo scambio idrico: 17-16 (tra C2 e C0)					-0,003
18	Canera alla confluenza con il Turano CCT			0,065		
	Calcolo scambio idrico: 18-17 (tra CCT e C0)					-0,087
19	Turano a Iaccio TI			0,699		
20	Turano dopo confluenza del Canera TCC			0,659		
21	Canera alla confluenza con il Turano (18)			0,065		
22	Turano prima confluenza del Canera (calcolato: 21-22)			0,594		
	Calcolo scambio idrico: 22-19 (tra TI e TCC)					-0,105

6.3. - RUOLO DEI CORSI D'ACQUA TRIBUTARI

La figura 10, che illustra le variazioni della portata del T. Canera lungo il suo alveo da monte a valle (dalla sezione C8 alla CCT), riporta con delle linee spezzate l'insieme delle portate misurate nello stesso periodo. Un rilevante contributo alla portata superficiale del T. Canera è rappresentato dalle acque convogliate da alcuni fossi tributari ali-

mentati da sorgenti presenti nel bacino idrografico del torrente. L'apporto più cospicuo proviene dal Fosso della Mola (portata 80-500 l/s tra luglio 2003 e dicembre 2004; tra le sezioni C4 e C2) che è alimentato da sorgenti connesse all'acquifero fortemente produttivo dei rilievi carbonatici, che sono in continuità idraulica con i depositi detritici in sinistra idrografica della valle del T. Canera e, ulteriormente, con la rispettiva piana alluvionale.

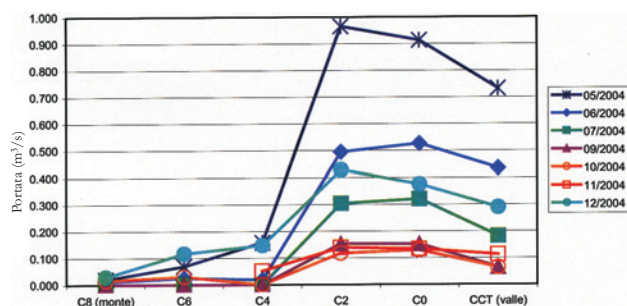


Fig. 10 - Variazioni della portata in alveo in funzione della posizione lungo l'asta torrentizia del Canera a partire dalla sezione a monte (stazione C8) fino a quella alla confluenza nel F. Turano (CCT).

- Stream discharge variations with respect to the position along the river course starting from the upstream station (C8) to that next to the Turano River confluence (CCT).

D'importanza subordinata alla portata del T. Canera è invece il contributo del Fosso Matricetta (da nullo a circa 50 l/s; tra sezioni C8 e C6), poiché esso è connesso all'acquifero scarsamente produttivo ospitato nelle formazioni sabbioso-ghiaiose e marnose/marnoso-sabbiose ricorrenti in destra idrografica della valle del T. Canera.

6.4. - VARIAZIONI DI PORTATA NEL TEMPO

La figura 11 rappresenta la variazione di portata rispetto al tempo per le quattro stazioni di misura ritenute più significative nel bacino idrografico del T. Canera (dalla sezione C4, a monte, fino a CCT, a valle).

Dagli idrogrammi è stato possibile evidenziare che nel periodo indagato (giugno 2003-dicembre 2004) si sono succeduti:

- un periodo di massima magra tra luglio e settembre (portata nulla, 75, 50 e 25 l/s procedendo dalla sezione a monte fino alla confluenza con il F. Turano);
- un periodo di magra relativa in dicembre (100, 350, 400 e 200 l/s);
- due periodi di morbida di differente importanza relativa in ottobre-novembre (850, 1400, 1850 e 1700 l/s) e in gennaio-aprile (600, 1400, 1450 e 2200 l/s).

Nelle sezioni situate nell'alto corso del T. Canera si notano andamenti tra loro molto simili, con un periodo di massima magra con portata nulla nel luglio-settembre 2004.

Prendendo in esame i dati relativi alle portate fluviali durante la fase di esaurimento, da maggio 2004 ad ottobre 2004, relativamente al tratto fluviale ove si è registrato l'aumento di portata dovuto alla confluenza della sorgente Le Mole e al suo relativo drenaggio in alveo, è possibile ricostruire la curva di esaurimento della risorsa idrica sotterranea relativa. Il contributo delle acque sot-

terranee in questo tratto fluviale può essere ragionevolmente stimato sottraendo alla portata misurata a valle (sezione C2) la portata misurata a monte (sezione C4) dove non sono presenti contributi sorgivi e tutte le acque possono essere ricondotte a ruscellamento. L'esame della curva di esaurimento (fig. 12), relativa al periodo maggio-ottobre 2004, consente di ricavare un coefficiente di MAILLET (1905) α pari a $-0,0133$. Tale valore consente di ipotizzare che, anche in periodi di magra estrema, ipotizzando l'assenza di pioggia per 180 giorni, il Torrente Canera potrebbe comunque contare su un flusso di base minimo di circa 75 l/s.

Riguardo al Fiume Turano, nel tratto studiato sono stati osservati simili andamenti stagionali seppure, ovviamente, con valori di portata più consistenti (da 300-700 l/s in magra a 850-2500 l/s in morbida).

6.5. - DETERMINAZIONI CHIMICO-FISICHE IN SITU

Contestualmente alla misura mensile della portata in alveo, tra giugno 2004 e dicembre 2004 le indagini sono state integrate dall'esecuzione *in situ* di analisi di temperatura, conducibilità elettrica e pH delle acque.

Il grafico di figura 13 mostra l'andamento della temperatura delle acque campionate nelle stazioni di misura delle portate in alveo rispetto al tempo (giugno-dicembre 2004). Si nota una generale diminuzione di questo parametro da valori estivi di 15-20°C a valori invernali di 7-11°C in accordo con la tendenza della temperatura atmosferica (estate 17-33°C; inverno 1-11°C) nei vari mesi. È però d'interesse la presenza di valori minimi relativi di temperatura nella quasi totalità delle acque analizzate in settembre, dovuti alla predominanza in alveo, durante le condizioni di massima magra di questo mese, di acque del flusso di base alimentato dal drenaggio di acque sotterranee aventi temperature verosimilmente più basse di quelle estive e più elevate di quelle invernali riscontrate per le acque di scorrimento superficiale.

In un grafico che rappresenta la conducibilità elettrica ed il pH rispetto alla posizione relativa della stazione di campionamento lungo l'alveo del T. Canera da monte a valle (dalla sezione C8 alla CCT; fig. 14) è possibile notare che i valori dei due parametri rimangono sostanzialmente invariati tra la stazione C8 e C6d (conducibilità 440-490 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH 8,0-8,1), mentre tendono rispettivamente a decrescere (conducibilità da 440 a 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e a crescere (pH da 8,2 a 8,4) tra le stazioni C4 e CCT. Ciò potrebbe essere

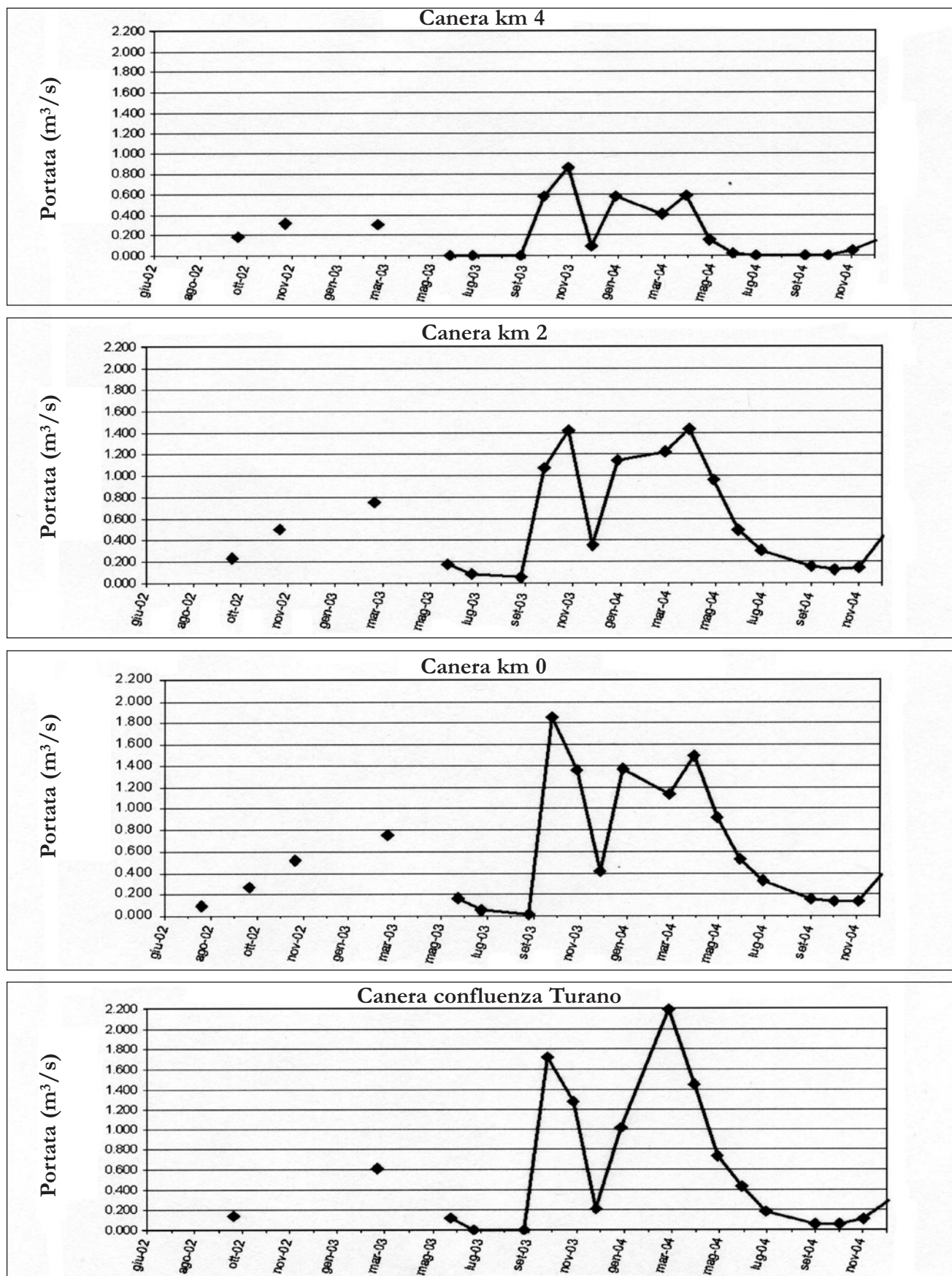


Fig. 11 - Variazioni della portata rispetto al tempo (periodo luglio 2003-dicembre 2004) nelle stazioni situate nel medio-basso corso del T. Canera.
 - Stream discharge variations with respect to time (July 2003-December 2004) in the control stations in the middle-down watercourse of the Canera stream.

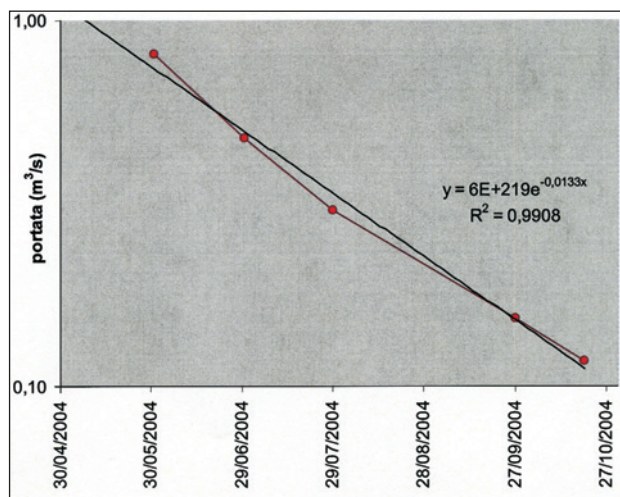


Fig. 12 - Retta di esaurimento del flusso di base del Torrente Canera. I punti sperimentali (in viola) ottenuti sottraendo la portata della sezione C4 a quella della sezione C2, sono stati interpolati con una curva esponenziale ad alto coefficiente di correlazione (0,99). Il coefficiente di MAILLET (1905) corrisponde all'esponente di e nell'equazione sul grafico.

- Base flow depletion line of the Canera stream. The experimental values (violet) have been obtained by difference of the stream discharge of the C4 station to that of the C2 station and have been interpolated by an exponential curve with a high correlation coefficient (0,99). The MAILLET (1905) coefficient represents the exponential value of the e parameter in the equation reported in the plot.

nesso in relazione al contributo di acque con più bassa conducibilità e pH relativamente più elevato, che hanno interagito con i litotipi dei complessi calcareo, calcareo-marnoso e detritico e che provengono sia direttamente dal drenaggio di falde idriche sotterranee, sia dal Fosso della Mola (conducibilità: 339 $\mu\text{S}/\text{cm}$; pH: 8,2). Inoltre, le loro variazioni rispetto ai valori medi sono generalmente maggiori tra le stazioni C4 e CCT, proprio in considerazione del fatto che in questo settore ci possa essere un mescolamento di acque differenti dal punto di vista chimico-fisico.

Anche le caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei fossi tributari in funzione della loro provenienza e/o interazione con i litotipi dei differenti complessi idrogeologici individuati (fig. 15) suggerisce che le acque derivate dai fossi che drenano esclusivamente i terreni del complesso marnoso-calcareo abbiano una conducibilità elettrica maggiore (520-680 $\mu\text{S}/\text{cm}$) rispetto a quelle che derivano anche dai litotipi dei complessi calcareo, calcareo-marnoso e detritico (340-570 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

6.6. - RAPPRESENTAZIONI CARTOGRAFICHE

La cartografia idrogeologica allegata in tasca di copertina (tav. V) rappresenta una sintesi delle informazioni sull'area in studio. Sono stati evidenziati, tra l'altro, il reticolo idrografico con l'indicazione dei tratti drenanti e disperdenti, le sezioni di

misura in alveo, le sorgenti, le tracce delle sezioni idrogeologiche, il perimetro del bacino idrografico del Torrente Canera, i complessi idrogeologici. Tale cartografia è stata redatta seguendo le indicazioni della Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Quaderno SGN n. 5, Serie III, IPZS, Roma, 1995), e, pertanto, può costituire un valido contributo alla sperimentazione delle norme in essa previste.

In una situazione di particolare interesse, in quanto sede di scambi idrici tra acque sotterranee e superficiali, quale quella del versante sinistro del medio-corso del T. Canera, sono state condotte indagini di dettaglio per tentare la ricostruzione dei flussi idrodinamici in condizioni di magra e di morbida in corrispondenza del passaggio tra i complessi calcareo basale, calcareo-marnoso, dei depositi detritici e delle alluvioni. Nella sezione idrogeologica di figura 16 è possibile evidenziare la presenza di

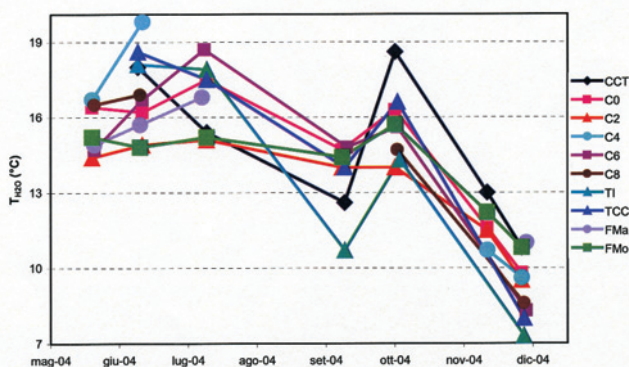


Fig. 13 - Grafico delle variazioni di temperatura delle acque rispetto al tempo nelle principali stazioni di misura di portata in alveo. Sezioni Canera (da monte a valle): C8, C6, C4, C2, C0, CCT. Sezioni Turano (da monte a valle): TI, TCC. Fossi: Fma: Matricetta; Fmo: Mola.

- Water temperature variations with respect to time in the main stream gauging monitoring stations. Stations along the Canera stream (from up- to downstream): C8, C6, C4, C2, C0, CCT. Stations along the Turano stream (from up- to downstream): TI, TCC. Tributary streams: Fma: Matricetta; Fmo: Mola.

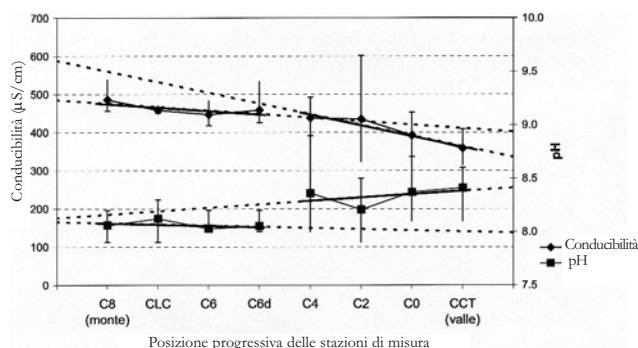


Fig. 14 - Variazioni della conducibilità e del pH delle acque in funzione della posizione delle stazioni di campionamento lungo l'asta torrentizia del Canera a partire da monte (stazione C8) alla confluenza nel F. Turano (CCT).

- Electric conductivity and pH variations of the waters sampled at the Canera monitoring stations with respect to the position along the watercourse, starting from upstream (station C8) to next to the Turano River confluence (CCT).

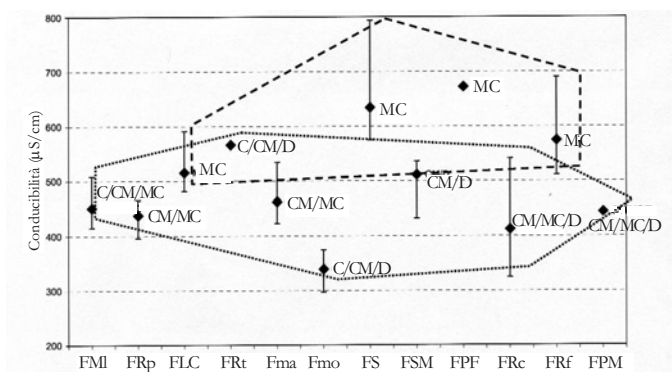


Fig. 15 - Grafico della conducibilità delle acque dei fossi tributari in funzione della loro posizione lungo l'asta torrentizia del Canera a partire da monte (FMI) verso valle (FPM) e della tipologia del complesso idrogeologico in cui le acque si originano e/o con cui hanno interagito. Fossi: FMI: Moletta; FRp: Ricupo; FLC: Le Chiuse; FRt: Riponte; Fma: Matricetta; Fmo: Mola; FS: Sorbo; FSM: S. Martino; FPF: Poggio Fidoni; FRc: Ripaccia; FRf: Riofosso; FPM: Piè di Monte. Complessi idrogeologici: C: calcareo basale, CM: calcareo-marnoso basale; MC: marnoso-calcareo; D: detritico.

- Electric conductivity plot of the waters sampled at the Canera tributary stream monitoring stations with respect to the position along the Canera watercourse, starting from upstream (station FMI) to downstream (FPM) and also considering the nature of the hydrogeologic complex which the waters have originated from and interacted with. Tributary streams: FMI: Moletta; FRp: Ricupo; FLC: Le Chiuse; FRt: Riponte; Fma: Matricetta; Fmo: Mola; FS: Sorbo; FSM: S. Martino; FPF: Poggio Fidoni; FRc: Ripaccia; FRf: Riofosso; FPM: Piè di Monte. Hydrogeologic complex nature: C: basal calcareous, CM: calcareous-marly; MC: marly-calcareous; D: detritic.

una superficie a flusso pressoché nullo tra l'acquifero dei complessi calcareo basale e calcareo-marnoso ed il complesso marnoso-calcareo scarsamente permeabile. Tale superficie è costituita da un piano di sovrascorrimento localmente sepolto sotto il complesso detritico. Si nota, inoltre, che è quest'ultimo a fungere da mezzo per il trasferimento delle

acque sotterranee fino al recapito, con conseguente parziale drenaggio in alveo, nel complesso delle alluvioni del T. Canera. Le differenti condizioni di quota piezometrica tra i periodi di magra e di morbida (con oscillazioni dell'ordine di qualche metro) spiegano la differente entità dello scambio idrico tra gli acquiferi dei complessi di tipo carbonatico basali e quello delle alluvioni (rispettivamente circa 0,011 e 0,173 m³/s in magra e in morbida nell'intervallo 2003-2004). Per completare il quadro idrodinamico, a questa situazione deve essere aggiunto il contributo delle acque provenienti dalle sorgenti a monte, che si originano nel complesso calcareo basale e che alimentano i fossi tributari del T. Canera, tra cui il più rappresentativo è il gruppo sorgivo Le Mole.

Nel tratto di monte del bacino idrografico del T. Canera, invece, l'affioramento a quota relativamente più elevata della superficie limite tra complesso calcareo-marnoso e complesso marnoso-calcareo rispetto alla quota piezometrica, è causa dell'assenza di travaso di acque verso il complesso alluvionale, e quindi dell'assenza di significativo drenaggio in alveo.

7. - CONCLUSIONI

Le indagini idrogeologiche di dettaglio eseguite nella valle del T. Canera hanno avuto lo scopo di chiarire lo schema di circolazione in un'area pedemontana al margine della struttura idrogeologica della Piana Reatina. Allo stesso tempo, le

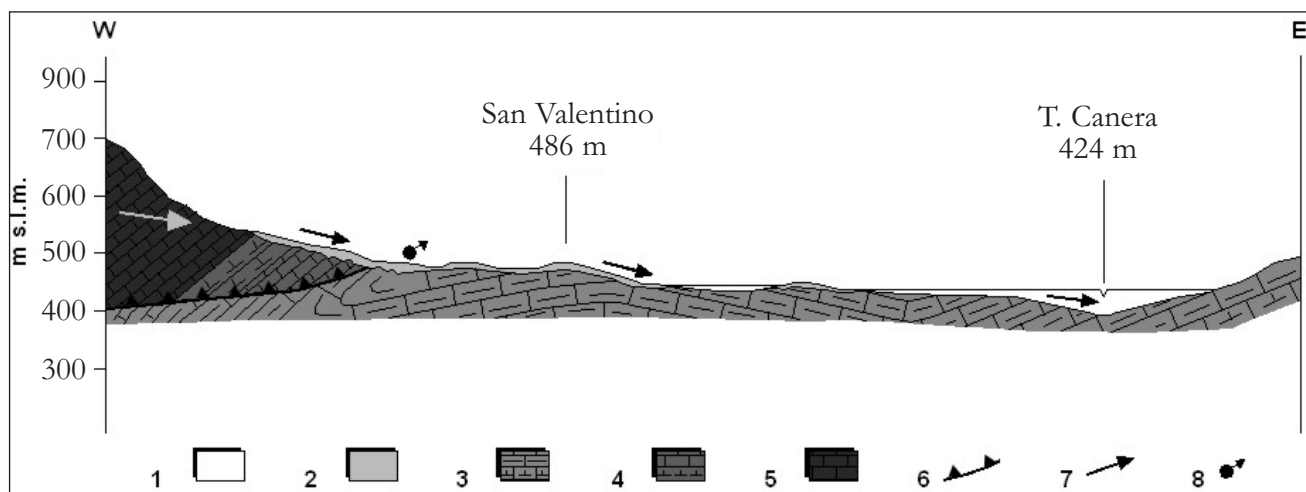


Fig. 16 - Sezione idrogeologica schematica dei rapporti tra acquiferi carbonatici sabini e valle del Torrente Canera. Si nota il ruolo di transfer idrico sotterraneo dei depositi detritici di copertura, sia in merito alla localizzazione (cerchio con freccia) della sorgente Le Mole, sia per il travaso di parte della risorsa idrica sotterranea verso l'alveo del Torrente Canera, sede di emergenze in alveo. 1- Complesso delle alluvioni del T. Canera; 2- Complesso dei depositi detritici; 3- Complesso marnoso-calcareo; 4- Complesso calcareo-marnoso; 5- Complesso calcareo basale; 6- sovrascorrimento; 7- direzione di flusso delle acque sotterranee; 8- sorgente.

- Hydrogeologic section sketch showing the relationships among the carbonatic aquifers of the Sabina succession and the Canera stream Valley deposits. It is apparent the groundwater transfer role of the detritic deposits evidenced by both the Le Mole Spring position (circle with arrow) and the conveying of a part of the groundwater resource toward the Canera stream course, which hosts minor springs. 1- Canera alluvial deposit complex; 2- Detritic deposit complex; 3- Marly-calcareous complex; 4- Calcareous-marly complex; 5- Basal calcareous complex; 6- thrust; 7- groundwater flow direction; 8- spring.

attività eseguite perseguivano l'obiettivo di verificare l'applicabilità di metodologie d'indagine idrogeologica quantitativa classica (misure di portata seriate in alveo e osservazioni sui parametri chimico-fisici), a scala mensile, a sottobacini idrografici in un contesto geologico tipico delle serie carbonatiche umbro-sabine interessate da intensa evoluzione plio-quadernaria.

I risultati ottenuti possono essere riassunti nei punti seguenti:

- è stato confermato che il margine orientale della dorsale dei Monti Sabini Settentrionali non presenta un affioramento della falda regionale basale, le cui direzioni di drenaggio sono esterne all'area esaminata;

- la presenza di elementi tettonici ad andamento complesso (*thrust*, faglie dirette) e di livelli a bassa permeabilità nella sequenza carbonatica determina, tuttavia, l'esistenza di limiti di permeabilità e conseguenti livelli di base locali, che danno origine a sorgenti localizzate di importanza non trascurabile (portata media dalle decine a qualche centinaio di litri al secondo);

- l'accumulo e il non trascurabile spessore dei depositi detritici ed eluvio-colluviali caratterizzati da una discreta permeabilità, in corrispondenza delle rotture morfologiche coincidenti con i limiti di permeabilità tettonici e stratigrafici presenti, consente il travaso parziale della risorsa idrica sotterranea verso questi corpi detritici ed il loro successivo recapito nel fondovalle, costituito dall'alveo del T. Canera;

- il fondovalle alluvionale, anche se di spessore limitato, costituisce un acquifero locale in grado di scambiare con le acque superficiali; tali scambi hanno direzione variabile stagionalmente nel medio corso del Canera e sono generalmente diretti dal corso d'acqua verso il sottosuolo nel tratto più prossimo alla Piana Reatina;

- nel caso del T. Canera, il contributo del gruppo sorgivo Le Mole, diretto e indiretto, nell'alveo fluviale (circa il 20% del contributo totale), è notevolmente variabile stagionalmente (da 100 a 700 l/s per il periodo di osservazione 2003-04);

- l'analisi del regime del flusso di base ha consentito di calcolare un coefficiente di esaurimento α (MAILLET, 1905) per le acque sotterranee del T. Canera pari a -0.0133.

In conclusione, è stata accertata l'esistenza di un non trascurabile flusso di base nella media e bassa valle del T. Canera, che in fase di magra non scende sotto 100 l/s ed in media si attesta sui 400 l/s e rappresenta, quindi, una risorsa idrica rilevante quantomeno ai fini del mantenimento di buone condizioni ambientali, molto probabilmente di classe elevata (da verificare ai sensi del

D.Lgs.152/06), ed in grado di attenuare le problematiche di carenza idrica e di scadimento della qualità delle acque del Fiume Turano nella Piana Reatina in periodi siccitosi.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Dott. A. DEL BON e il Dott. E. D'ARMENTO per la collaborazione alle misure di portata eseguite dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza". Si ringraziano altresì il Prof. M. VALLETTA e il Prof. F. BRUNAMONTE, incaricati della revisione del lavoro, per i preziosi e puntuali suggerimenti proposti.

BIBLIOGRAFIA

- ANNALI IDROLOGICI (1921 – 2004) – *Parte prima e parte seconda (Sezione di Roma)*. Servizio Idrografico, Ministero dei Lavori Pubblici / Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, Presidenza del Consiglio dei Ministri. Roma.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 991-1012.
- BONI C., CAPELLI G. & PETITTA M. (1995) – *Carta idrogeologica dell'alta e media valle del Fiume Velino*. Univ. di Roma "La Sapienza" - Univ. di "Roma Tre" - Comunità Montana del Velino, Roma.
- CALAMITA F. & PIERANTONI P.P. (1996) – *Modalità della strutturazione neogenica nell'Appennino Umbro-Sabino (Italia Centrale)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. (1), 183-201.
- CAVINATO G.P. & TOZZI M. (1986) – *Studio strutturale del Monte Soratte*. Rend. Soc. Geol. It., **9**, 3-6.
- CIVITELLI G., CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) – *Il bacino sabino: 1) fenomeni di risedimentazione nella serie di Osteria Tancia*. Boll. Soc. Geol. **105**, 41-63.
- CORDA L. & MARIOTTI G. (1986) – *Il bacino sabino: 2) sedimentologia e stratigrafia della serie calcarea e marnoso-spongolitica (Paleogene-Miocene)*. Mem. Soc. Geol. It. **35**, 33-47.
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1986) – *Assetto strutturale dei Monti Lucretili Settentrionali (Sabina): nuovi dati e schema tettonico preliminare*. Geol. Romana **25**, 73-90.
- COSENTINO D., SCOPPOLA C., SCROCCA D. & VECCHIA P. (1991) – *Stile strutturale dei Monti Reatini e dei Monti Sabini settentrionali (Appennino Centrale) a confronto*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. (2), 55-61.
- GALLUZZO F. & SANTANTONIO M. (2002) – *The Sabina Plateau: a new element in the Mesozoic palaeogeography of Central Apennines*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Spec. (1), 561-588.
- MAILLET E. (1905) – *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Libr. Scient. Hermann, Paris.
- MANFREDINI M. (1972) – *Studio idrogeologico della Piana di Rieti*. Quad. Ist. Ric. Acque, CNR, **6**, 87-122.
- MANFREDINI M. & MANGANELLI V. (1969) – *Alcune considerazioni sulla tettonica dell'area di facies umbra*. Mem. Soc. Geol. It., **8**, 1015-1026.
- MANGANELLI V. & FARAMONDI S. (1990) – *Tettonica traslativa nei monti Sabini: L'area della valle di S.Croce (Contigliano, Rieti)*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'It. **38**, 207-214.
- SALVINI F. & VITTORI E. (1982) – *Analisi strutturale della linea Olevano-Antròdoco-Posta (Ancona-Anzio Auct.): Metodologia di studio delle deformazioni fragili e presentazione del tratto meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **24**, 337-355.
- SERVA L. & SALVINI F. (1976) – *Analisi statistiche delle deformazioni meccaniche in alcune strutture dell'appennino laziale*. Boll. Soc. Geol. It., **95**, 1219-1233.

INDICE / INDEX

Presentazione / Preface.....	Pag.	5
INTRODUZIONE.....	»	7
FOREWORD.....	»	8
MARI G.M. – <i>Progetto Verifiche sperimentali di applicabilità della Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Quaderni SGN n° 5, serie III, IPZS, 1995). Finalità e contenuto della ricerca. Risultati preliminari e valutazioni</i> - Guide to surveying and mapping of the Hydrogeological Map of Italy at 1:50.000 scale. Experimental applicability check. Aim and contents of the research project. Preliminary findings and evaluations.....	»	11
1. - INTRODUZIONE.....	»	12
2. - QUADRO DI RIFERIMENTO DEL PROGETTO.....	»	12
3. - PROGETTO VERIFICHE SPERIMENTALI DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA AL RILEVAMENTO E ALLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CARTA IDROGEOLOGICA D'ITALIA ALLA SCALA 1:50.000....	»	21
4. - CONCLUSIONI.....	»	26
BIBLIOGRAFIA.....	»	32
TACCHIA D. – <i>La sperimentazione cartografica su dati numerici idrogeologici</i> - Experimental cartography on hydrogeological numeric data.....	»	37
1. - GENERALITÀ ED ORIENTAMENTI.....	»	38
2. - INDIRIZZI PER LA FORNITURA DEI DATI.....	»	39
3. - CRITERI OPERATIVI DI MEMORIZZAZIONE DEI DATI.....	»	41
4. - L'ACQUISIZIONE DEL DATO CARTOGRAFICO.....	»	42
5. - LA CARTOGRAFIA SPERIMENTALE DERIVATA.....	»	44
6. - CONCLUSIONI.....	»	46
BIBLIOGRAFIA.....	»	46
ROMA M. & VITALE V. – <i>Strumenti e metodologie informatiche per l'idrologia: dai dati alla rappresentazione cartografica</i> - Information tools and methodologies applied to hydrogeology: from data supply to cartographic representation.....	»	47
1. - INTRODUZIONE.....	»	48
2. - DATI DI LAVORO.....	»	48
3. - SIMBOLOGIA.....	»	49
4. - SCELTE ADOTTATE E PROPOSTE CARTOGRAFICHE.....	»	51
5. - CONCLUSIONI.....	»	58
BIBLIOGRAFIA.....	»	58
CAPELLI G., MAZZA R., PAGANELLI D. & SCALISE A.R. – <i>Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore sud-orientale dei Monti Cimini (Lazio)</i> - Experimental hydrogeological cartography in the south-eastern sector of the Monti Cimini (Latium).....	»	59
1. - INTRODUZIONE.....	»	60
2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	»	60
3. - IDROGEOLOGIA.....	»	64
4. - ARCHIVIAZIONE DATI REPERITI E MISURATI.....	»	79
5. - CARTA DELLE LINEE ISOPIEZOMETRICHE.....	»	81
6. - CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEL LAGO DI VICO.....	»	82
7. - CARTOGRAFIE INFORMATICHE E APPLICABILITÀ DELLA LEGENDA.....	»	85
8. - CONSIDERAZIONI FINALI.....	»	87
BIBLIOGRAFIA.....	»	87
BONI C.F., TARRAGONI C. & MARTARELLI L. – <i>Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini (Marche)</i> - Experimental hydrogeological cartography in the north-western sector of the Monti Sibillini (Marche).....	»	89
1. - PREMESSA.....	»	90

2. - INTRODUZIONE.....	Pag. 90
3. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	» 90
4. - CLIMATOLOGIA.....	» 95
5. - IDROLOGIA.....	» 97
6. - IDROGEOLOGIA.....	» 103
7. - CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA.....	» 104
8. - SINTESI DELLE CONSIDERAZIONI SULL'APPLICABILITÀ DELLA GUIDA E PROPOSTE OPERATIVE.....	» 110
BIBLIOGRAFIA.....	» 112
CELICO P.B., CELICO F. & CACCIUNI A. – <i>Cartografia idrogeologica sperimentale delle aree dei Monti del Matese e del Monte Totila (Campania-Molise)</i> - Experimental hydrogeological cartography in the Monti del Matese and Monte Totila districts (Campania-Molise, Italy).....	
	» 115
1. - PREMESSA.....	» 116
2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	» 116
3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	» 117
4. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI.....	» 117
5. - IDRODINAMICA SOTTERRANEA NELLE AREE DI STUDIO.....	» 119
6. - CONSIDERAZIONI DI SINTESI.....	» 129
7. - SUGGERIMENTI E PROPOSTE PER LA CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA.....	» 132
BIBLIOGRAFIA.....	» 135
MARTARELLI L., PETITTA M., SCALISE A.R. & SILVI A. – <i>Cartografia idrogeologica sperimentale della Piana Reatina (Lazio)</i> - Experimental hydrogeological cartography of the Rieti Plain (Latium).....	
	» 137
1. - INTRODUZIONE.....	» 138
2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	» 138
3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	» 141
4. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI.....	» 144
5. - DATI RACCOLTI.....	» 147
6. - PRESENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	» 148
7. - CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA.....	» 149
8. - VERIFICHE DI APPLICABILITÀ DELLA GUIDA E PROPOSTE.....	» 152
BIBLIOGRAFIA.....	» 154
MARTARELLI L., PARIS F., PETITTA M., RIVELLINO S., SCALISE A.R. & SILVI A. – <i>Cartografia idro- geologica sperimentale nella valle del Torrente Canera (Rieti, Lazio)</i> - Experimental hydrogeological cartography of the Canera Stream Basin (Rieti, Latium).....	
	» 157
1. - INTRODUZIONE.....	» 158
2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	» 158
3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	» 160
4. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI.....	» 161
5. - DATI RACCOLTI.....	» 162
6. - PRESENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	» 164
7. - CONCLUSIONI.....	» 173
BIBLIOGRAFIA.....	» 174

In tasca di copertina

Tav. I - CAPELLI G., MAZZA R., PAGANELLI D., SCALISE A.R. - *Cartografia Idrogeologica sperimentale nel settore
sud-orientale dei Monti Cimini*

Tav. II - BONI C.F., TARRAGONI C., MARTARELLI L. - *Cartografia Idrogeologica sperimentale nel settore nord-occi-
dentale dei Monti Sibillini*

Tav. III - CELICO P.B., CELICO F., CACCIUNI A. - *Cartografia Idrogeologica sperimentale delle aree dei Monti del
Matese e del Monte Totila (Campania - Molise)*

Tav. IV - MARTARELLI L., PETITTA M., SCALISE A.R., SILVI A. - *Cartografia Idrogeologica sperimentale della Piana
Reatina (Lazio)*

Tav. V - MARTARELLI L., PARIS F., PETITTA M., RIVELLINO S., SCALISE A.R., SILVI A. - *Cartografia Idrogeologica
sperimentale del Torrente Canera (Rieti, Lazio)*